

Variation measures of the efficiency between cycles of sugarcane, by means of Malmquist indexes

Reception of originals: 12/15/2016
Release for publication: 05/13/2018

Terezinha Bezerra Albino Oliveira

Professora Doutora do Centro de Ciências Agrárias CECA (UFAL)
Endereço: Universidade Federal de Alagoas, Campus Delza Gitai, Maceió, AL.
E-mail: tbalbino@ceca.ufal.br

Antonio Cezar Bornia

Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (UFSC)
Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, PPGE/UFSC, Campus Trindade - 88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil.
E-mail: cezar.bornia@ufsc.br

Carlos Ernani Fries

Professor Doutor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: Departamento de Engenharia de Produção. Campus Trindade - 88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil.
E-mail: carlos.fries@ufsc.br

Mauro Wagner de Oliveira

Professor Doutor do Centro de Ciências Agrárias CECA (UFAL)
Endereço: Universidade Federal de Alagoas, Campus Delza Gitai, Maceió, AL.
E-mail: mwagner@ceca.ufal.br

Lailton Soares

Professor Doutor do Centro de Ciências Agrárias CECA (UFAL)
Endereço: Universidade Federal de Alagoas, Campus Delza Gitai, Maceió, AL.
E-mail: lailtonsoares@bol.com.br

Abstract

The objective of this study was to evaluate the variations in technical and technological efficiencies along the cycles of the sugarcane crop, by using *Malmquist* index. For data collection, a survey was conducted in 79 sugarcane properties divided into two groups: Group I consisting of 20 farms that applied organic fertilizer in sprouts; and Group II consisting of 59 farms that used chemical fertilizer in the ratoons of the sugarcane. The following inputs were considered: the area of the sugarcane field, limestone, chemical or organic fertilizer, herbicide and chemical insecticide. The output variable was the production of industrializable stalks. The statistical tools and the Malmquist Productivity Index approach were used to analyze the data. There was a positive relationship between the crop productivity and profit. When comparing the Índice de Malmquist with profit of those 79 farms, it was noted that, in both groups, it was possible to establish two sub-groups with different performances. Thus, there is continuous need for improvement of the techniques and production systems. It can be

considered that the analysis of data based on Malmquist productivity indexes has shown to be a good tool for measuring productivity changes between production cycles.

Keywords: Costs of production. Farm management. Total productivity of the factors of production.

1. Introdução

Há muito tem sido crescente a preocupação com a eficiência e produtividade nas diferentes cadeias produtivas do agronegócio, entre empresários rurais e técnicos de diferentes segmentos econômicos, bem como entre profissionais da área acadêmica, uma vez que essas exigem reavaliação de metas e métodos para assegurarem viabilidade e competitividade do complexo agroindustrial (TUPY; YAMAGUCHI, 1998; OLIVEIRA et al., 2014).

A cultura da cana-de-açúcar no Brasil é uma das mais competitivas do mundo, pois, nesse setor, cada vez mais são adotadas inovações tecnológicas para aumentar a eficiência dos insumos, diminuir os custos de produção e elevar a produtividade da terra e dos recursos humanos, com vistas à melhoria contínua na qualidade dos produtos e à busca constante da produção sustentável (CIRANI; MORAES, 2010; GOLDEMBERG, 2010; BURNQUIST, 2011; OLIVEIRA, 2014), uma vez que paradigmas tecnológicos tornaram-se condição *sine qua non* para a sobrevivência das empresas canavieiras no mercado (SHIKIDA et al., 2011). Assim, no setor canavieiro, a correta escolha dos insumos e a eficiência na realização das atividades de manejo deverão ser priorizadas desde as operações de cultivo até o transporte da cana para industrialização (RAPASSI et al., 2009; BURNQUIST, 2011; OLIVEIRA et al., 2014).

A fim de visualizar as potencialidades, auxiliar na detecção dos fatores críticos de produção, bem como subsidiar nas decisões tomadas pelos gestores – com o propósito de aumentar a produtividade da cultura –, considera-se importante avaliar as variações da eficiência produtiva ao longo de determinado tempo. Existem na literatura diversos índices para analisar mudanças de produtividade entre períodos, dentre estes índices destacam-se os Índices de Produtividade de *Malmquist* que não requerem informações sobre preços (receitas e custos), o que os tornam preferidos na análise de mudanças na produtividade total dos fatores (FÄRE et al., 1994; LOVELL, 1996; LOVELL, 2003; FERREIRA; GOMES, 2009).

Para tanto, este estudo fundamentou-se nas bases conceituais de eficiência e, nessa base literária, percebeu-se que estudos relacionados a Índices de *Malmquist* eram ainda

incipientes na canavicultura. Considerando-se a importância e a escassez de informações inerentes ao tema, este estudo teve como objetivo avaliar as mudanças de eficiências técnicas e tecnológicas ao longo dos ciclos da cultura da cana-de-açúcar, utilizando Índices de *Malmquist*. Estes índices permitem decompor as mudanças na produtividade total dos fatores em variações na eficiência técnica e tecnológica entre dois períodos de tempo, sendo, assim, possível avaliar a eficiência das propriedades canavicultoras nos ciclos da cultura da cana, seguindo a ótica da quantidade de insumos e produtos envolvidos no processo de transformação.

Incluída esta introdução, este artigo está dividido em cinco seções. Na seção seguinte, apresenta-se a fundamentação teórica para contextualizar a ferramenta utilizada para atender o objetivo proposto. Na terceira seção são apresentados os procedimentos metodológicos e, na quarta seção, os resultados e discussão. Por fim, nas quinta e sexta seções, respectivamente, expõem-se as conclusões do estudo e as referências bibliográficas.

2. Fundamentação Teórica

O Brasil é o maior produtor mundial de cana e de açúcar (OLIVEIRA et al., 2014; YOSHITAKE et al. 2015), com expressiva dimensão social, ao considerar o elevado percentual de trabalhadores que atuam em consonância com a legislação trabalhista brasileira, com cerca de 4 milhões de empregos diretos e indiretos (UNICA, 2013; YOSHITAKE et al., 2015). Esse setor, com uma estrutura produtiva de aproximadamente 430 usinas e destilarias (UNICA, 2013), é considerado base de sustentação econômica do país, pois, compõe-se de mais de 72 mil produtores de cana e tem participação de aproximadamente 2,4% do PIB nacional (YOSHITAKE et al., 2015).

Em termos de relevância ambiental, essa cultura destaca-se na produção do etanol (álcool etílico) que apresenta vantagens em relação ao petróleo por originar de fonte de energia renovável, uma vez que é produzida a partir da biomassa da cana, e poluir bem menos que os produtos derivados do petróleo, gás natural e do carvão, assim, contribuindo para a redução dos efeitos do aquecimento global (GOLDEMBERG, 2007; GALLARDO; BOND, 2010; MARTINELLI, 2011).

Na canavicultura, para alcançar o tripé do desenvolvimento sustentável (socioeconômico e ambiental), é imprescindível associar eficiente gerenciamento das atividades envolvidas na implantação e condução do canavial (ANDRADE; ANDRADE,

2007; RAPASSI et al., 2009; SILVA, 2011; RAIJ, 2011), com a ciclagem de resíduos industriais e preservação do solo e dos recursos hídricos (PRADO, 2005; OLIVEIRA et al.; 2007; ALBUQUERQUE, 2009).

Existem diversos métodos de avaliar o desempenho de uma **organização**. Um conjunto de métodos é formado por modelos paramétricos (estatísticos) e o outro conjunto por modelos não paramétricos ou não estocásticos (MACEDO; BENJIO, 2003; RIBEIRO, 2008; FERREIRA; GOMES, 2009). Porém, os métodos mais comuns de avaliar o desempenho relativo de organizações públicas, comerciais ou beneméritas são os não estocásticos. Dentre estes métodos, o Índice de Produtividade Total dos Fatores de Produção (Índice de *Malmquist*) vem se destacando como importante ferramenta para avaliar a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão, uma vez que, por meio de números índices, analisam-se mudanças de produtividade entre dois períodos de tempo (COELLI; RAO, 2003; RAY, 2004; COOK; ZHU, 2008; FERREIRA; GOMES, 2009).

O índice de *Malmquist* foi inicialmente proposto por Sten Malmquist na análise do comportamento do consumidor (MALMQUIST, 1953; LOVELL, 1996; COOK; ZHU, 2008). Em, 1982 Caves et al., com base em Malmquist (1953), introduziram o conceito de índice de *Malmquist* ou IPTF (índice de produtividade total dos fatores de produção) na análise de produção. Esse índice é composto pelo efeito das mudanças da eficiência técnica – denominado emparelhamento da fronteira (*catch-up effect*) – aliado às alterações no progresso tecnológico – denominado deslocamento da fronteira (*frontier-shift effect*) – entre dois períodos de tempo (ano atual “t” em comparação com o ano anterior “t-1”) (RAY, 2004; COOK; ZHU, 2008; FERREIRA; GOMES, 2009; MULWA et al. 2012).

Se esse índice, resultante da multiplicação das variações técnicas e tecnológicas, for maior do que um, indica que a produtividade total dos fatores de produção da unidade em observação melhorou em relação ao ano anterior. Se menor do que um, a unidade piorou e se igual a um a unidade produtora não evoluiu. As mudanças na eficiência técnica global (ETG) ou *change in efficiency* estão descritas na Figura 1.

Ao tomar como exemplo a Figura 1, percebe-se que se o resultado da operação “ $ETG=(EF/EG)/(AC/AD)$ ” for > 1 indica progresso técnico; se < 1 representa regresso técnico; e se $= 1$ permanece a mesma eficiência técnica.

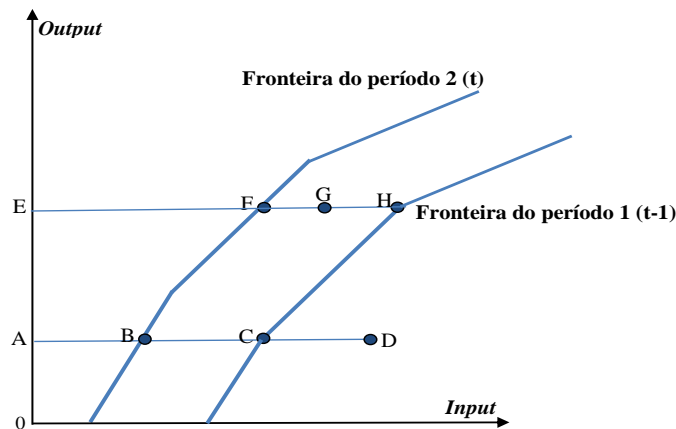


Figura 1: Emparelhamento e progresso técnico entre dois períodos de tempo.

Fonte: Adaptada de Cooper; Seiford; Tone, 2007; Cook e Zhu, 2008; Ferreira e Gomes, 2009.

A mudança de tecnologia (ET) ou *technical change* pode ser assim descrita: $ET = (AC/AD)/(AB/AD)$. Da mesma forma, caso o resultado desta operação for > 1 indica progresso na tecnologia; se < 1 indica regresso tecnológico e se $= 1$ permanece a mesma tecnologia.

Conforme Thrall (2000); Cook e Zhu (2008), Ferreira e Gomes (2009), a decomposição do índice de *Malmquist* com orientação à quantidade utilizada de insumo é dada por:

$$M_o(x_t, y_t, x_{t-1}, y_{t-1}) = \frac{d_o^t(x_t, y_t)}{d_o^{t-1}(x_{t-1}, y_{t-1})} * \left[\frac{d_o^{t-1}(x_t, y_t)}{d_o^t(x_t, y_t)} * \frac{d_o^{t-1}(x_{t-1}, y_{t-1})}{d_o^t(x_{t-1}, y_{t-1})} \right]^{1/2}$$

Em que:

M_o : Índice de *Malmquist* da unidade observada.

x_t e y_t : Insumos (x) e produtos (y) no tempo atual (t).

x_{t-1} e y_{t-1} : Insumos (x) e produtos (y) no tempo anterior (t-1).

d: Distância calculada por programação linear das unidades analisadas, nos tempos atual e anterior.

A primeira expressão (fora das chaves) avalia se houve mudança na eficiência técnica da unidade observada ao longo do tempo, dada a mesma tecnologia. A segunda expressão (entre chaves) reflete variações na produtividade devido às inovações tecnológicas. A média geométrica das expressões, entre chaves, mede o deslocamento da fronteira tecnológica entre dois períodos.

Para identificar quais unidades de produção estão contribuindo para deslocar a fronteira tecnológica (efeito *frontier shift*) entre os períodos (t-1 e t), Charnes *et al.*, (1978); Banker *et al.*, (1984); Färe *et al.*, (1994); Lovell (2003) e Ferreira e Gomes (2009) citam que é necessário três condições: *i*) existência de mudança tecnológica; *ii*) se o produto da unidade de produção no período “t” for superior ao máximo produto potencial que poderia ser obtido no período “t-1”, utilizando-se as mesmas quantidades de fatores de produção do período “t”, haverá progresso tecnológico, e a unidade de produção poderá estar deslocando a fronteira de produção; e, *iii*) se houver deslocamento da fronteira de produção, a unidade de produção deve estar situada sobre ela.

3. Procedimentos Metodológicos

Esta pesquisa, configurada como sendo quantitativa e exploratória, foi realizada em 79 propriedades canavieiras da Serra dos Aimorés, Minas Gerais. Além dos dados apresentados em valores totais, em planilhas do SEBRAE/MG-Educampo Cana (corrigidos os valores monetários pela inflação – IGP-DI julho de 2011), foram obtidos dados primários, por meio da aplicação de questionários estruturados e de visitas técnicas *in loco* para complementar ou validar os resultados da pesquisa, bem como detalhar cada variável para se obterem os indicadores técnicos. Dessa forma, os dados desse estudo contemplaram cinco canaviais de cada propriedade, quatro safras (primeira rebrota à quarta rebrota correspondentes ao período de 2008 a 2011) e cinco variedades de cana (RB835486; RB855113; RB855536; RB867515 e SP79-1011), perfazendo 1.580 observações.

A escolha dos insumos (*inputs*) e produto (*output*) foi com base nas variáveis necessárias para implantação e condução de um canavial. A partir do conjunto de variáveis, foram excluídas as fortemente correlacionadas e, na sequência, reduzida adicionalmente a dimensionalidade do processo por meio de análise de componentes principais ou PCA (*principal component analysis*) das variáveis de *input* e *output* referentes à cana-planta e rebrotas da cana. Assim, as variáveis de *input* incluídas na análise foram: quantidades empregadas de calcário, adubo orgânico, adubo químico, inseticida químico, herbicida e a área do talhão de cana; e a variável de *output*, a produção (toneladas por talhão) de colmos industrializáveis de cana-de-açúcar.

Em razão de as fazendas terem tipos diferentes de adubo aplicados nas rebrotas da cana, a amostra, foi dividida em dois grupos: Grupo I – formado por 20 fazendas que

aplicaram adubo orgânico (vinhaça) nas rebrotas da cana e, Grupo II – formado por 59 fazendas que aplicaram adubo químico (formulado 20-00-20) nas rebrotas da cana. Considerando que alguns insumos foram aplicados apenas em determinado ciclo de produção, porém com influência nos demais ciclos, fez-se a distribuição (rateio) desses insumos, no decorrer do ciclo da cultura da cana. O calcário aplicado na implantação ou reforma do canavial foi distribuído igualmente entre os cortes, o inseticida químico aplicado no fundo do sulco de plantio foi rateado apenas entre a cana-planta e a primeira rebrota. Para o adubo químico, vinhaça, herbicida e inseticida aplicado posteriormente à primeira rebrota, não houve rateio, visto terem sido utilizados em cada corte.

Para atender ao objetivo proposto, foram utilizados Índices de *Malmquist*, com modelos orientados à redução de insumos. Neste estudo, o índice de *Malmquist* foi calculado sob uma nova abordagem proposta por Ray e Desli (1997), com fundamentação em Malmquist (1953), no qual, além de retornos constantes de escala, consideraram-se retornos variáveis à escala. Com vistas a confrontar os diferentes períodos de tempo, adotou-se o critério de comparar as quatro rebrotas da cana, uma vez que os tipos de insumos usados na cana-planta divergiam dos das rebrotas. Por meio do programa “*KonSi Malmquist Index*”, foram encontradas as variações do desempenho técnico e tecnológico, bem como os índices de produtividade total dos fatores (IPTF) dos ciclos de primeira à quarta rebrotas da cana, comparando-se os anos atuais “t” com os anos anteriores “t-1”. A análise estatística descritiva e indutiva dos dados foi feita por meio do *software* “Stata”.

Quanto aos procedimentos de análise dos dados, cada talhão de cana foi denominado DMU (*Decision Making Unit*) ou unidade tomadora de decisão, com codificações que identificavam os talhões de cada fazenda. Por exemplo, na fazenda 01 o talhão 01 passou a ser identificado como DMU F01T01.

4. Resultados e Discussão

Nesta seção, para calcular os índices, primeiramente obtiveram-se os resultados da eficiência relativa nos modelos com retornos constantes de escala (RCE) e com retornos variáveis de escala (RVE) dos cinco talhões de cana – por fazenda e entre fazendas –, ao longo do tempo (comparadas as colheitas do ano atual com as do ano anterior). Em seguida, com base nos resultados desses modelos, foram calculadas as variações da eficiência técnica global (ETG), variação da eficiência pura (EP), variação na escala de produção (EE) e

variação tecnológica (ET). De posse desses números-índice, encontrou-se o índice de produtividade total dos fatores (IPTF), que é o resultado da multiplicação entre ETG e ET. Para mostrar essa operação, tomou-se como exemplo a Fazenda 1 (Tabela 1).

Tabela 1: Eficiência técnica nos modelos RCE e RVE, Fazenda 1, na rebrota dos cinco talhões, nos tempos “t-1” e “t” da colheita da cana

DMU (Fazenda 1)	Comparação entre a colheita do ano base com a do ano anterior (t, t-1)	RCE(t)	RCE(t-1)	RCEM _{k1} (t,t-1)	RCEM _{k2} (t-1,t)	RVE(t)	RVE(t-1)
F01T01	2009_2008	1,000	0,762	0,969	5,384	1,000	0,766
F01T01	2010_2009	0,897	1,000	1,000	1,030	0,953	1,000
F01T01	2011_2010	0,791	0,897	0,825	0,860	0,929	0,953
F01T02	2009_2008	1,000	1,000	0,855	9,422	1,000	1,000
F01T02	2010_2009	0,997	1,000	0,924	1,122	1,000	1,000
F01T02	2011_2010	0,817	0,997	0,836	1,005	1,000	1,000
F01T03	2009_2008	0,887	0,921	0,774	6,484	0,900	0,926
F01T03	2010_2009	0,847	0,887	0,922	0,814	0,856	0,900
F01T03	2011_2010	0,780	0,847	0,799	0,826	0,813	0,856
F01T04	2009_2008	0,911	0,986	0,796	6,966	0,938	1,000
F01T04	2010_2009	1,000	0,911	0,993	0,837	1,000	0,938
F01T04	2011_2010	0,725	1,000	0,751	0,965	0,738	1,000
F01T05	2009_2008	0,952	0,899	0,865	8,361	0,986	0,924
F01T05	2010_2009	0,901	0,952	0,981	1,026	0,925	0,986
F01T05	2011_2010	0,758	0,901	0,777	0,879	0,759	0,925

Descrição dos índices:

RCE (t-1): Eficiência de retorno constante de escala no momento base em relação à fronteira base.

RCE (t): Eficiência de retorno constante de escala no momento atual em relação à nova fronteira.

RCEM_{k1} (t, t-1): Eficiência de retorno constante de escala no momento atual em relação à fronteira base.

RCEM_{k2} (t-1, t): Eficiência de retorno constante de escala no momento base em relação à nova fronteira.

RVE (t-1): Retorno variável de escala de produção nos tempos anterior (t-1) e atual (t).

RVE (t): Eficiência de retorno variável de escala no momento atual em relação à nova fronteira.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na fazenda 1, ao considerar o modelo RCE, foram observados os seguintes comportamentos: a DMU F01T01 foi considerada ineficiente em 2008 e nas duas últimas rebrotas da cana (2010 e 2011).

A DMU F01T02 foi eficiente em 2008 e 2009, porém, foram ineficientes em 2010 e 2011. As DMUs F01T03 e F01T05 foram ineficientes em todas as rebrotas da cana, enquanto a F01T04 foi ineficiente em 2008, 2009 e 2011. As DMUs eficientes no modelo RCE também o foram no modelo RVE. Além dessas, no tempo “t-1” e “t”, as DMUs F01T02 e F01T04, consideradas ineficientes no modelo RCE, foram eficientes no modelo RVE. Considerando-se a eficiência de RCE no momento atual em relação à nova fronteira, três DMUs foram relativamente eficientes (segunda rebrota das F01T01 e F01T02 e terceira rebrota da F01T04). Quanto à eficiência de RVE, no momento atual em relação à nova fronteira, cinco DMUs foram relativamente eficientes (segunda rebrota das F01T01 e F01T02; terceira rebrota das DMUs F01T02 e F01T04 e quarta rebrota da DMU F01T02).

Com base nos resultados de eficiência relativa dos modelos com RCE e com RVE, foram calculadas as variações da ETG, EP, EE e ET dessas propriedades. Para mostrar essa operação, tomou-se, também, como exemplo a Fazenda 1 (Tabela 2).

Tabela 2: Índices de variação da produtividade e das eficiências técnica, tecnológica e de escala de produção entre as rebrotas dos cinco talhões de cana da Fazenda 1, ano atual (t) versus ano anterior (t-1)

DMU (Fazenda 1)	Comparação entre a colheita do ano base com a do ano anterior (t, t-1)	Δ IPTF	Δ ETG	Δ EP	Δ EE	Δ ET
		ETG*ET	EP*EE	RV(t)/RV(t-1)	ETG/EP ou [(RC(t)/RC(t-1)) / [RV(t)/RV(t-1)]]	Raiz quadrada de {[RCMx1(t,t-1) / RC(t)]* [RC(t-1) / RCMx2 (t-1, t)]}
F01T01	2009_2008	0,486	1,312	1,305	1,005	0,370
F01T01	2010_2009	0,933	0,897	0,953	0,941	1,040
F01T01	2011_2010	0,920	0,882	0,974	0,905	1,043
F01T02	2009_2008	0,301	1,000	1,000	1,000	0,301
F01T02	2010_2009	0,906	0,997	1,000	0,997	0,909
F01T02	2011_2010	0,826	0,819	1,000	0,819	1,008
F01T03	2009_2008	0,339	0,963	0,972	0,991	0,352
F01T03	2010_2009	1,040	0,955	0,951	1,005	1,089
F01T03	2011_2010	0,944	0,921	0,950	0,969	1,024
F01T04	2009_2008	0,325	0,924	0,938	0,985	0,352
F01T04	2010_2009	1,141	1,097	1,066	1,030	1,040
F01T04	2011_2010	0,751	0,725	0,738	0,982	1,036
F01T05	2009_2008	0,331	1,058	1,067	0,991	0,313
F01T05	2010_2009	0,951	0,947	0,938	1,009	1,005
F01T05	2011_2010	0,862	0,842	0,820	1,026	1,024

Descrição dos índices:

Δ IPTF: Variação no Índice de produtividade total dos fatores (Índice de *Malmquist*)

Δ ETG: Variação na eficiência técnica global

Δ EP: Variação na eficiência pura

Δ EE: Variação na eficiência de escala de produção

Δ ET: Variação na eficiência tecnológica

Fonte: Resultados da pesquisa.

Entre 2008 a 2011, a Fazenda 1 apresentou perdas de produtividade em cerca de 87% dos talhões de cana, contribuindo para um resultado médio de 0,74 de IPTF, ou seja, perda acumulada de 26% nas rebrotas da cana. Apenas os talhões (DMUs) F01T03 e F01T04 tiveram ganhos de produtividade da ordem de 4 e 14%, respectivamente, no ano de 2010 em relação ao de 2009.

O ganho de produtividade da DMU F01T03 foi atribuído às variações tecnológicas em 2010, visto que esta DMU teve regresso técnico nesse período. Já o incremento de produtividade da DMU F01T04 pode ser explicado pelas variações positivas nas eficiências técnica e tecnológica.

Quanto às variações na eficiência técnica, nota-se que três DMUs tiveram progresso técnico (destaque para a DMU F01T01 com 31,2%), apenas uma DMU permaneceu constante e 11 tiveram regresso técnico. Em termos de variação tecnológica, nove DMUs tiveram progresso tecnológico e as demais, regresso tecnológico. Marinho e Carvalho (2004) ao compararem a produtividade na agricultura brasileira no período de 1970 a 1995, por meio do

Índice de *Malmquist*, observaram que ganhos de produtividade decorreram-se, quase exclusivamente, de variações tecnológicas, visto que as variações técnicas foram pequenas. Para estes autores, na Região Sudeste do Brasil, a variação tecnológica foi de aproximadamente 53%, enquanto o ganho de eficiência foi de apenas 1,2%.

Nos Grupos I e II foram encontrados, individualmente, os resultados de eficiência relativa dos modelos com retornos constantes de escala (RCE) e com retornos variáveis de escala (RVE), bem como calculados os Índices de variação da produtividade total dos fatores (Δ IPTF), das eficiências técnica (Δ ETG), pura (Δ EP), de escala (Δ EE) e tecnológica (Δ ET). Nas Tabelas 3 e 4 encontram-se as medidas descritivas das variáveis que compuseram o IPTF dos dois grupos.

No Grupo I, em relação à ETG, no decorrer dos ciclos observaram-se ocorrências de progresso e regresso técnico nas DMUs, com destaque para o ano de 2009 (Tabela 3), com aumento médio de 13% na eficiência técnica global. Nesse período, o número-índice máximo foi de 1,66; isto significa que a DMU F05T05 (a quem se refere o índice) teve 66% de progresso técnico no ano de 2009 em comparação com o de 2008.

Tabela 3: Índices de variação da produtividade total dos fatores, das eficiências técnica, pura, de escala e tecnológica entre as rebrotas da cana-de-açúcar do Grupo I

Tempos t; t-1	Estatística descritiva	Δ IPTF	Δ ETG	Δ EP	Δ EE	Δ ET	RCE (t-1)	RCE (t)	RCEM ₁ (t,t-1)	RCEM ₂ (t-1,t)	RVE (t-1)	RVE (t)
2009-2008	Média	0,34	1,13	1,08	1,05	0,30	0,76	0,85	0,70	6,96	0,82	0,87
	Desvio-padrão	0,04	0,14	0,12	0,08	0,02	0,11	0,11	0,11	1,03	0,12	0,11
	CV (%)	13,2	12,4	11,0	7,9	7,6	14,2	12,4	15,6	14,7	14,4	12,1
	Mínimo	0,24	0,85	0,86	0,86	0,27	0,51	0,51	0,41	4,74	0,52	0,52
	Máximo	0,50	1,66	1,65	1,58	0,37	1,00	1,00	0,98	9,86	1,00	1,00
	Amplitude	0,27	0,81	0,79	0,72	0,10	0,49	0,49	0,56	5,11	0,48	0,48
	Mediana	0,33	1,11	1,06	1,02	0,29	0,77	0,87	0,71	6,91	0,81	0,89
2010-2009	Média	0,93	0,96	0,97	0,99	0,97	0,85	0,81	0,80	0,89	0,87	0,85
	Desvio-padrão	0,11	0,12	0,12	0,04	0,06	0,11	0,12	0,13	0,12	0,11	0,13
	CV (%)	11,3	12,7	12,4	4,4	6,4	12,4	14,4	15,8	13,2	12,1	14,9
	Mínimo	0,66	0,66	0,66	0,80	0,90	0,51	0,55	0,54	0,56	0,52	0,56
	Máximo	1,30	1,43	1,41	1,09	1,13	1,00	1,00	1,19	1,15	1,00	1,00
	Amplitude	0,64	0,77	0,75	0,28	0,23	0,49	0,45	0,65	0,59	0,48	0,44
	Mediana	0,93	0,97	1,00	1,00	0,94	0,87	0,82	0,82	0,90	0,89	0,86
2011-2010	Média	0,93	0,94	0,96	0,97	1,00	0,81	0,76	0,76	0,82	0,85	0,81
	Desvio-padrão	0,12	0,12	0,13	0,06	0,03	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,14
	CV (%)	13,1	12,6	13,9	6,2	3,3	14,4	15,6	15,5	15,2	14,9	17,5
	Mínimo	0,68	0,69	0,70	0,78	0,95	0,55	0,49	0,48	0,56	0,56	0,51
	Máximo	1,30	1,28	1,31	1,17	1,06	1,00	1,00	1,06	1,05	1,00	1,00
	Amplitude	0,61	0,59	0,61	0,39	0,11	0,45	0,51	0,58	0,49	0,44	0,49
	Mediana	0,93	0,94	0,97	0,98	1,00	0,82	0,76	0,77	0,83	0,86	0,80

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em relação às mudanças tecnológicas, constatou-se regresso em todas as DMUs no ciclo de 2009, com baixos números-índice de variação de ET (entre 0,27 e 0,37). No decorrer das rebrotas seguintes, esse grupo de DMUs teve progresso técnico e tecnológico. Porém, na

média, tais progressos não foram suficientes para compensar a queda na PTF. Percebeu-se que as perdas na PTF ocorreram mais em razão do regresso tecnológico do que o da eficiência técnica, uma vez que, nesse grupo de fazendas, a média dos números-índice de eficiência tecnológica foi de 0,757 (enquanto a média de variação na eficiência técnica foi de 1,005); isto significa perda de aproximadamente 24% na ET e ganho de 0,5% na ETG, ao comparar os ciclos das rebrotas da cana. Ao analisar as duas composições do Índice de *Malmquist* (eficiências técnica global e tecnológica) na média por ciclo, ocorreram progresso e regresso técnicos das DMUs do Grupo II (Tabela 4).

Tabela 4: Índices de variação da produtividade total dos fatores, das eficiências técnica, pura, de escala e tecnológica entre rebrotas da cana-de-açúcar do Grupo II

Tempos t; t-1	Estatística descritiva	Δ PTF	Δ ETG	Δ EP	Δ EE	Δ ET	RCE (t-1)	RCE (t)	RCEM ₁ (t,t-1)	RCEM ₂ (t-1,t)	RVE (t-1)	RVE (t)
2009-2008	Média	0,33	0,99	0,98	1,01	0,33	0,76	0,75	0,70	6,35	0,79	0,77
	Desvio-padrão	0,04	0,12	0,12	0,05	0,02	0,10	0,11	0,10	0,91	0,11	0,11
	CV (%)	11,6	12,3	12,1	4,6	4,8	13,1	14,4	14,4	14,4	13,5	14,7
	Mínimo	0,23	0,63	0,59	0,84	0,31	0,48	0,44	0,42	3,92	0,49	0,47
	Máximo	0,46	1,43	1,37	1,29	0,38	1,00	1,00	1,01	9,12	1,00	1,00
	Amplitude	0,24	0,81	0,78	0,45	0,07	0,52	0,56	0,58	5,20	0,51	0,53
	Mediana	0,33	1,00	0,98	1,01	0,33	0,75	0,75	0,70	6,38	0,78	0,77
2010-2009	Média	0,92	1,02	1,01	1,01	0,90	0,75	0,76	0,70	0,85	0,77	0,78
	Desvio-padrão	0,12	0,12	0,12	0,04	0,05	0,11	0,14	0,15	0,13	0,11	0,14
	CV (%)	13,5	11,9	11,6	3,9	5,3	14,4	18,2	21,8	15,2	14,7	17,8
	Mínimo	0,48	0,53	0,55	0,65	0,82	0,44	0,42	0,38	0,50	0,47	0,44
	Máximo	1,96	1,61	1,60	1,24	1,22	1,00	1,00	1,68	1,22	1,00	1,00
	Amplitude	1,48	1,08	1,05	0,59	0,40	0,56	0,58	1,30	0,72	0,53	0,56
	Mediana	0,93	1,03	1,02	1,01	0,89	0,75	0,77	0,68	0,85	0,77	0,78
2011-2010	Média	0,91	0,97	0,97	1,00	0,94	0,76	0,74	0,69	0,81	0,78	0,76
	Desvio-padrão	0,09	0,10	0,09	0,04	0,02	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,15
	CV (%)	10,0	10,0	9,7	3,6	1,7	18,2	20,4	20,9	17,9	17,8	19,7
	Mínimo	0,58	0,63	0,63	0,78	0,78	0,42	0,35	0,33	0,45	0,44	0,40
	Máximo	1,24	1,34	1,33	1,18	0,97	1,00	1,00	0,97	1,28	1,00	1,00
	Amplitude	0,65	0,71	0,70	0,40	0,19	0,58	0,65	0,64	0,83	0,56	0,60
	Mediana	0,92	0,98	0,98	1,00	0,94	0,77	0,75	0,70	0,81	0,78	0,76

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na média por grupo, o número-índice situou-se em torno de 0,993; o que significa perda de eficiência (0,7%) no decorrer das rebrotas. Ao avaliar os valores máximos das variações tecnológicas, observou-se progresso tecnológico apenas no ano de 2010, com destaque para a DMU F13T01 com ganho de PTF de 96% (progresso técnico de 61%, progresso tecnológico de 22%), visto que esta DMU operou em escala de produção considerada ótima. Os piores regressos tecnológicos ocorreram na safra de 2009 (100% das DMUs), ao compará-la com a safra de 2008.

Em relação às rebrotas da cana do Grupo II, constatou-se que, na média dos ciclos, as perdas na PTF (27%) ocorreram mais em razão do regresso tecnológico (27%) que da eficiência técnica (1%). Quanto à variação na escala de produção, em média, estas fazendas

operaram com rendimentos decrescentes de escala, o que significa que estas DMUs poderão melhorar a tecnologia, ao aumentar a produtividade dos fatores de produção. Na Figura 2 estão descritos o desempenho técnico, tecnológico e da produtividade total dos fatores das 20 fazendas (100 DMUs) do Grupo I e das 59 fazendas (295 DMUs) do Grupo II.

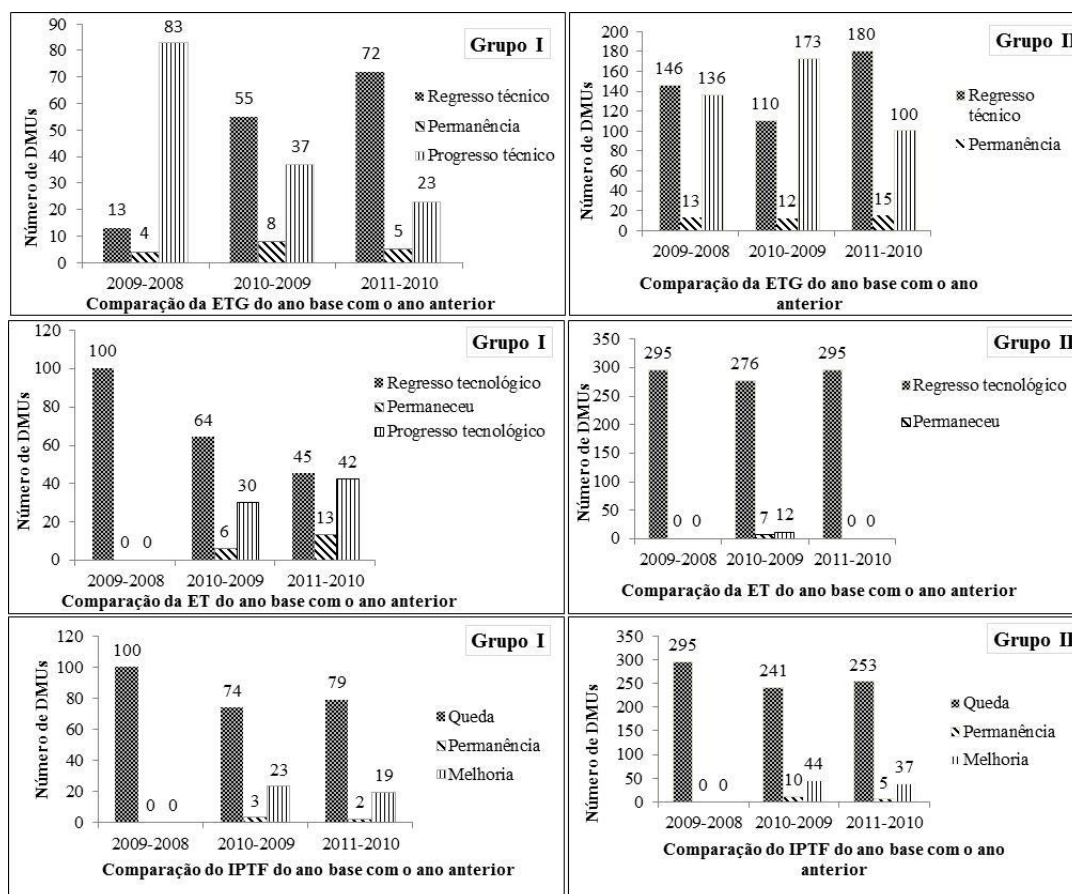


Figura 2: Desempenho técnico, tecnológico e da PTF dos Grupos I e II.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Comparando as variações das eficiências dos tempos atual e anterior, pode-se categorizar o estudo das DMUs dos Grupos I e II em três subgrupos distintos: DMUs que tiveram progresso, DMUs que tiveram regresso e DMUs que não sofreram alteração no ciclo das rebrotas da cana-de-açúcar. Pela Figura 2, observa-se que o maior percentual de regresso técnico ocorreu em 2011 (última rebrota), em ambos os grupos, respectivamente com 72 e 61%. Os maiores progressos técnicos foram registrados no Grupo I, em 2009 (cerca de 83% das DMUs) e no Grupo II, em 2010 (cerca de 59%). Em relação à mudança tecnológica, no ano de 2009, houve regresso em 100% das DMUs do Grupo I, e no Grupo II houve 100% de regresso nos anos de 2009 e de 2011. Desse modo, esses resultados influenciaram na variação da PTF em ambos os grupos.

Para atender as três condições expostas nas equações (1); (2) e (3) – citadas anteriormente – e para identificar quais unidades de produção deslocaram a fronteira tecnológica (efeito *frontier shift*) do período anterior para o período atual, foram calculadas as distâncias para as DMUs dos Grupos I e II. Nas Tabelas 5 e 6, são mostrados os cálculos das distâncias por programação linear para as DMUs dos Grupos I e II que contribuíram, em algum momento, para o deslocamento da fronteira de produção, bem como os índices de mudanças na eficiência técnica (ETG), mudança tecnológica (ET) e na produtividade total dos fatores (IPTF) de produção.

Tabela 5: Unidades do Grupo I que contribuíram, em algum momento, para o deslocamento da fronteira de produção

Comparação entre o ano atual e o ano base	DMU	$d_o^{t-1}(x_{t-1}, y_{t-1})$	$d_o^t(x_t, y_t)$	$d_o^{t-1}(x_t, y_t)$	$d_o^t(x_{t-1}, y_{t-1})$	ETG	ET	IPTF
		(a)	(b)	(c)	(d)			
2009_2008	F02T05	0,80	0,90	0,87	5,92	1,13	0,36	0,41
	F12T01	0,84	1,00	0,91	7,58	1,19	0,32	0,38
	F30T04	0,96	1,00	0,98	7,38	1,04	0,36	0,37
	F47T02	0,59	0,68	0,56	5,85	1,14	0,29	0,33
2010_2009	F02T05	0,90	1,00	1,01	0,89	1,11	1,01	1,12
	F12T01	1,00	1,00	1,09	1,07	1,00	1,01	1,01
	F30T04	1,00	1,00	1,19	1,15	1,00	1,02	1,02
	F47T02	0,68	0,79	0,86	0,72	1,17	1,01	1,18
2011_2010	F02T05	1,00	0,75	0,78	1,00	0,75	1,02	0,76
	F12T01	1,00	0,85	0,87	0,98	0,85	1,02	0,87
	F30T04	1,00	1,00	1,06	0,94	1,00	1,06	1,06
	F47T02	0,79	1,00	1,04	0,78	1,26	1,03	1,30

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para satisfazer às condições expressas nas equações (2) e (3) é necessário que a distância localizada na coluna (b) da Tabela 5 seja igual à unidade e a distância expressa na coluna “c”, desta tabela, seja maior que a unidade. Destarte, para verificar as condições descritas nas equações (2) e (3) é necessário observar os dados exibidos na Tabela 5. Nesta tabela, os números-índice, exibidos nas três últimas colunas, representam, respectivamente, a variação das eficiências técnica, tecnológica e a produtividade total dos fatores de produção.

No Grupo I, as unidades que, em algum momento, tiveram progresso técnico, progresso tecnológico e ganhos em produtividade total dos fatores de produção foram apenas as DMUs F02T05, F12T01, F30T04 e F47T02.

Em 2009, nenhuma DMU atendeu às condições de deslocamento da fronteira, pois os números-índice da terceira coluna foram inferiores a uma unidade e os da quarta coluna, menores ou iguais à unidade. Entretanto, em 2010, houve deslocamento da fronteira provocado pelas DMUs F02T05, F12T01 e F30T04, uma vez que estas tiveram progresso

técnico (valores da coluna “b” > que os da coluna “a”) e tecnológico (valores da coluna “b”=1 e valores da coluna “c” > que 1) nesse período. Em 2011, esse deslocamento foi provocado apenas pelas DMUs F30T04 e F47T02.

A DMU F02T05 apresentou aumento de 11% na eficiência técnica e de apenas 1% na eficiência tecnológica, assim, o aumento no IPTF foi de 12%. O deslocamento da fronteira possivelmente tenha sido ocasionado por fatores exógenos não captados pelo modelo, por exemplo, chuvas localizadas, uma vez que se manteve a quantidade de insumos aplicados – especialmente a adubação orgânica, na dose de 20 m³ ha⁻¹ –, e houve acréscimo na produtividade de 6,78 t de colmos industrializáveis por hectare. Essas chuvas localizadas, especialmente quando ocorrem após adubação e cultivo da entrelinha da rebrota, têm grande efeito no vigor das rebrotas e no desenvolvimento da lavoura. O solo da região tem, em média, capacidade máxima de retenção de água de 20% (um litro de solo retém 0,2 L de água), assim, chuvas de 20 mm são suficientes para umedecer, até a capacidade máxima de retenção de água, um perfil de 10 cm de profundidade. Esse umedecimento assegura umidade suficiente para uma rebrota vigorosa. Para se ter a exata precipitação pluvial ocorrida em cada talhão, essas chuvas localizadas somente poderiam ser medidas se houvesse em cada DMU uma estação climatológica automatizada, o que é inviável devido ao custo do equipamento e possibilidade de roubo ou avaria.

Em 2009, o talhão 1 da Fazenda 12 (DMU F12T01) destacou-se com 19% de aumento no progresso técnico; porém, nesse período, ocorreu perda de tecnologia (cerca de 68%) e, como consequência, houve redução na produtividade em 62%. Em 2010, o IPTF desta DMU aumentou em 1%, devido à eficiência tecnológica. Nesse ano, houve redução de 25% na quantidade aplicada de adubo orgânico. Entretanto, a queda na produtividade foi de apenas 10%, o que, numa avaliação anual, de curto prazo, aumentou a eficiência do uso dos insumos, especialmente da adubação. Esse efeito de redução na adubação não acompanhada de igual redução na produtividade deve ser avaliado com cautela, pois há comprometimento da fertilidade do solo, devido ao balanço negativo de nutrientes (a quantidade de nutrientes exportada pela colheita é maior que a repostada pela adubação), pois, conforme Malavolta et al., (1997); Raij (2011), há necessidade de recompor a fertilidade do solo, sob pena de comprometer a vida útil do canavial e a lucratividade da cultura.

Na DMU F30T04, houve aumento de 2% na eficiência tecnológica em 2010, em relação à 2009; porém, não ocorreu alteração na **eficiência** técnica. Ao comparar 2011 com 2010, houve incremento de 6,3% na produtividade, porém, a eficiência técnica manteve-se,

devido ao uso de insumos na mesma quantidade, especialmente da vinhaça aplicada na dose de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. O aumento no IPTF decorreu-se da eficiência tecnológica, possivelmente associada a fatores climáticos, conforme citado para a DMU F02T05.

A DMU F47T02 teve um incremento de 17% na eficiência técnica e de 1% na eficiência tecnológica, em 2010 comparativamente a 2009. Esses aumentos decorreram-se da elevação na produtividade, apesar da redução de 25% na dosagem aplicada de adubo orgânico. A variedade de cana, RB835486, plantada nesta DMU é colhida no início a meados da safra e, conforme Demattê (2005); Prado (2005), essa variedade responde muito bem à aplicação de água após o corte, assim, novamente a ocorrência de chuvas localizadas pode ter sido uma das causas do aumento da eficiência técnica, uma vez que, é comum, na região, a ocorrência de chuvas localizadas no período de safra. Quando se comparou o ano de 2011 com o de 2010, foram observados aumentos de 30% no IPTF e 26% na eficiência técnica, os quais podem estar associados à redução de 33% na adubação, porém, com um decréscimo de apenas 6% na produtividade.

Houve destaque para a DMU F47T02 com ganhos, em 2010, de 17% em ETG; 1% em ET e 18% em IPTF e, em 2011, respectivamente, de 26, 3 e 30%. Entretanto, mesmo contribuindo para o deslocamento da fronteira em algumas safras da cana, as DMUs F02T05, F12T01, F30T04 e F47T02, na média dos três anos, tiveram regresso tecnológico, e estes progressos técnicos não foram suficientes para fazer com que estas não tivessem perdas de produtividade, que, na média dos ciclos das rebrotas, foram, respectivamente de 24%, 25%, 18% e 6%.

Em relação ao Grupo II, as DMUs F13T01, F13T05, F20T03 e F36T05, em algum momento, contribuíram para deslocar a fronteira de produção (Tabela 6). Entretanto, semelhante ao Grupo I, em 2009, nenhuma DMU do Grupo II atendeu às condições de deslocamento da fronteira. Fato semelhante ocorreu em 2011, visto que todas as DMUs tiveram regresso tecnológico.

Na DMU F13T05 constatou-se eficiência tecnológica de 9% e técnica de 33% em 2010, relativamente ao ano de 2009, e que também esteve associada à ausência de adubação na terceira e quarta rebrotas.

Tabela 6: Unidades do Grupo II que contribuíram, em algum momento, para o deslocamento da fronteira de produção

Comparação entre o ano atual e o ano base	DMU	$d_o^{t-1}(x_{t-1}, y_{t-1})$	$d_o^t(x_t, y_t)$	$d_o^{t-1}(x_t, y_t)$	$d_o^t(x_{t-1}, y_{t-1})$	ETG	ET	IPTF
		(a)	(b)	(c)	(d)			
2009_2008	F13T01	0,79	0,62	0,60	5,49	0,79	0,37	0,29
	F13T05	0,86	0,75	0,71	6,68	0,88	0,35	0,31
	F20T03	0,86	0,99	0,95	6,31	1,16	0,36	0,42
	F36T05	0,73	0,91	0,82	6,52	1,23	0,32	0,39
2010_2009	F13T01	0,62	1,00	1,68	0,70	1,61	1,22	1,96
	F13T05	0,75	1,00	1,36	0,86	1,33	1,09	1,45
	F20T03	0,99	1,00	1,00	0,99	1,01	1,00	1,01
	F36T05	0,91	1,00	1,03	1,06	1,10	0,94	1,03
2011_2010	F13T01	1,00	0,78	0,61	1,28	0,78	0,78	0,61
	F13T05	1,00	1,00	0,97	1,03	1,00	0,97	0,97
	F20T03	1,00	0,75	0,69	1,10	0,75	0,91	0,69
	F36T05	1,00	0,94	0,88	1,07	0,94	0,93	0,88

Fonte: Resultados da pesquisa.

Ainda em relação à DMU F13T05, ao analisar 2011 com 2010, **embora tenha** mantido a mesma eficiência técnica do ano anterior, houve ineficiência tecnológica e perda de produtividade de 3%.

Outra DMU do grupo de fazendas adubadas quimicamente, que contribuiu para o deslocamento da fronteira, foi a DMU F20T03. Nesta, as rebrotas foram adubadas apenas com 250 kg de fertilizante. Com base nos números-índice, detectou-se aumento de eficiência técnica de 1%, sem alteração na eficiência tecnológica. Esses resultados de pequeno deslocamento precisam ser avaliados com certa precaução, pois, no ano de 2010 comparativamente ao de 2009, **nesta DMU**, houve aumento de produção de apenas 680 kg de colmos industrializáveis por hectare, o que, na prática, é difícil quantificar com precisão o que representa esse aumento percentual de apenas 0,75%. Conforme Rapassi et al. (2009) há necessidade de a cana estar com pouquíssima variabilidade dentro do talhão, para que a amplitude dos valores que compõem a média seja muito baixa e as perdas na colheita de um ano para outro serem muito pequenas.

A quarta e última DMU do Grupo II que contribuiu para o deslocamento da fronteira foi F36T05. Nesta DMU, houve aumento de eficiência técnica de 10% no ano de 2010 em relação a 2009, que esteve associada à redução no uso de herbicida, sem redução equivalente na produtividade. O herbicida foi uma das variáveis selecionadas para compor o quadro de *inputs*. Entretanto, segundo Oliveira et al. (2014), a dosagem do herbicida é influenciada pelo histórico de infestação ou controle de plantas daninhas no ciclo anterior. As condições hídricas do solo (seco ou úmido) também influenciam na dosagem. Geralmente, quando o

solo está seco e dependendo do percentual de degradação do herbicida pelo sol, por segurança, recomenda-se aumentar a dose do produto. Assim, a quantidade necessária pode estar associada ao manejo da cultura e disponibilidade hídrica do solo.

À semelhança do Grupo I, as DMUs do Grupo II que contribuíram para o deslocamento da fronteira em algumas safras de cana, tiveram regresso tecnológico, e os progressos técnicos destas, também, não foram suficientes para fazer com que não tivessem perdas de produtividade, que, na média dos ciclos das rebrotas, obtiveram IPTF da ordem de 9% (DMU F13T05); 29% (DMU F20T03); e 23% (DMU F36T05).

Nos estudos de Coelli e Rao (2003), em que avaliaram o crescimento da PTF de produção na agricultura de 93 países, no período de 1980-2000, usando Índice de *Malmquist*, 78% dos países tiveram progresso tecnológico, 20% regresso tecnológico e 2% mantiveram-se inalterados. Em relação à mudança na eficiência técnica, 47% tiveram progresso, 14% regresso e 39% permaneceram inalterados. **No referido estudo**, o Brasil apresentou apenas 0,1% de mudança na eficiência técnica e 1,9% de mudança na eficiência tecnológica.

No caso específico das propriedades canavieiras da Serra dos Aimorés, a produtividade da região é alta e, conforme Malavolta et al. (1997); Demattê (2005, em lavouras com alta produtividade, incrementos de produção são mais difíceis de serem obtidos, uma vez que há necessidade de grande equilíbrio entre todos os fatores de produção. Da mesma forma, reforçam Rapassi et al. (2009); Raij (2011), um aumento na dose de adubação em uma lavoura de alta produtividade, por exemplo, tem menor impacto ou impacto negativo, enquanto em uma lavoura de baixa produtividade, esse impacto sobre a produtividade é, na grande maioria das vezes, positivo.

Com o propósito de comparar o IPTF com o lucro das 79 fazendas desse estudo, conforme **mostrado** na Figura 3, fez-se uma análise de regressão das seguintes variáveis: variação do lucro entre as rebrotas da cana (variável dependente) e o IPTF (variável independente).

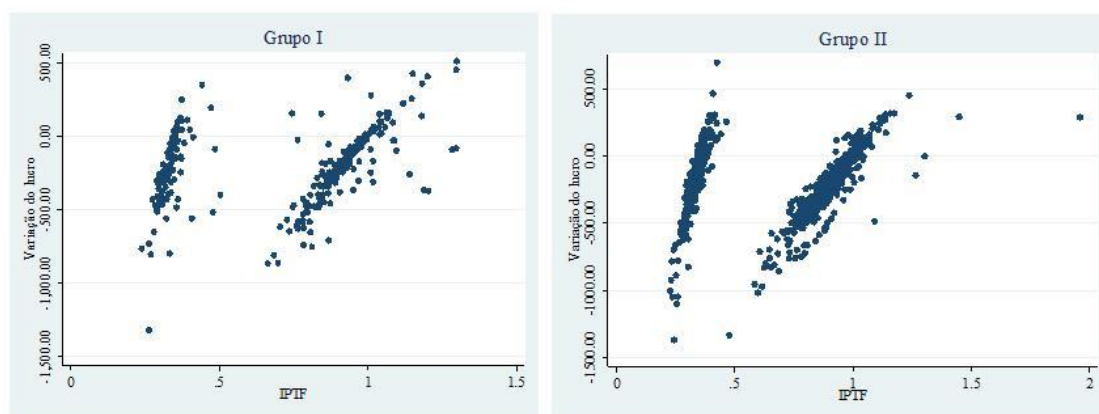


Figura 3: Análise de regressão das variáveis IPTF e variação do lucro referentes às DMUs dos Grupos I e II

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se que as DMUs de ambos os grupos encontram-se subdivididas em dois distintos subgrupos. Assim, cada Grupo foi desmembrado em dois subgrupos. Os subgrupos 1 e 2, compostos pelas propriedades do Grupo I, corresponderam às DMUS com IPTF menores que 0,4 e maiores que 0,6, respectivamente. Os subgrupos 3 e 4 corresponderam às propriedades do Grupo II, cujas DMUS apresentaram IPTF menores que 0,47 e maiores que 0,47, respectivamente.

Nos diagramas de dispersão (Figura 4) e na Tabela 7, mostram-se a relação entre a variação no lucro e o IPTF, relativos aos dois grupos.

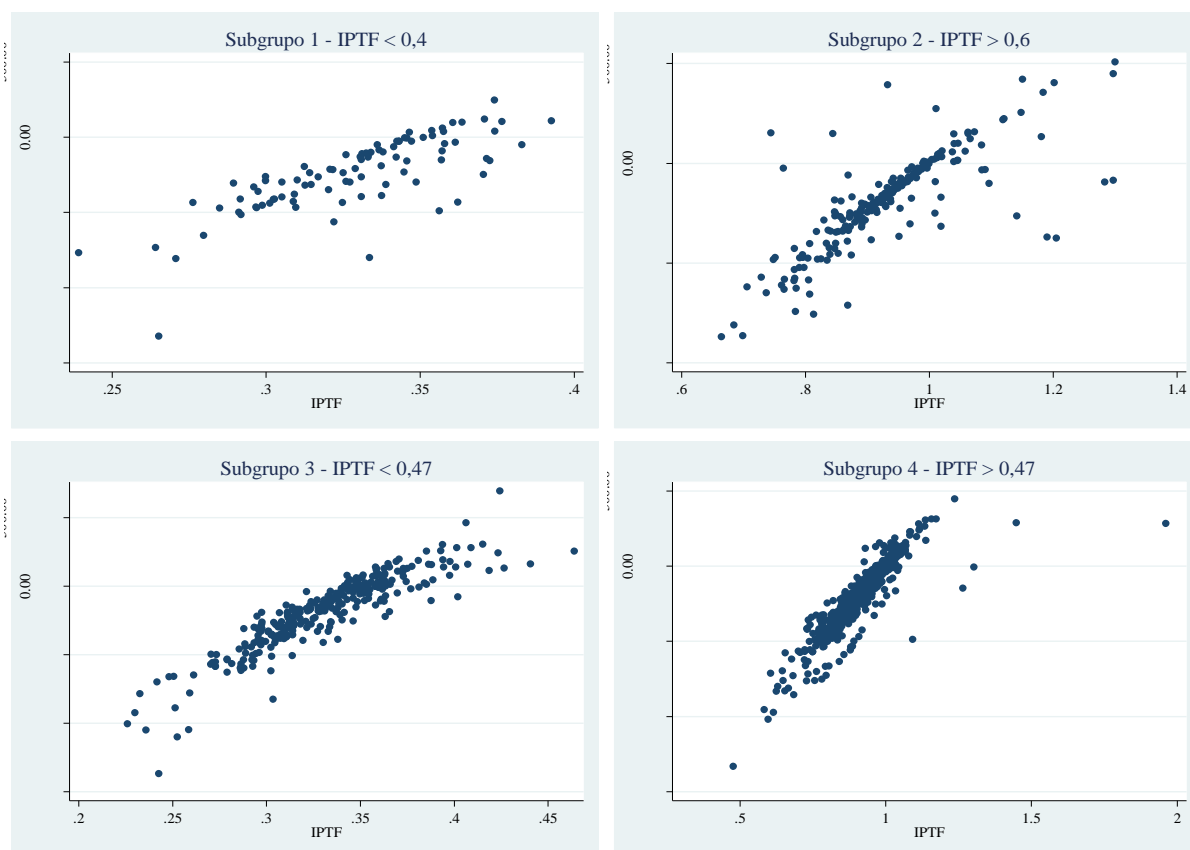


Figura 4: Análise de regressão das variáveis IPTF e variação do lucro referentes às DMUs dos subgrupos 1 e 2 e dos subgrupos 3 e 4.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Ao analisar o IPTF de cada DMU, notou-se que os menores índices (subgrupos 1 e 3) referiram-se ao ano de 2009 (segunda rebrota da cana) quando comparados aos de 2008 (primeira rebrota da cana). Nesse período, houve regresso tecnológico em 100% das DMUs, em ambos os subgrupos, ainda que tenha havido progresso técnico em 83% das DMUs do subgrupo 1 e em 47% das DMUs do subgrupo 2. As maiores reduções de produtividade de colmos industrializáveis ocorreram nos primeiros ciclos. Considerado os ciclos das rebrotas, na média dos dois grupos, os percentuais de queda foram de 12; 10; e 9,5%, respectivamente, entre a primeira, segunda, terceira e quarta rebrotas. Possivelmente, essa foi uma das possíveis causas da maior concentração em 2009 de DMUs, com menores índices de PTF, uma vez que essa queda foi mais acentuada no ciclo da primeira rebrota (2008) em relação à segunda (2009).

Tabela 7: Análise de regressão das variáveis IPTF e lucro dos quatro subgrupos de DMUS dos Grupos I e II

Grupo I	Subgrupo 1: DMUs com IPTF < 0,4			
	Variação no lucro (y) e IPTF (x) (R\$/talhão)	Coefficiente estimado	Erro-padrão	P> t
	Intercepto (constante)	-2.360	182	0,000
	IPTF em número-índice	6.437	554	0,000
	Número de observações: 92			
	Coeficiente de determinação (R ²): 0,5999			
Grupo II	Subgrupo 2: DMUs com IPTF > 0,6			
	Variação no lucro (y) e IPTF (x) (R\$/talhão)	Coefficiente estimado	Erro-padrão	P> t
	Intercepto (constante)	-1.741	89	0,000
	IPTF em número-índice	1.664	95	0,000
	Número de observações: 200			
	Coeficiente de determinação (R ²): 0,6037			
Grupo II	Subgrupo 3: DMUs com IPTF < 0,47			
	Variação no lucro (y) e IPTF (x) (R\$/talhão)	Coefficiente estimado	Erro-padrão	P> t
	Intercepto (constante)	-2.306	59	0,000
	IPTF em número-índice	6.401	178	0,000
	Número de observações: 295			
	Coeficiente de determinação (R ²): 0,8146			
Grupo II	Subgrupo 4: DMUs com IPTF > 0,47			
	Variação no lucro (y) e IPTF (x) (R\$/talhão)	Coefficiente estimado	Erro-padrão	P> t
	Intercepto (constante)	-1.790	38	0,000
	IPTF em número-índice	1.743	41	0,000
	Número de observações: 590			
	Coeficiente de determinação (R ²): 0,7481			

Fonte: Resultados da pesquisa.

No subgrupo 1, as DMUs que tiveram IPTF inferiores a 0,4 podem ser assim representadas:

$$“\Delta \text{ Lucro} = -2.360 + 6.437 * \text{IPTF}”.$$

Isso significa que para cada 0,1 de aumento no Índice de *Malmquist* há acréscimo de R\$643,71 no lucro. Enquanto no subgrupo 2 (DMUs com IPTF superiores a 0,6), aumento de 0,1 no Índice de *Malmquist* ocasiona incremento de R\$166,42 no lucro. No subgrupo 3, as DMUs com números índice de *Malmquist* inferiores a 0,47 são representadas pela equação:

$$“\Delta \text{ Lucro} = -2.306 + 6.401 * \text{IPTF}”.$$

Nesta equação, observa-se que, para cada 0,1 de aumento no IPTF haverá acréscimo de R\$640,10 no lucro, enquanto no subgrupo 4 (DMUs com números índice de *Malmquist* superiores a 0,47), esse acréscimo será de R\$174,30. Os maiores aumentos do lucro, nos subgrupos 1 e 3, podem ser explicados pela lei dos incrementos decrescentes ou acréscimos

não proporcionais proposta por *Mitscherlich*, no início dos anos 1900, em que o incremento de produção associado à cada adição crescente de insumos é menor que o incremento anterior (Malavolta et al., 1997; RAIJ, 2011) ou, ainda que exista aumentos na produção, com o acréscimo de insumos ou fatores de produção, esse aumento não é proporcional.

Em médio prazo, cerca de seis anos ou um ciclo completo da cultura (do plantio ao novo plantio), os subgrupos 1 e 3 podem apresentar maior lucro, devido ao menor investimento em insumos, mas, a longo prazo, essa prática de redução de insumos irá comprometer a fertilidade do solo e a produtividade da cultura. Outras possíveis causas dos maiores aumentos do lucro, nos subgrupos 1 e 3, podem ter sido em função dos fatores exógenos não incluídos no modelo, como: características do solo, topografia, gerenciamento técnico, manejo da cultura etc.

Em uma das visitas técnicas realizadas na região de Serra dos Aimorés, alguns produtores mais observadores mostraram, pela análise de solos, que houve redução na fertilidade do solo, devido às adubações com menos fertilizantes. A redução na adubação das lavouras de cana-de-açúcar é uma estratégia emergencial proposta por alguns pesquisadores quando o preço da cana-de-açúcar diminui, mas esses alertam para a necessidade de recompor a fertilidade do solo após a crise financeira (DEMATTE, 2005, MALAVOLTA et al., 2007; RAIJ, 2011), sob pena de comprometer a vida útil do canavial e a lucratividade da cultura.

No Grupo I, a DMU F02T05 foi a que mais se destacou, em termos financeiros, visto que esta teve incremento de 53,34% no lucro, e, no Grupo II, foram as DMUs F13T01 e F13T05, respectivamente, com aumento de 177 e 51,46% de lucro.

Durante o período de estudo, a precipitação pluvial foi bastante irregular, em volume anual e mensal. Em função dessa irregularidade das chuvas, constatou-se que os produtores que tiveram sincronismo entre planejamento e execução das atividades conseguiram implantar os melhores canaviais e, conseqüentemente, suas lavouras de cana-de-açúcar foram as mais lucrativas e com menores decréscimos de produtividade entre ciclos.

5. Considerações Finais

Delineou-se, inicialmente, neste trabalho, sobre o objeto de estudo composto pelas propriedades canavicultoras da região da Serra dos Aimorés. A relevância socioeconômica e ambiental do setor motivou a proposta de verificar o desempenho das propriedades canavicultoras do ponto de vista do critério da eficiência produtiva.

Para atender à proposta, o estudo fundamentou-se nas bases conceituais de eficiência.

Nessa base literária, percebeu-se que estudos relacionados a Índices de *Malmquist* eram ainda incipientes no setor sucroenergético, principalmente os relativos à produção de cana-de-açúcar. Ante o ineditismo da pesquisa, nesse estudo objetivou-se avaliar as variações de eficiências técnicas e tecnológicas ao longo dos ciclos da cultura da cana-de-açúcar, utilizando Índices de *Malmquist*.

Em razão de as propriedades canaviculoras terem tipos diferentes de adubos aplicados nas rebrotas da cana, esse estudo foi dividido em dois grupos: O Grupo I, composto por 20 fazendas que aplicaram adubo orgânico nas rebrotas e, o Grupo II, formado por 59 fazendas que usaram adubo químico nas rebrotas. Comparando as variações das eficiências dos tempos atual e anterior, pode-se categorizar o estudo das DMUs dos Grupos I e II em três subgrupos distintos: as que tiveram progresso, as que tiveram regresso e as que não sofreram alteração no ciclo das rebrotas da cana-de-açúcar. Observou-se que o maior percentual de regresso técnico ocorreu em 2011 (última rebrota), tanto no Grupo I quanto no Grupo II, respectivamente com 72 e 61%. Em relação à mudança tecnológica, no ano de 2009, houve regresso em 100% das DMUs do Grupo I, e, no Grupo II, 100% de regresso nos anos de 2009 e de 2011. Desse modo, esses resultados influenciaram na variação da PTF em ambos os grupos, uma vez que apenas 14,3% das unidades observadas no Grupo I e 10% das do Grupo II tiveram ganhos no IPTF. Constatou-se também relação positiva entre a produtividade da lavoura e o lucro.

Ao comparar o IPTF com o lucro das 79 fazendas, observou-se que em ambos os grupos podem-se estabelecer dois subgrupos com desempenhos diferentes. Dessa forma, há necessidade contínua de aprimoramento das técnicas e dos sistemas de produção.

Devido à extensão da área das 79 fazendas, o estudo foi muito abrangente, e alguns refinamentos, principalmente quanto à exata precipitação pluvial que ocorreu em cada talhão (DMU), não puderam ser realizados. A característica da cultura de ser semiperene, também se constitui em fator que dificultou precisar causas e efeitos que afetaram a produtividade e a eficiência das DMUs. Todavia, comparativamente aos estudos conduzidos em parcelas experimentais, com condições extremamente controladas, esta pesquisa apresenta limitações – por não ter tido condições de incluir, no modelo, as variáveis: características do solo, topografia, condições climáticas e hídricas, gerenciamento técnico, manejo da cultura etc. –, mas, por outro lado, este estudo representa o somatório de inúmeras variáveis que influenciam a produção da cana-de-açúcar em grandes áreas, e que poderá se constituir em subsídio às decisões dos gestores, visando aumentar a produtividade da cultura, bem como produzir com

menor quantidade de recursos a mesma quantidade anterior ou, alternativamente, atingir maior produção sem incrementar os recursos na mesma proporção, proporcionando, assim, índices de produtividade constituintes de indicadores advindos de aproveitamento de recursos, os quais são inversamente proporcionais aos custos da produção.

Por fim, sugere-se um estudo mais aprofundado da canavieira da região, para explorar as tecnologias adotadas pelos produtores eficientes e explorar os seus conhecimentos, com o propósito de melhorar os ineficientes, contribuindo, assim, para o desenvolvimento desse importante setor da economia brasileira.

6. Referências

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BURNQUIST, H. L. *Mechanical harvesting: balance between costs and opportunities*. Abr-Jun. 2011. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia>>. Acesso em jun.2015.

CAVES, D. W. *et al.* Multilateral Comparisons of output, input, and productivity using superlative indices numbers. *Economic Journal*, March, p 73-86, 1982.

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. Nov., 1982, p. 1393-1414.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 3, p. 429-444, 1978.

COELLI, T. J.; RAO, S. P. *Total Factor Productivity Growth in Agriculture: A Malmquist Index Analysis of 93 Countries, 1980-2000*, CEPA Working Papers Series WP022003, School of Economics, University of Queensland, Australia, 2003.

COOK, W.D.; ZHU, J. *Data Envelopment Analysis: modeling operational processes and Measuring Productivity*. Kluwer Academic Publishers, 247 p., 2008.

DEMATTE, J.L.I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. *Informações Agronômicas*, n. 111, set., 2005.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, C.A.K. *Production frontiers*. Cambridge University Press. 1994. 294 p.

FERREIRA, C.M.C.; GOMES, A.P. *Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações*. Viçosa: Editora UFV. 389 p. 2009.

GOLDEMBERG, J. The role of biomass in the world's energy system. In: BUCKERIDGE, M. S.; GOLDMAN, G. H., (eds). *Routes to cellulosic ethanol*. New York: Springer, 2010. p. 3-14.

LOVELL, C.A.K. The Decomposition of Malmquist Productivity Indexes. *Journal of Productivity Analysis*, 20, 437–458, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALMQUIST, STEN. Index numbers, and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística* 4, 209–242. 34 p. 1953.

MARINHO, E.; CARVALHO, R.M. Comparações inter-regionais da produtividade total, variação da eficiência técnica e variação tecnológica da agricultura brasileira – 1970 a 1996. *Pesquisa e Planejamento Econômico/PPE*, v. 34, n. 1, abr. 2004.

MULWA, R. *et al.* An overview of Total Factor Productivity estimations adjusted for pollutant outputs: An application to sugarcane farming. *International Journal of Environmental Technology and Management*, v. 15, n. 1, p. 1-15, 2012.

OLIVEIRA, T.B.A.; BORNIA, A.C.; SILVEIRA, S.F.R.; DRUMOND, A. M.; OLIVEIRA, M.W. Análise de custos e eficiência de fazendas produtoras de cana-de-açúcar por meio da Análise Envoltória de Dados. *Custos e @gronegocio on line.*, v. 10, n. 1, p. 228-252, 2014.

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. *Informações Agronômicas*, n. 110, p. 12-17 (Encarte Técnico). 2005.

RAIJ, B. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2011. 420 p.

RAPASSI, R.M.A.; TARSITANO, M.A.A.; BOLONHEZI, A.C. Avaliação técnica e econômica de sistemas de produção da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) na região oeste do Estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, SP, v.39, n.10, out. 2009.

RAY, S.C. *Data Envelopment Analysis: theory and techniques for economics and operations research*. USA: Cambridge University Press, 2004.

RAY, S.C.; DESLI, E. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries: comment. *The American Economic Review*, v. 87, n. 5 (Dec., 1997), p. 1033-1039.

THRALL, R.M. Measures in DEA with an application to the Malmquist Index. *Journal of Productivity Analysis*. v. 13, p. 125-137, 2000.

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. *Agricultura em São Paulo* (SP), v. 45, n. 2, p. 39-51, 1998.

YOSHITAKE, M.; TINOCO, J.E.P.; HORTA, R.A.M.; FRAGA, M.S. O custo do ativo biológico e produto agrícola: estudo de caso da Sanco S.A. usina de açúcar e álcool. *Custos e @gronegocio on line* - v. 11, n. 1 – Jan/Mar – 2015.

Agradecimentos

Ao coordenador do Educampo-Cana, **Christiano Nascif**, e aos técnicos da Destilaria Serra dos Aimorés pela disponibilidade dos dados e pelo apoio logístico nas visitas técnicas.