

# FRONTEIRA DE PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA ECONÔMICA DA CAFEICULTURA MINEIRA

## Frontier production and economic efficiency of coffee of Minas Gerais

### RESUMO

O presente trabalho pesquisou os níveis de eficiência econômica dos recursos produtivos da cafeicultura mineira, identificando variações na geração de resultados apurados por meio das metodologias paramétrica e não-paramétrica. Os dados utilizados foram: a) inventário de terra, benfeitorias, máquinas, equipamentos, veículos, valor de implantação das lavouras de café e demais itens da infraestrutura das propriedades; b) índices técnicos como produção e produtividade; c) levantamento dos componentes de custos fixos e variáveis: despesas com insumos e serviços. Os dados são referentes aos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, que foram ajustados para a safra 2008/2009 por indicadores de preços agrícolas e pelo IGP-DI da FGV. Para a análise da gestão dos recursos produtivos, os indicadores de interesse são as eficiências técnica, alocativa e econômica. Como modelo analítico, utilizou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA) – que consiste em encontrar a melhor empresa virtual a partir de um conjunto de empresas de uma amostra – e a Fronteira Estocástica – que consiste na estimação de funções matemáticas, de acordo com a realidade da série de dados, impondo uma forma funcional para explicar os níveis de eficiência das empresas. Como resultado, pode-se afirmar que as metodologias DEA e Fronteira Estocástica não apontaram resultados diferentes ao separar os produtores de café por suas eficiências econômicas.

André Luis Ribeiro Lima  
Professor do Departamento de Administração  
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
andreluisnep@yahoo.com.br

Ricardo Pereira Reis  
Professor Titular do Departamento de Administração e Economia  
Universidade Federal de Lavras  
ricpreis@dae.ufla.br

Ricardo César Alves  
Professor do Departamento de Administração  
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
rialves@pucminas.br

Recebido em 7/2/11. Aprovado em 25/5/12.  
Avaliado pelo sistema blind review  
Avaliador científico: Cristina Lelis Leal Calegario

### ABSTRACT

This study has investigated the levels of economic efficiency of the productive resources of Minas Gerais coffee, identifying variations in the generation of obtained results through parametric and nonparametric methods. The data employed were the following: a) inventory of land, improvements, machinery, equipment, vehicles, implementation value of coffee plantations and further items of infrastructure of properties; b) technical indexes such as production and productivity; c) survey of components of fixed and variable costs: input and service costs. The data refer to agricultural years 2007/2008 and 2008/2009 which were adjusted for 2008/2009 season through agricultural price indicators and FGV IGP-DI. To analyze the management of productive resources, indicators of interest are technical allocative and economic efficiencies. As an analytical model we have used the Data Envelopment Analysis (DEA) - which is to find the best virtual company from a group of companies of a sample - and Stochastic Frontier - which is the assessment of mathematical functions according to reality series data, imposing a functional form to explain the levels of business efficiency. As a result it can be stated that DEA and stochastic frontier methodologies did not suggest different results to separate the coffee farmers for their economic efficiencies.

**Palavras-chave:** Cafeicultura, Eficiências Econômicas, Análise Envoltória de Dados (DEA), Fronteira Estocástica.

**Key-words:** Coffee plantations, economic efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA), Stochastic Frontier

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por novas práticas capazes de tornarem a gestão da cafeicultura mais eficiente e sustentável economicamente é tema debatido por especialistas de diferentes setores. É recorrente a citação de que a cafeicultura nacional necessita aumentar sua eficiência produtiva,

acompanhada de redução de custos de produção, visando a uma maior competitividade. Existem diversos pacotes tecnológicos à disposição do setor produtivo, constantemente atualizado por soluções que atendam a novas demandas. No entanto, falta ao produtor dinamicidade quanto aos aspectos gerenciais, de modo que se tornem mais eficientes na alocação dos recursos produtivos.

Mesmo em Minas Gerais, que é responsável por cerca de 50% da produção nacional, o café vem sofrendo forte competição frente a outras atividades agrícolas, como a da cana-de-açúcar. Somando-se a crise enfrentada pelo setor, cafeicultores descapitalizados deixam de avaliar de forma racional o efeito de sua baixa produtividade, a adoção de manejos incorretos ou a inexistência de infraestrutura adequada de colheita e processamento. Assim, ficam reféns da intervenção governamental, em vez de serem gestores de sua própria competitividade. Deste modo, torna-se inevitável a contabilização da relação custo/benefício, amparada por um modelo gerencial que oriente a capacidade de decisão empreendedora.

Diante desta situação, e considerando-se a capacidade gerencial e tecnológica dos produtores de café e a relevância socioeconômica do setor para o estado, este estudo se dispõe a aferir a eficiência produtiva e econômica da cafeicultura em Minas Gerais. Para isso serão utilizadas duas metodologias de mensuração e estimativa da eficiência econômica: a não-paramétrica e a paramétrica.

A metodologia não-paramétrica de programação matemática Data Envelopment Analysis, ou seja, Análise Envoltória de Dados (DEA), consiste em encontrar a melhor empresa virtual a partir de um conjunto de empresas de uma amostra. Caso a empresa virtual seja melhor do que qualquer empresa da amostra, ou por produzir mais com a mesma quantidade de insumos ou por produzir a mesma quantidade com menos insumo, ela será ineficiente.

Já a paramétrica (fronteira de estocástica) se baseia na estimação de funções matemáticas, baseando-se na realidade dos dados. Assim, ela se caracteriza por impor uma maneira funcional para esclarecer os níveis de eficiência das organizações.

Partindo da ideia de que existem duas metodologias de estimação das eficiências econômica, alocativa e técnica, a paramétrica e a não-paramétrica, surge, então, uma questão: quais são as variações nos resultados gerados pelas duas metodologias?

### 1.1. Objetivos

Como objetivo principal, buscou-se avaliar a eficiência econômica dos recursos produtivos da cafeicultura mineira, identificando variações na geração de resultados apurados por diferentes metodologias. Especificamente, objetivou-se:

- estimar a função fronteira de produção da cafeicultura de Minas Gerais;
- identificar possíveis fatores que poderiam explicar a variação da eficiência econômica;

- verificar a relação entre escores de eficiência econômica e os indicadores financeiros de lucratividade e de rentabilidade;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Kumbhakar e Lovell (2000), os primeiros trabalhos que fundamentaram as bases teóricas sobre eficiência da produção surgiram na década de 1950, elaborados por Debreu (1951), Koopmans (1951) e Shephard (1953). Koopmans (1951) definiu que um produtor é tecnicamente eficiente se, e somente se, for impossível produzir mais produto sem produzir menos de outro produto, ou utilizando os mesmos insumos.

Na literatura recente, os estudos sobre eficiência têm apresentado avanços e vêm se tornando um importante instrumento de análise para a pesquisa microeconômica, a exemplo daqueles voltados para o setor agrícola. Nesses estudos, duas principais abordagens são utilizadas: a abordagem paramétrica e a não-paramétrica.

Utilizando o modelo paramétrico, Barros, Costa e Sampaio (2004) analisaram a eficiência das empresas agrícolas do polo Petrolina/Juazeiro, utilizando a fronteira translog. Estes autores buscaram estimar a eficiência técnica das empresas agrícolas situadas naquele polo por meio da agregação das culturas produzidas por cada uma das unidades produtoras, comparando os escores de eficiência obtidos e verificando os resultados quanto ao *ranking* de eficiência.

Pereira, Maia e Camilot (2008) estimaram índices de eficiência técnica a partir de função de produção de empresas suínícolas do Mato Grosso, identificando fatores explicativos desses índices e os efeitos dos gastos com meio ambiente e da renúncia fiscal. Verificaram que as despesas com a conservação ambiental exercem efeitos positivos sobre os índices de eficiência técnica.

Estimando funções de custos totais, derivadas a partir de uma função de produção Cobb-Douglas, Montoro Júnior e Teixeira (2004) verificaram a aplicabilidade de métodos paramétricos que estimaram a eficiência de custos de empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil. Os resultados indicaram que, no período adotado, todas as empresas foram igualmente eficientes no controle de seus custos.

Utilizando o método da fronteira estocástica, Ohira e Shirota (2005) estimaram a eficiência das empresas de saneamento básico no estado de São Paulo. Os resultados obtidos indicaram que existe grande variação nos níveis de eficiência entre as empresas analisadas.

Reis, Richetti e Lima (2005) avaliaram a eficiência econômica da utilização dos recursos produtivos na cultura do café no Sul de Minas Gerais, estimada pela função fronteira de produção obtida de uma função fronteira homotética-raio, a qual permite retornos variáveis à escala.

Dentre outros trabalhos que tratam especificamente das eficiências técnicas e econômicas aplicados no meio rural, podem-se citar os de Conceição (2005), Conceição e Araújo (2000), Cunha, Lírio e Santos (2003), Khan e Silva (1997), Lima (2006), Pereira et al. (2001), Richetti e Reis (2003), Tupy (1996) e Vicente (2004), que estudaram a aplicação da função da fronteira de produção para a estimativa das eficiências na agricultura brasileira em geral, ao passo que Andrade (2003), Ferreira Júnior e Cunha (2004), Johansson (2005), Moreira et al. (2004), Santos et al. (2004), Souza (2003) e Tupy et al. (2005) focaram seus trabalhos na estimação das eficiências para a produção de leite, e Ferreira (1998), Tupy e Shirota (1998) e Zilli (2003) trabalharam com as eficiências na produção de frango de corte.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1. Medidas de eficiência

Para análise da gestão dos recursos produtivos, os indicadores de interesse são as eficiências técnica, alocativa e econômica. A eficiência econômica é compreendida como a máxima minimização dos custos durante o processo de produção, determinados os preços dos agentes (eficiência alocativa) e a produção que incide na fronteira tecnológica (eficiência técnica). Essencialmente, a eficiência econômica se relaciona com os fatores monetários do processo produtivo, isto é, é uma junção das eficiências técnica e alocativa. Deste modo, a eficiência técnica é a mensuração do modo como a combinação ótima dos recursos é empregada no processo produtivo, buscando a maximização do produto. A eficiência técnica consiste na relação entre produtos e insumos, estando mais preocupada com o aspecto físico da produção. Logo, a eficiência alocativa é a mensuração do modo como a firma utiliza uma combinação ótima de insumos para a produção, objetivando o lucro máximo. Há eficiência alocativa quando os recursos da empresa são alocados de acordo com os preços de mercado.

A análise de eficiência de uma empresa pode ser considerada como indicador técnico e econômico para avaliar o grau em que os insumos são utilizados no processo de obtenção da produção desejável. Dessa forma, se uma unidade de produção é eficiente, ela utiliza seus recursos para alcançar a máxima produção.

Os limites de máxima produtividade que uma unidade de produção pode alcançar num processo produtivo utilizando determinada combinação de insumos são definidos como uma fronteira de produção. Assim, esta fronteira representa o limite máximo de produto obtido, dada certa tecnologia. Entretanto, na prática, nem todas as empresas apresentam a mesma eficiência na transformação de insumos em produtos, podendo existir empresas menos eficientes. Alguns autores consideram como uma medida de ineficiência a distância em que a unidade de produção se encontra abaixo da fronteira de produção (RICHETTI; REIS, 2003).

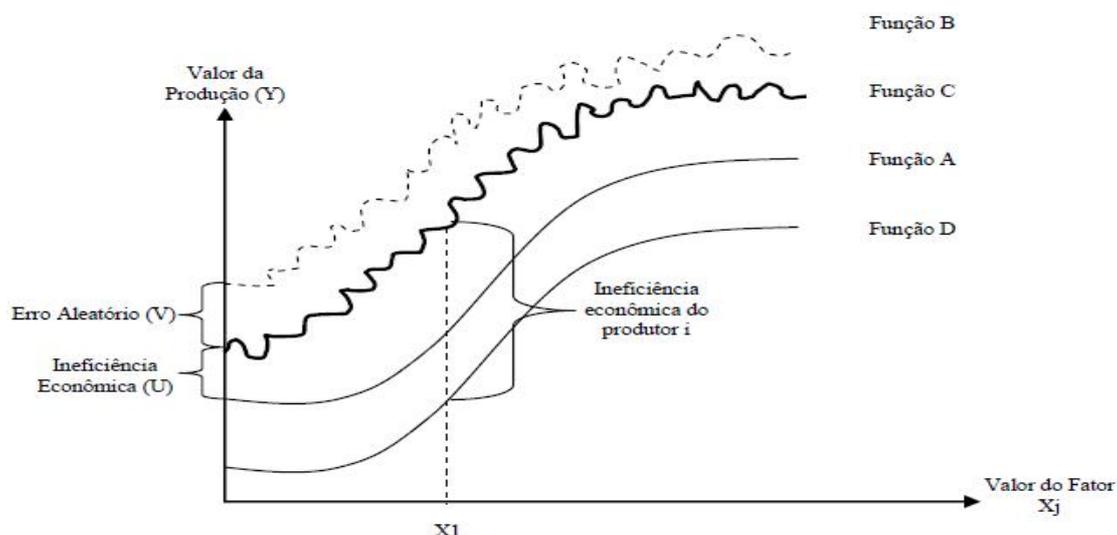
#### 3.2. Modelo analítico - Análise Fronteira Estocástica

Dentre as abordagens utilizadas na estimação da função fronteira de produção, têm-se as fronteiras estocásticas e determinísticas. Conforme Lima (2006), a fronteira de produção pode ser definida como a produção máxima possível de ser obtida com determinados fatores, em determinado nível tecnológico. Nesse caso, a porção do erro assume grande importância, pois incorpora o que influencia a produção e que não é captado pelas variáveis explicativas selecionadas. O fundamento utilizado para a estimação da fronteira de produção estocástica é o de que o termo de erro, de qualquer função de produção, pode ser dividido em duas partes. Uma parte do erro representa a ineficiência econômica do produtor (U - Figura 1), a qual possui distribuição unilateral meio-normal. A outra parte seria o erro aleatório propriamente dito, ou seja, os erros de medidas, choques exógenos, etc. e tem distribuição normal (V - Figura 1).

A função fronteira de produção é gerada a partir de uma função de produção estimada (função A na Figura 1), criada a partir da amostra em questão. A esta "Função A" soma-se o termo de erro composto (V+U na Figura 1), o que gera uma "Função B" da Figura 1. Subtraindo-se dessa "Função B" a porção que representa o erro aleatório (V), obtém-se a função fronteira de produção (Função C na Figura 1).

A distância entre cada produtor (Função D) e a fronteira de produção é considerada uma medida de ineficiência técnica ou econômica. Dessa forma, o produtor cuja produção (ou valor da produção) estiver sobre a fronteira de produção em um dado nível de fatores terá um escore de eficiência econômica igual a um. Quanto mais abaixo da fronteira de produção, menor será o escore de eficiência do produtor, sendo o mínimo igual a zero (LIMA, 2006).

Conforme Coelli (1997 citado por ZILLI, 2003), selecionar uma forma funcional para a fronteira de produção é o primeiro passo de qualquer aplicação empírica, existindo várias formas funcionais utilizadas na aplicação da análise produtiva.



**FIGURA 1** – Representação das funções de produção média, dado um produtor hipotético, representado pela função D e da função de produção estocástica, dado pela função C  
 Fonte: Lima (2006)

Para esta pesquisa, empregou-se a função Cobb-Douglas, um método muito utilizado para modelar as tecnologias de produção agrícolas, uma vez que ela possibilita identificar a elasticidade da produção de determinado fator de produção, assim como sua relevância no processo produtivo. Deste modo, para o estudo em questão, a forma funcional escolhida da fronteira de produção estimada com erro composto consiste na seguinte expressão (1):

$$\Psi_{\varphi} = \beta_0 \cdot MO_{\varphi}^{\beta_1} \cdot ME_{\varphi}^{\beta_2} \cdot IN_{\varphi}^{\beta_3} \cdot XO_{\varphi}^{\beta_4} \cdot O\Delta_{\varphi}^{\beta_5} \cdot \varepsilon_{\varphi} \quad (1)$$

em que:

$\Psi_{\varphi}$  → é o valor da produção de café, definido pelo somatório das quantidades de café produzidas na propriedade j, multiplicado pelo respectivo preço unitário, em reais, pago na região em estudo;

$\beta_0$  → é um vetor de parâmetros desconhecidos;

$MO_{\varphi}$  → é o valor, em reais, das despesas com a mão-de-obra permanente utilizada em todas as fases da produção de café, exceto na colheita;

$ME_{\varphi}$  → é o valor, em reais, das despesas com mecanização da atividade produtiva. Envolve manutenções, combustíveis, peças, e demais gastos do maquinário. Também estão incluídas nesta variável gastos com aluguel de maquinário para a produção de café.

$IN_{\varphi}$  → é o valor, em reais, dos insumos como fertilizantes, corretivos de solo e defensivos utilizados na produção do café;

$XO_{\varphi}$  → é o valor, em reais, das despesas com a colheita e a pós-colheita do café, inclusive a mão-de-obra utilizada para este fim;

$O\Delta_{\varphi}$  → é o valor das demais despesas, em reais, com itens como energia elétrica, taxas e impostos, despesas bancárias, seguros e demais despesas gerais da propriedade;

$\varepsilon_{\varphi}$  → representa o erro.

Segundo Nicholson (2005), empregando-se a transformação monotônica, a função torna-se linear nos logaritmos naturais das variáveis, permitindo que os rendimentos de escala sejam lidos diretamente por meio dos parâmetros estimados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários. Assim, a equação (2), em sua forma logarítmica, é:

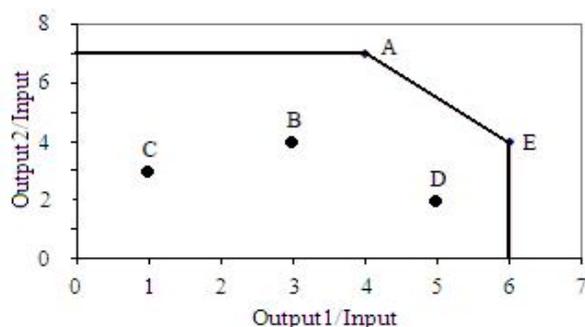
$$\lambda \nu \Psi_{\varphi} = \lambda \nu \beta_0 + \beta_1 \lambda \nu MO_{\varphi} + \beta_2 \lambda \nu ME_{\varphi} + \beta_3 \lambda \nu IN_{\varphi} + \beta_4 \lambda \nu XO_{\varphi} + \beta_5 \lambda \nu O\Delta_{\varphi} + \varepsilon_{\varphi} \quad (2)$$

### 3.4. Modelo analítico - Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma técnica que se baseia na programação linear, usada para avaliar a eficiência relativa das unidades de tomada de decisão quando há múltiplas entradas e múltiplas saídas, tornando a comparação difícil (LINS; MEZA, 2000).

Segundo Charnes e Cooper (1985) e Mello et al. (2005), a DEA objetiva a construção de um conjunto de referência, possibilitando a distribuição das DMUs (Decision Making Units) em eficientes ou ineficientes,

tendo como referência a dimensão constituída por esse conjunto. As unidades eficientes são situadas sobre a fronteira, já as ineficientes estão abaixo desta. A Figura 2 ilustra esses conceitos:



**FIGURA 2** – Fronteira de Eficiência

Fonte: Mello et al. (2005, p. 2531)

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) foram os pioneiros na modelagem do problema do cálculo de eficiência. O modelo capaz de calcular a eficiência total de uma DMU foi chamado de CCR, referindo-se às iniciais de cada autor, (ou CRS - Constant Returns to Scale).

Visando a afastar a obrigação de rendimentos constantes de escala, Banker, Charnes e Cooper (1984) idealizaram um novo modelo para o DEA, designado BCC ou VRS (Variable Returns to Scale). Esta modelagem determina uma diferença entre ineficiências técnicas e de escala, avaliando a eficiência técnica pura, a determinada escala de operações, e identificando a presença de ganhos de escala ascendentes, descendentes ou estáveis, para posterior averiguação (CASA NOVA, 2002). Os modelos CCR e BCC se divergem especialmente pelo fator de escala estar presente somente no modelo BCC. O modelo BCC é representado em (3), em que  $h_0$  é a eficiência da DMU<sub>0</sub> em análise;  $x_{ik}$  é o input  $i$  da DMU<sup>k</sup>,  $y_{jk}$  é o output  $j$  da DMU<sub>k</sub>;  $v_i$  é o peso atribuído ao input  $i$ ,  $u_j$  é o peso do output  $j$ ; e  $u^*$  é um fator de escala.

$$\text{Max } h_0 = \sum u_j y_{j0} + u^* \quad (3)$$

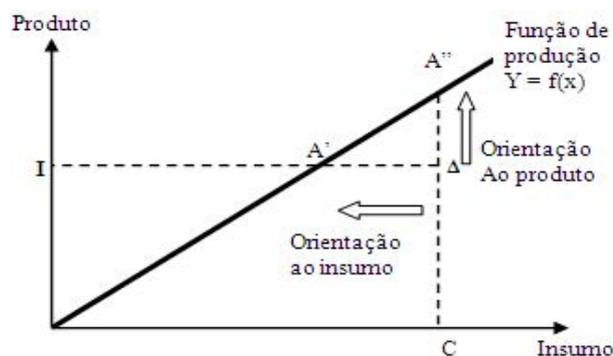
sujeito a:

$$\sum v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum u_j y_{jk} - \sum v_i x_{ik} + u^* \leq 0, k = 1, \dots, s$$

$$v_i, u_j \geq 0$$

Busca-se aumentar a relação output/input e, portanto, o modelo pode ser orientado de duas formas: para a minimização dos insumos (denominador) ou para a maximização dos produtos (numerador). No caso da minimização dos inputs, a questão é: dado o nível de outputs que uma unidade produz qual a redução que pode ocorrer nos inputs de modo a manter o corrente nível de outputs? Já na opção da maximização dos outputs, a tese é: dado o nível de inputs utilizado, qual o maior nível de outputs que se pode alcançar mantendo-se o nível dos inputs? (VILELA, 2004). A Figura 3 ilustra as orientações referidas.



**FIGURA 3** – Relação output/input

De acordo com as pesquisas analisadas, o DEA possui em torno de 27 campos de aplicação, o que contribuiu para seu progresso e cada vez mais eficiência nos estudos.

### 3.5. Áreas de estudo e fonte dos dados

Para este estudo, foram utilizados dados relativos aos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, os quais foram ajustados para a safra 2008/2009 por indicadores de preços agrícolas e pelo IGP-DI da Fundação Getúlio Vargas (FGV). Trata-se, portanto, de uma pesquisa que buscou compreender duas safras do café com o objetivo incluir a bienalidade do café, ou seja, foram consideradas as safras de “alta” e “baixa” produção.

Os dados utilizados foram: a) inventário da terra, benfeitorias, máquinas, equipamentos, veículos, valor de implantação da lavoura e demais itens da infraestrutura da propriedade; b) índices técnicos, como produção e produtividade; c) levantamento dos componentes de custos fixos e variáveis: despesas com insumos e serviços.

A concepção do grupo de produtores foi realizada de modo intencional, empregando critérios de

disponibilidade e fidelidade dos dados disponibilizados pelos mesmos. Os dados foram coletados nas mesorregiões de Campo das Vertentes, Oeste de Minas, Sul/Sudoeste e Zona da Mata, com ênfase na região Sul/Sudoeste, que é a maior produtora de café do Brasil. No total, foram pesquisados 198 produtores provenientes de 32 municípios de Minas Gerais.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Estimativa da função fronteira de produção da cafeicultura de Minas Gerais

Das 16 variáveis que apontavam os coeficientes técnicos dos 198 produtores pesquisados, 5 parâmetros participaram do modelo escolhido. Como técnica para seleção das variáveis, empregou-se o método *stepwise*, que tem início com uma variável independente e o acréscimo de uma nova variável é testada, considerando-se sua significância.

Para estimar a equação de regressão e selecionar as variáveis, foi utilizado o software PASW Statistics 18; já para estimar os coeficientes de eficiência econômica pelo método paramétrico, usou-se o Frontier 4.1 e, por fim, empregou-se o DEAP 2.1 (COELLI, 1996) para estimar os coeficientes de eficiência econômica pelo método não-paramétrico.

Dentre os indicadores estatísticos empregados para a seleção do modelo, consideraram-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o coeficiente de determinação ajustado, a estatística F e o teste de significância t dos parâmetros estimados. Todas as variáveis explicativas do modelo são significativas a 1%, exceto a variável “mão-de-obra exceto da colheita” que, mesmo apresentando erro de 13%, foi mantida por se tratar de um importante insumo na cafeicultura.

A seleção das variáveis para estimação dos coeficientes de eficiência econômica (EE) foi realizada por meio de uma análise de regressão múltipla, a qual exige os seguintes pressupostos: normalidade de resíduos, homocedasticidade, ausência de autocorrelação serial e multicolinearidade. A seguir (Tabela 1), são apresentados os resultados estatísticos da regressão múltipla do modelo selecionado.

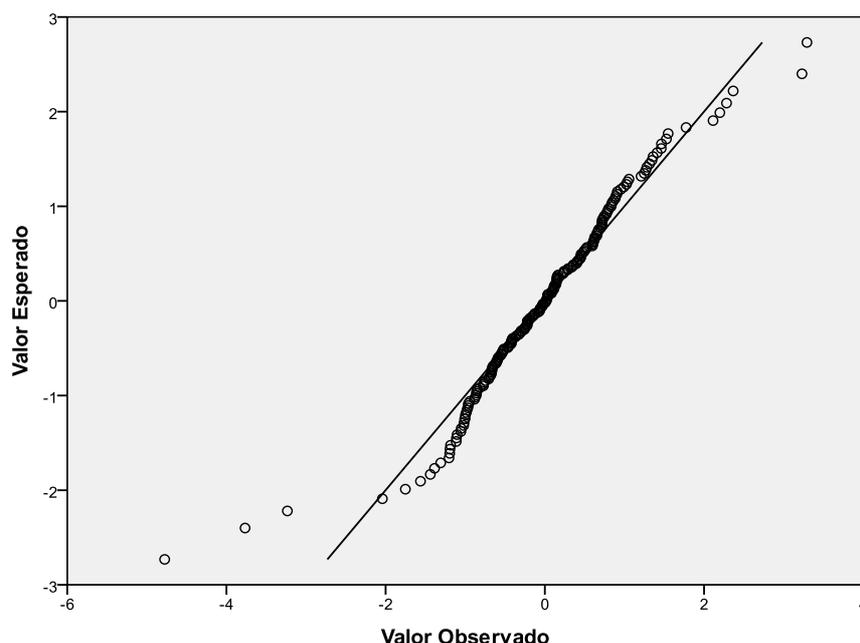
Como é possível observar na Tabela 1, as variáveis independentes são responsáveis por 85% da variação do valor da produção de café no período analisado. Com relação à estatística F (ANOVA), constatou-se que esta também foi significativa, levando à rejeição da nulidade dos coeficientes dos parâmetros das variáveis independentes avaliadas no modelo.

Outro modo de examinar a normalidade dos resíduos está apresentada no Gráfico 1, que é a distribuição Normal Q-Q plot, a qual se norteia na distribuição de probabilidades dos valores observados e esperados numa distribuição normal. Caso ambas as distribuições sejam idênticas e, conseqüentemente, sejam normais, os seus pontos se sobrepõem na diagonal, como acontece no Gráfico 1, podendo-se concluir que os resíduos têm distribuição normal.

Com a finalidade de averiguar a homocedasticidade ou a variância constante dos resíduos, relacionaram-se os resíduos estandardizados com o valor da variável dependente na forma estandardizada. Se os resíduos expandirem ou reduzirem com os valores da variável independente em torno da linha zero, põe-se em causa a constância da variância para cada valor de x. A amplitude das alterações dos resíduos em torno de 0 não demonstra relação com os valores estimados da produção, o que poderia indicar homocedasticidade.

**TABELA 1** - Resultados estatísticos da regressão múltipla do modelo selecionado para a cafeicultura de Minas Gerais, safras 2008 e 2009

<b>Variável dependente:</b> Valor da produção					
<b>Resumo do modelo</b>					
$R^2$	$R^2$ Ajustado	Erro padrão da regressão		Estatística de <i>Durbin-Watson</i>	
0,850	0,846	0,29933		1,741	
<b>Análise de variância (ANOVA)</b>					
	Soma dos quadrados	df	Quadrado médio	Estatística F (ANOVA)	Significância
Regressão	97,414	5	19,483	217,439	0,000
Resíduo	17,203	192	0,090		
Total	114,618	197			



**GRÁFICO 1** – Representação do Normal Q-Q plot do modelo selecionado para a cafeicultura de MG, safras 2008 e 2009

Para completar essa análise, foi realizado o teste de White, que apontou heterocedasticidade. Utilizando-se o software E-views, foi realizada a plotagem de um gráfico com os resíduos de cada observação. Retiradas as observações em que os resíduos se comportavam como *outliers*, o teste White apontou ausência de heterocedasticidade, com significância de 88%. Porém, os autores do presente trabalho consideram que manter a amostra de produtores, assumindo a heterocedasticidade, é mais importante no cumprimento dos objetivos do presente trabalho. Conforme Gujarati (2006, p.344), “a heterocedasticidade nunca foi motivo para jogar fora um modelo que, sob outros aspectos, é bom”. O referido autor ainda lembra que, apesar da heterocedasticidade, os estimadores de Mínimos Quadrados Ordinários são lineares, não tendenciosos e apresentam em grandes amostras distribuição normal.

Para a autocorrelação dos resíduos, onde a amplitude de um resíduo não interfere na magnitude do resíduo seguinte, foi usado o teste estatístico Durbin-Watson, o qual efetuou o diagnóstico de ausência de autocorrelação residual.

Para o estudo, utilizou-se a tabela de Savin e White (1977), para o nível de 1% de significância. O  $dL$  é o valor crítico inferior e  $dU$  é o superior. Foram 198 produtores pesquisados, e o número de casos mais próximo é 200, com  $dL$  1,623 e  $dU$  1,725. Como o valor do teste (1,741) é

maior do que  $dU$ , conclui-se que não existe autocorrelação dos resíduos.

Por último, analisou-se multicolinearidade. Para Maroco (2010), o modo mais simples e intuitivo de averiguar a multicolinearidade é a da análise de matriz de correlações bivariadas entre as variáveis do modelo, sendo que, normalmente, altas correlações entre variáveis independentes ( $|R| > 0,75$ ) levam a problemas de multicolinearidade.

Conforme se observa na matriz de correlações entre as variáveis independentes do modelo (Tabela 2), algumas variáveis apresentam alta correlação. Conforme Gujarati (2006), a multicolinearidade não é considerada um problema se o objetivo é a previsão. No caso deste estudo, é a previsão do valor da produção em função de seus custos. Outro fator que permite a permanência das variáveis é que as estatísticas  $t$  das mesmas se mostram significativas individualmente neste estudo. Além disso, a retirada de variáveis com elevada correlação poderia levar a erros de especificação do modelo, já que se trata de uma função de produção.

Sobre a intensidade da multicolinearidade, apresentou-se, na tabela 2, a VIF (*Variance Inflation Factor*), que é uma medida de quanto a variância de cada coeficiente de regressão estimado aumenta devido a multicolinearidade. Fávero et al. (2009) destacam que VIF acima de 10 aponta alta relação linear e problemas graves de multicolinearidade, o que não ocorre em nenhuma das variáveis do modelo.

Definido o conjunto de variáveis com melhor ajuste e significância, estimou-se a fronteira de produção estocástica pelo método de máxima verossimilhança, como na Tabela 3.

Para esta pesquisa, usou-se a forma funcional Cobb-Douglas estimada em sua forma logarítmica, uma vez que os parâmetros estimados possibilitam verificar a elasticidade de produção de determinado fator produtivo, além de sua relevância no processo de produção. Conforme a Tabela 3, a variável “Insumos” sugere que aumentos de 10% no valor investido em fertilizantes, corretivos e defensivos, acrescentam o valor da produção de café em 3,13%.

Observando os resultados da fronteira de produção estocástica, nota-se que quase todos os seus coeficientes são parecidos com os coeficientes da função média, exceto o intercepto, sugerindo que a função de produção está acima da função média.

Após estimar a função de produção fronteira estocástica dos cafeicultores mineiros analisados, nas safras 2008 e 2009, foram estimadas as eficiências econômicas. A Tabela 4 mostra a distribuição de frequência dos escores de eficiência econômica para todos os produtores pesquisados. Estes escores demonstram a razão entre o valor observado da produção ( $Y_j$ ) e o valor da produção na fronteira ( $Y_f$ ), adquirida para cada cafeicultor.

As estratificações dos escores de eficiência econômica apresentaram um intervalo estável de 0,1 para a apresentação dos resultados, valor frequentemente usado na literatura estudada. O escore mínimo observado entre os produtores analisados foi de 0,45. O que induziu a escolha por iniciar a distribuição das classes de eficiência pelo valor de escore 0,41.

Conforme a Tabela 4, os produtores possuem eficiência econômica média de 79%. Onde, o conjunto que exibiu maior concentração de cafeicultores com eficiência econômica, foi os do intervalo entre 81% e 90%, o qual alcançou, aproximadamente, 48% dos produtores. Observou-se, ainda, que a menor eficiência econômica foi de 45%, ao passo que a maior foi de 94%.

Ainda sobre a distribuição de frequência exposta na Tabela 4, é possível analisar no Gráfico 2, a concentração das eficiências compreendidas entre 70% e 90%.

Utilizou-se, para obtenção dos escores de eficiência econômica pelo método não-paramétrico (DEA), o mesmo conjunto de variáveis definido para o método paramétrico.

Nos resultados de eficiência econômica utilizando o método DEA, a média de eficiência foi de 65%. A maior concentração foi no intervalo entre 0,51 e 0,60 com 25,8% dos produtores. Em seguida, 20,2% dos produtores ficaram dentro do intervalo entre 0,61 e 0,70.

Na Tabela 5, apresenta-se a distribuição de frequência dos escores de eficiência econômica obtidos pelo modelo paramétrico (DEA).

No Gráfico 3, encontra-se a distribuição das eficiências pelo método DEA.

#### **4.2. Possíveis fatores que poderiam explicar a variação da eficiência econômica**

Buscando identificar os possíveis fatores que poderiam explicar a variação das eficiências econômicas, calculou-se a correlação de Pearson para as variáveis presentes na função de produção e demais indicadores técnicos.

Pode-se verificar, na Tabela 6 e no Gráfico 4, que as eficiências têm elevada correlação positiva com a produtividade, ou seja, com a produção em sacas por hectare.

Como a correlação é positiva, pode-se inferir que, quanto maiores as produtividades, maiores as eficiências. Esta análise já era esperada uma vez que, quanto maior a produção por ha, mais eficiente se espera que o produtor seja. O que chama a atenção neste estudo é que não há correlação significativa entre as variáveis explicativas (gastos com mão-de-obra, mecanização, insumos, colheita e pós-colheita e outros gastos) e a produtividade. Isso leva a uma reflexão: os valores gastos não têm relação com a produtividade, isto é, gastos maiores não levam necessariamente a produtividades maiores e vice-versa.

Como pode ser observado na Tabela 6, não é o montante do gasto o responsável pela produtividade, assim como nenhuma das seguintes variáveis: idade média da lavoura cafeeira; mecanização; altitude média da propriedade; tamanho da propriedade; área de produção do café; número de pés de café por hectare, uma vez que não apresentam correlação com a produtividade e eficiência econômica, seja pelo método estocástico ou DEA.

#### **4.3. A relação entre escores de eficiência econômica e os indicadores financeiros de lucratividade e de rentabilidade**

Para verificar esta relação, alguns cálculos auxiliares foram necessários. Foram eles: lucratividade, que foi obtida dividindo-se o lucro pela receita do produtor; e rentabilidade, que foi obtida dividindo-se o lucro pelo valor da terra utilizada para produção do café.

Os resultados (Tabela 7) apontaram elevadas correlações entre os indicadores financeiros (lucratividade e rentabilidade) e os escores de eficiência econômica (DEA e Fronteira Estocástica), confirmando a teoria, ou seja, quanto maiores as eficiências econômicas, maiores serão as lucratividades e as rentabilidades.

**TABELA 2** – Resultados estatísticos da correlação múltipla do modelo selecionado para a cafeicultura do de Minas Gerais, safras 2008 e 2009

	Mão-de-obra (exceto colheita)	Mecanização	Insumos	Colheita e pós- colheita	Outros gastos gerais	VIF
Mão-de-obra (exceto colheita)	1	0,073	0,704**	0,762**	0,802**	3,2
Mecanização	0,073	1	0,475**	-0,235**	0,260**	3,8
Insumos	0,704**	0,475**	1	0,643**	0,859**	6,7
Colheita e pós-colheita	0,762**	-0,235**	0,643**	1	0,776**	7,2
Outros gastos gerais	0,802**	0,260**	0,859**	0,776**	1	6,7

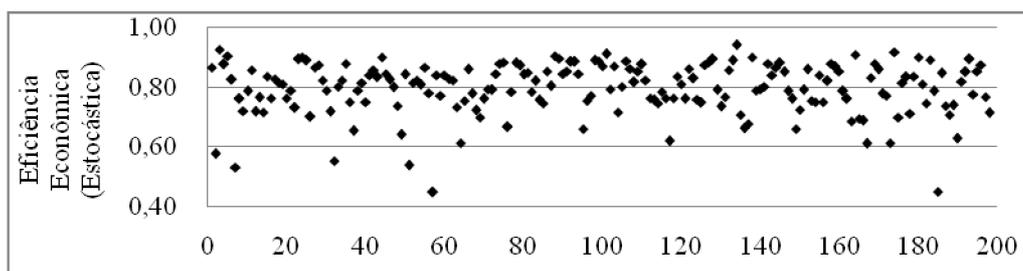
\*\* correlação significativa a 1%

**TABELA 3** – Estimativas dos parâmetros da função de produção e da fronteira de produção estocástica dos produtores de café pesquisados em Minas Gerais, safras 2008 e 2009

Variáveis independentes	Função MQO		Função fronteira		Significância
	B	Estatística t	B	Estatística t	
(Constante)	2,036	6,464	2,461	0,356	0,000
Mão-de-obra (exceto colheita)	0,076	1,526	0,070	0,046	0,129
Mecanização	0,057	5,067	0,059	0,011	0,000
Insumos	0,313	4,353	0,319	0,070	0,000
Colheita e pós-colheita	0,278	3,486	0,302	0,077	0,001
Outros gastos gerais	0,269	3,470	0,222	0,077	0,001

**TABELA 4** – Distribuição de frequência dos escores de eficiência econômica (fronteira estocástica) dos produtores de café pesquisados em Minas Gerais, safras 2008 e 2009

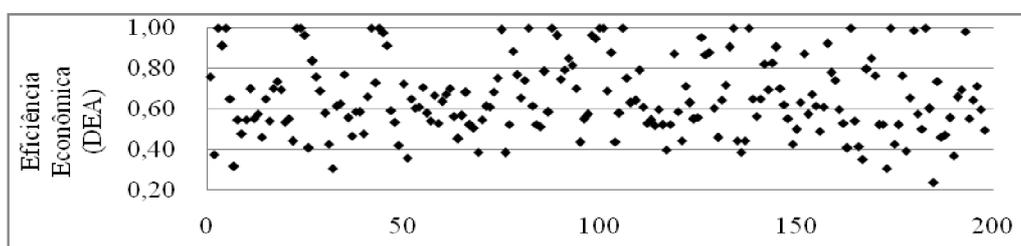
Classes de eficiência	Frequência	%	% Acumulada
0,41   0,50	2,00	1,01	1,01
0,51   0,60	4,00	2,02	3,03
0,61   0,70	16,00	8,08	11,11
0,71   0,80	70,00	35,35	46,46
0,81   0,90	95,00	47,98	94,44
0,91   1,00	11,00	5,56	100,00
Total	198	100,0	
<b>Média</b>		0,79	
<b>Mediana</b>		0,81	
<b>Desvio-padrão</b>		0,08	
<b>Mínimo</b>		0,45	
<b>Máximo</b>		0,94	



**GRÁFICO 2** – Distribuição de frequência dos escores de eficiência econômica (fronteira estocástica) dos produtores de café em MG, safras 2008 e 2009

**TABELA 5** – Distribuição de frequência dos escores de eficiência econômica dos produtores de café em MG, safras 2008 e 2009 (método DEA)

Classes de eficiência	Frequência	%	% Acumulada
0,21   - 0,30	1	0,5	0,5
0,31   - 0,40	12	6,1	6,6
0,41   - 0,50	24	12,1	18,7
0,51   - 0,60	51	25,8	44,4
0,61   - 0,70	40	20,2	64,6
0,71   - 0,80	28	14,1	78,8
0,81   - 0,90	12	6,1	84,8
0,91   - 1,00	30	15,2	100,0
<b>Total</b>	<b>198</b>	<b>100</b>	
<b>Média</b>		0,65	
<b>Mediana</b>		0,62	
<b>Desvio-padrão</b>		0,18	
<b>Mínimo</b>		0,24	
<b>Máximo</b>		1,00	



**GRÁFICO 3** – Distribuição de frequência dos escores de eficiência econômica (DEA) dos produtores de café pesquisados em MG, safras 2008 e 2009

**TABELA 6** – Correlação entre as variáveis que compõem a função de produção, a produtividade e os escores de eficiência econômica.

	Produtividade Média	DEA	Fronteira Estocástica	MO	Mecanização	Insumos	Colheita e Pós-colheita	Outros Gastos Gerais
Produtividade (sc/ha)	1	0,827**	0,848**	0,020	0,059	0,084	0,005	0,042
DEA	0,827**	1	0,851**	-0,192	-0,039	-0,061	-0,092	-0,042
Frontier	0,848**	0,851**	1	0,093	0,012	0,083	0,077	0,121

\*\* Correlação significativa a 1%

**TABELA 7** – Correlação entre as variáveis: lucratividade, rentabilidade e os escores de eficiência econômica.

	Lucratividade	Rentabilidade	DEA	Frontier
Lucratividade	1	0,921**	0,668**	0,792**
Rentabilidade	0,921**	1	0,768**	0,760**
DEA	0,668**	0,768**	1	0,814**
Fronteira estocástica	0,792**	0,760**	0,814**	1

\*\* Correlação significativa a 1%

#### 4.4. Principais diferenças encontradas ao utilizarem-se as metodologias para estimativa dos índices de eficiência econômica dos cafeicultores de Minas Gerais.

Com a finalidade de averiguar se há distinção entre as médias de eficiência econômica dos cafeicultores, resultante dos modelos paramétrico e não-paramétrico, efetuou-se o teste estatístico t para duas amostras, conforme pode ser verificado na Tabela 8.

Sendo o valor calculado Stat t = -16,350 menor do que o valor t crítico bi-caudal=1,972 e o valor P (bi-caudal) próximo de zero, aceita-se a hipótese H<sub>0</sub>, ou seja, não há diferença significativa entre as médias obtidas pelo modelo paramétrico (função fronteira) e o modelo não-paramétrico (DEA).

Continuando as análises, os produtores considerados eficientes foram separados. O critério utilizado para considerar o produtor como eficiente foi o de possuir um escore de eficiência econômica maior ou igual à média do grupo, somado a um desvio-padrão. Essa separação foi feita retirando os produtores eficientes pelo método DEA e pelo método estocástico.

O método DEA classificou 38 produtores como eficientes, enquanto o método estocástico classificou 30 produtores. Destes dois grupos, 28 produtores são considerados eficientes pelos dois métodos.

Buscando compreender as características dos produtores que foram considerados eficientes pelos métodos, apresenta-se a seguir uma estatística descritiva.

Nas tabelas abaixo, podem ser identificados os resultados das variáveis estudadas do “Grupo Eficiente”, de “Todos os Produtores” e dos “Não eficientes”. O primeiro diz respeito aos 28 produtores classificados pelos dois métodos como eficientes. O segundo grupo refere-se aos dados de todos os 198 produtores foco deste estudo. O terceiro contém valores dos 170 produtores que fazem parte do estudo, mas não estão no grupo dos eficientes.

Na Tabela 9, pode-se verificar que as médias dos três grupos são próximas, com exceção da produtividade média, que, no grupo eficiente, é de 45,5 sacas por hectare, enquanto a média de todos os produtores é de 31,87 e, dos não eficientes, 29,62. Destaca-se também outra variável que é a área total de café que a propriedade possui. Os dados apontam que o grupo eficiente tem menor área média de café, em torno de 12,79 hectares, enquanto os outros dois grupos têm, em média, 16 hectares de café. O que também merece destaque é o desvio-padrão desta variável, que classifica como mais homogêneo o grupo de produtores eficientes já que o desvio-padrão é menor do que os demais.

O Gráfico 5 destaca as diferenças de produtividade dos grupos, corroborando com as discussões feitas neste estudo que apontaram elevada correlação entre eficiência econômica e produtividade.

A Tabela 10 apresenta as médias de gastos totais das propriedades, por safra, assim como a receita total.

Também estão incluídas as variáveis custo por saca e custo por hectare.

No Gráfico 6, destaca-se o menor custo por saca de café como sendo o do grupo eficiente. Este custo teve média de R\$ 127,03 e desvio-padrão de 28,20. A média geral dos 198 produtores pesquisados foi de R\$214,00, com desvio-padrão de 83,25. O grupo dos não eficientes teve um custo médio por saca de R\$228,58, com desvio-padrão de 80,53.

A Tabela 11 descreve os gastos médios por hectare/safra.

O Gráfico 7 apresenta os gastos por hectare/safra e destaca os gastos do grupo eficiente como o menor em todos o grupos de custo, com destaque para a mão-de-obra exceto da colheita (R\$ 1.396,79), que, proporcionalmente, é o que mais se destaca dos demais grupos (R\$1.630,59 para todos os produtores e R\$ 1.669,10 para os não eficientes).

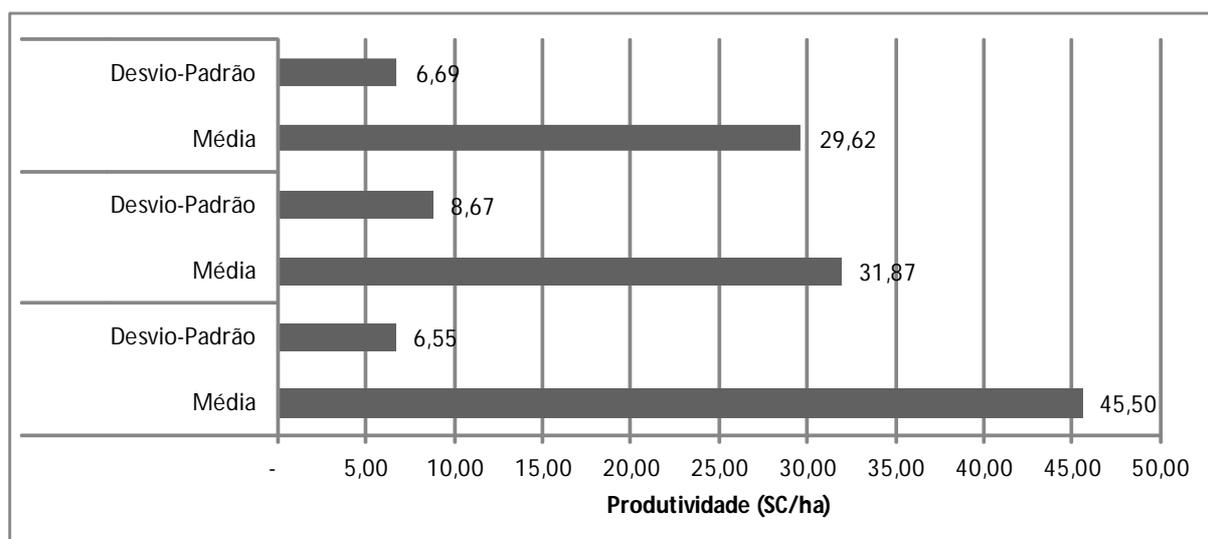
A Tabela 12 aponta as lucratividades, rentabilidades, eficiência DEA e eficiência estocástica. O grupo eficiente, como já discutido neste estudo, apontou as maiores lucratividades e rentabilidades.

**TABELA 8** – Teste-t para duas amostras em par para médias obtidas pelo modelo paramétrico e o modelo não-paramétrico dos produtores de café pesquisados em Minas Gerais, safras 2008 e 2009

Estatística	Função Fronteira	DEA
Média	0,796	0,656
Variância	0,007	0,034
Stat t	-16,350	
P(T<=t) uni-caudal	0,000	
t crítico uni-caudal	1,653	
P(T<=t) bi-caudal	0,000	
t crítico bi-caudal	1,972	

**TABELA 9** – Estatística descritiva dos grupos “Eficiente”, “Todos os produtores” e “Não eficientes”

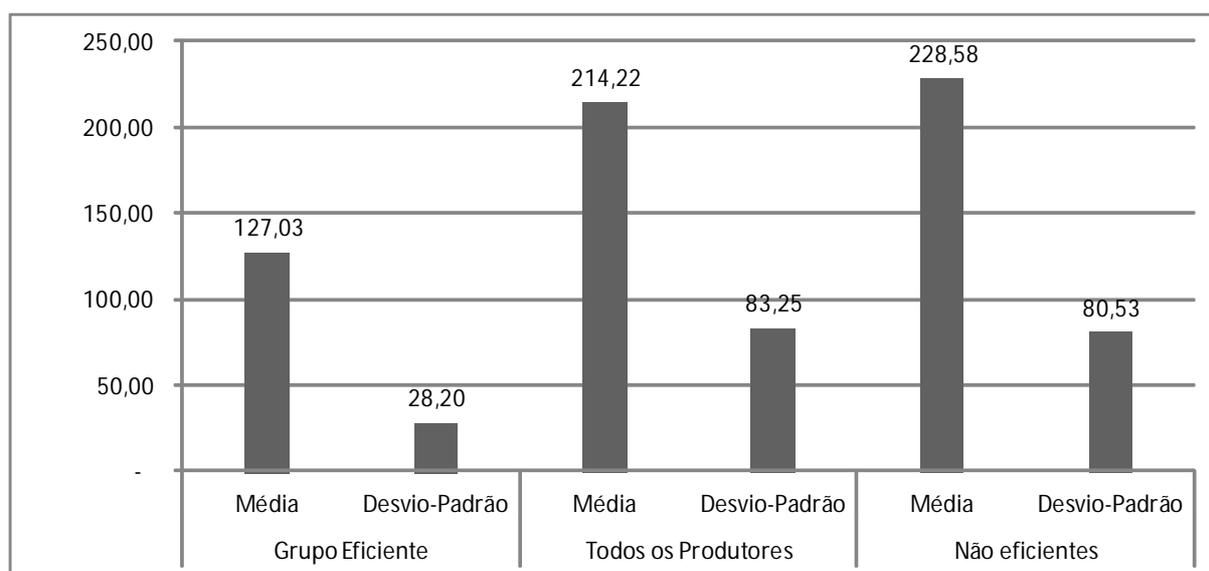
Variáveis	Grupo Eficiente		Todos os Produtores		Não eficientes	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Altitude média propriedade(m)	948,51	116,51	953,14	119,25	953,98	120,10
Área total da propriedade (ha)	42,89	78,89	46,00	63,32	46,52	60,63
Área total de café (ha)	12,79	6,62	16,14	16,31	16,69	17,35
Idade média das lavouras	7,65	6,07	7,59	6,00	7,59	6,01
Número de pés por ha	3.515,68	1.470,82	3.476,74	1.276,34	3.470,33	1.246,21
Produtividade média (SC/ha)	45,50	6,55	31,87	8,67	29,62	6,69



**GRÁFICO 5** – Produtividade média dos grupos “Eficiente”, “Todos os produtores” e “Não eficientes”

**TABELA 10** – Estatística descritiva dos grupos “Eficiente”, “Todos os produtores” e “Não eficientes”.

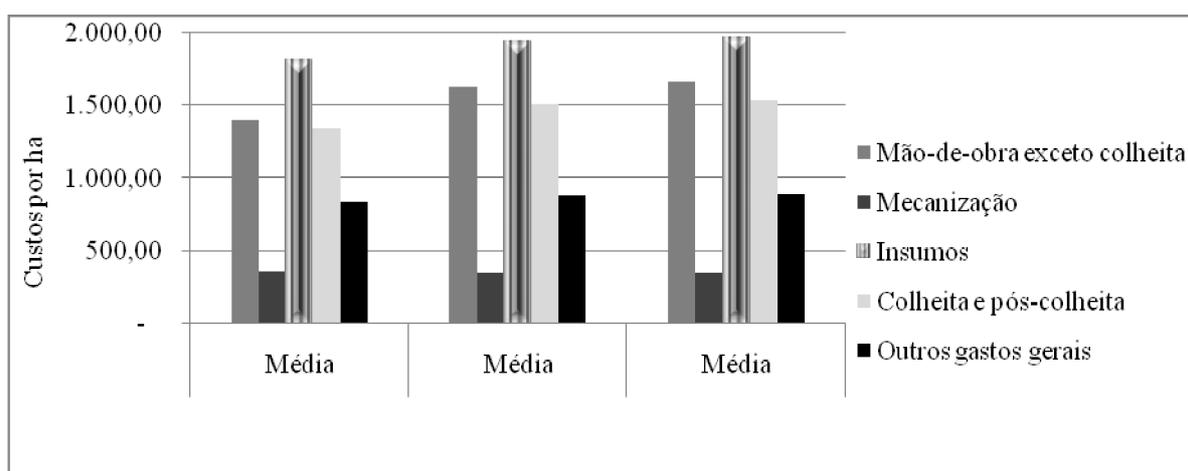
Valores em R\$ totais por safra	Grupo Eficiente		Todos os Produtores		Não eficientes	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Receita Total	149.849,37	76.239,05	133.307,07	141.620,00	130.582,46	149.659,00
Mão-de-obra exceto colheita	16.297,32	9.126,24	24.700,82	25.645,45	26.084,93	27.197,82
Mecanização	5.055,83	3.972,41	6.350,38	8.457,17	6.563,60	8.973,81
Insumos	23.189,36	12.489,86	32.397,79	37.576,73	33.914,47	40.058,31
Colheita e pós-colheita	15.193,44	7.385,96	21.114,70	19.277,09	22.089,97	20.437,53
Outros gastos gerais	10.577,61	5.848,23	13.963,67	14.597,86	14.521,37	15.515,37
Custo por ha	5.742,08	1.335,40	6.317,80	1.527,85	6.412,62	1.540,20
Custo por saca	127,03	28,20	214,22	83,25	228,58	80,53



**GRÁFICO 6** – Custo por saca dos grupos “Eficiente”, “Todos os produtores” e “Não eficientes”

**TABELA 11** - Estatística descritiva dos grupos “Eficiente”, “Todos os produtores” e “Não eficientes”.

Valores por hectare	Grupo Eficiente		Todos os Produtores		Não eficientes	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Mão-de-obra exceto colheita	1.396,79	685,52	1.630,59	714,04	1.669,10	713,23
Mecanização	359,16	184,23	347,78	200,10	345,90	203,04
Insumos	1.810,92	375,43	1.944,22	500,56	1.966,18	515,87
Colheita e pós-colheita	1.343,02	825,52	1.510,95	956,60	1.538,60	975,90
Outros gastos gerais	832,19	235,50	884,26	269,06	892,84	273,87



**GRÁFICO 7** – Custo por hectare/safra dos grupos “Eficiente”, “Todos os produtores” e “Não eficientes”

**TABELA 12** – Estatística descritiva dos grupos “Eficiente”, “Todos os produtores” e “Não eficientes”.

Variáveis	Grupo Eficiente		Todos os Produtores		Não eficientes	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Lucratividade	0,51	0,11	0,18	0,32	0,12	0,31
Rentabilidade	0,41	0,12	0,13	0,18	0,09	0,15
Eficiência (DEA)	0,96	0,05	0,66	0,18	0,61	0,15
Eficiência (Fronteira estocástica)	0,90	0,01	0,80	0,09	0,78	0,08

### 5 CONCLUSÕES

Partindo da ideia de que existem duas metodologias de estimação das eficiências econômica, a paramétrica e a não-paramétrica, o presente estudo verificou qual das duas metodologias é a mais indicada para se estimar tais eficiências.

Para responder a esta questão, o primeiro passo foi estimar a função fronteira de produção da cafeicultura de Minas Gerais, onde se pode verificar que quase todos os seus coeficientes são semelhantes aos coeficientes da função média, à exceção do intercepto, o que indica que a função de produção está acima da função média. Observou-se, que, em média, os cafeicultores apresentam eficiência econômica de 79%. Além disso, a classe que apresentou a maior concentração de produtores com eficiência econômica, com intervalo entre 81% e 90%, atingiu 48% dos cafeicultores pesquisados. Constatou-se também que a menor eficiência econômica observada foi de 45%, ao passo que a maior foi de 94%.

Nos resultados de eficiência econômica utilizando o método DEA, a média de eficiência foi de 65%. A maior concentração foi no intervalo entre 0,51 e 0,60 com 25,8% dos produtores. E 20,2% dos produtores ficaram dentro do intervalo entre 0,61 e 0,70.

Analisadas as eficiências, o passo seguinte constituiu-se de identificar os possíveis fatores que poderiam explicar a variação da eficiência econômica. Para isso, foram calculadas as correlações das variáveis presentes na função de produção e demais indicadores técnicos pesquisados. Como destaque, teve-se a elevada correlação positiva entre as eficiências (DEA e Estocástica), permitindo inferir que, quanto maiores as produtividades, maiores são as eficiências. Esta análise já era esperada, uma vez que, quanto maior a produção por hectare, mais eficiente espera-se que o produtor seja. O que chama a atenção neste estudo é que não há correlação significativa entre os gastos com mão-de-obra, mecanização, insumos,

colheita e pós-colheita e outros gastos. Isso leva a uma reflexão: os valores gastos não têm relação com a produtividade, isto é, gastos maiores não levam necessariamente a produtividades maiores e vice-versa. Assim, o montante do gasto não é o responsável pela produtividade, do mesmo modo que nenhuma das seguintes variáveis: idade média da lavoura cafeeira; mecanização; altitude média da propriedade; tamanho da propriedade; área de produção do café e número de pés de café por hectare.

A análise das variáveis citadas no parágrafo anterior não apresentou correlação entre a produtividade e a eficiência econômica. Portanto, pode existir uma ou mais variáveis, incluindo a “Gestão”, que não foi relacionada neste estudo, que pode explicar esta eficiência. Levantase, então, a hipótese de que métodos de gestão possam influenciar as produtividades e eficiências. Esta hipótese, que fica para futuras pesquisas, é a de que não é o “quanto” se gasta e, sim, “como” se gasta que pode fazer a diferença entre ser eficiente e não ser.

Identificados os possíveis fatores que explicariam a variação da eficiência econômica, a próxima etapa buscou entender a relação entre escores de eficiência econômica e os indicadores financeiros de lucratividade e de rentabilidade. Os resultados apontaram elevadas correlações positivas entre os indicadores financeiros e os escores de eficiência econômica (DEA e Fronteira Estocástica), conformando a teoria de que quanto maiores às eficiências econômicas, maiores foram a lucratividade e a rentabilidade. Essa afirmativa é importante para disseminar pesquisas sobre eficiência econômica. Esses estudos podem auxiliar os produtores a entender como determinados produtores conseguem ser eficientes economicamente, ou seja, como gerir sua atividade de forma mais lucrativa e rentável.

O último passo do estudo procurou identificar as diferenças entre as metodologias de estimativa dos índices

de eficiência econômica. Como conclusão, observou-se que não há diferença significativa entre as médias obtidas pelo modelo paramétrico (função fronteira) e o modelo não-paramétrico (DEA). A partir dessa constatação, os produtores considerados eficientes foram separados. O método DEA classificou 38 produtores como eficientes, enquanto o método estocástico classificou 30 produtores. Destes dois grupos, 28 produtores foram considerados eficientes pelos dois métodos.

Dentre as diversas características comparadas entre os produtores pertencentes ao grupo eficiente e os demais, os gastos por hectare/safra se destacam. Os gastos do grupo eficiente foram menores em todos os grupos de custo, com destaque para a mão-de-obra exceto da colheita (R\$ 1.396,79), que, proporcionalmente, é o que mais se destaca dos demais grupos (R\$ 1.630,59 para todos os produtores e R\$ 1.669,10 para os não eficientes). Desta forma, um fator que merece atenção em futuras pesquisas é a produtividade da mão-de-obra que, aparentemente, é mais bem aproveitada por determinado grupo de produtores.

Alcançados os objetivos da pesquisa, pode-se afirmar então que as metodologias (DEA e Fronteira Estocástica) não apontaram resultados diferentes ao separar os produtores de café por suas eficiências econômicas.

## 6 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V. A. B. **Eficiência técnica e rentabilidade na produção de leite no estado do Rio de Janeiro**. 2003. 92 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.
- BARROS, E. S.; COSTA, E. F.; SAMPAIO, T. Análise de eficiência das empresas agrícolas do Polo Petrolina/Juazeiro utilizando a fronteira paramétrica translog. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 597-614, out./dez. 2004.
- BANKER, R. D., CHARNES, A. e COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, vol. 30, n°9, pag. 1078-1092. 1984.
- CASANOVA, S. P. C. **Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. 2002. 318p. Tese (Doutorado em Contabilidade) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W. Preface to topics in data envelopment analysis. **Annals of Operations Research**, Baltimore, v. 2, p. 59-94, 1985.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 2, p. 429-444, 1978.
- COELLI, T. J. **A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program**. Armidale: University of New England, 1996. (CEPA Working Paper 8/96).
- CONCEIÇÃO, J. C. P. R. da; ARAÚJO, P. F. C. de. Fronteira de produção estocástica e eficiência técnica na agricultura. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 45-64, jan./mar. 2000.
- CONCEIÇÃO, P. H. Z. Uma contribuição metodológica para análise da decomposição da produtividade total dos fatores na agricultura brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005. 1 CD-ROM.
- CUNHA, C. A.; LÍRIO, V. S.; SANTOS, M. L. dos. Eficiência técnica e retornos a escala na agropecuária das microrregiões de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 41., 2003, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SOBER, 2003. 1 CD-ROM.
- FÁVERO, L. P. L. et al. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2009. 646 p.
- FERREIRA, A. A. **Características dos sistemas de produção, eficiência e economias de escala na produção de frango de corte no estado de Minas Gerais**. 1998. 140 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.
- FERREIRA JÚNIOR, S. F.; CUNHA, R. S. Eficiência técnica na atividade leiteira de Minas Gerais: um estudo a partir de três sistemas de produção. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 46-60, jul./dez. 2004.
- GUJARATI, D. **Econometria básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 344p.

- JOHANSSON, H. Technical, allocative, and economic efficiency in Swedish dairy farms: the data envelopment analysis versus the stochastic frontier approach. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE EUROPEAN ASSOCIATION OF AGRICULTURAL ECONOMISTS, 11., 2005, Copenhagen. **Proceedings...** Denmark: European Association of Agricultural Economists, 2005. 1 CD-ROM.
- KHAN, A. S.; SILVA, L. M. R. Assistência técnica, eficiência na utilização dos fatores de produção e da produtividade diferencial em propriedades rurais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 95-114, abr./jun. 1997.
- KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. A. K. **Stochastic frontier analysis**. Cambridge: Cambridge University, 2000. 332 p.
- LIMA, A. L. R. **Eficiência produtiva e econômica da atividade leiteira em Minas Gerais**. 2006. 65 p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- LINS, M. P. E.; MEZA, L. A. **Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à decisão**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.
- MAROCO, J. **Análise estatística com utilização do SPSS**. 3. ed. Lisboa: Silabo, 2010. 822 p.
- MELLO, J. C. C. B. S. de et al. Curso de análise de envoltória de dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., 2005, Gramado. **Anais...** Gramado: SBPO, 2005. 1 CD-ROM.
- MONTORO JÚNIOR, W.; TEIXEIRA, A. Medindo eficiência de custos no setor de distribuição de energia elétrica brasileiro. **Brazilian Business Review**, Vitória, v. 1, n. 1, p. 63-73, jan./jun. 2004.
- MOREIRA, V. H. et al. Alternative technical efficiency measures for Argentinean dairy farms using a stochastic production frontier and unbalanced panel data. In: ASIA PACIFIC PRODUCTIVITY CONFERENCE, 2004, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: University of Queensland, 2004. 1 CD-ROM.
- NICHOLSON, W. **Microeconomic theory: basic principles and extensions**. Mason: Southwestern, 2005. 671 p.
- OHIRA, T. H.; SHIROTA, R. Eficiência econômica: uma aplicação do modelo de fronteira estocástica em empresas de saneamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 33., 2005, Natal. **Anais...** Natal: ANPEC, 2005. 1 CD-ROM.
- PEREIRA, B. D.; MAIA, J. C. de S.; CAMILOT, R. Eficiência técnica na suinocultura: efeitos dos gastos com meio ambiente e da renúncia fiscal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 200-204, mar./abr. 2008.
- PEREIRA, M. F. et al. Mensuração da eficiência técnica na agropecuária brasileira através da estimação econométrica de fronteiras de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 39., 2001, Recife. **Anais...** Recife: SOBER, 2001. 1 CD-ROM.
- REIS, R. P.; RICHETTI, A.; LIMA, A. L. R. Eficiência econômica na cultura do café: um estudo no sul de Minas Gerais. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 50-59, jan./jun. 2005.
- RICHETTI, A.; REIS, R. P. Fronteira de produção e eficiência econômica na cultura da soja no Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 45-61, jan./mar. 2003.
- SANTOS, J. A. et al. Eficiência técnica na produção de leite em pequenas propriedades da microrregião de Viçosa. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 2, n. 2, p. 261-290, 2004.
- SOUZA, D. P. H. de. **Avaliação de métodos paramétricos e não-paramétricos na análise da eficiência da produção de leite**. 2003. 147 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.
- TUPY, O. **Fronteiras estocásticas, dualidade neoclássica e eficiência econômica na produção de frangos de corte**. 1996. 91 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1996.
- TUPY, O. et al. A ineficiência custo da produção de leite no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005. 1 CD-ROM.
- TUPY, O.; SHIROTA, R. Eficiência econômica na produção de frango de corte. **Informações Econômicas**, Piracicaba, v. 28, n. 10, p. 25-40, out. 1998.

VICENTE, J. R. Economic efficiency of agricultural production in Brazil. **Brazilian Review of Agricultural Economics and Rural Sociology**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 2, p. 201-222, abr./jun. 2004.

VILELA, D. L. **Utilização do método análise envoltório de dados para avaliação do desempenho econômico de cooperativas de crédito**. 2004. 144p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

ZILLI, J. B. **Os fatores determinantes para a eficiência econômica dos produtores de frango de corte: uma análise estocástica**. 2003. 147 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.