**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Função de produção para a agricultura e produtividade total dos
fatores – Brasil, 1995-96**

Ricardo Mendonça da Fonseca

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de Concentração: Economia
Aplicada**

**PIRACICABA
2007**

Ricardo Mendonça da Fonseca

**Função de produção para a agricultura e produtividade total dos fatores – Brasil,
1995-96**

Orientador:

Prof. Dr. **GERALDO SANT'ANA DE CAMARGO BARROS**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de Concentração:
Economia Aplicada**

**PIRACICABA
2007**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Fonseca, Ricardo Mendonça da

Função de produção para agricultura e produtividade total dos fatores – Brasil, 1995-96 /
Ricardo Mendonça da Fonseca. - - Piracicaba, 2007.
51p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Agricultura – Aspectos econômicos 2. Econometria 3. Lavoura 4. Mínimos quadrados
5. Produção (Economia) I. Título

CDD 338.1

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família (mãe, irmãos, esposa e parentes mais próximos) pela compreensão nos momentos de ausência e mesmo assim por um amor não menor; em especial ao meu pai, pelo esforço e demais exemplos dados, cuja lembrança não será esquecida. Esta é uma singela retribuição a vocês.

Também, agradeço ao professor Geraldo Sant'Ana de Camargo Barros, pela orientação, e às professoras Ana Lucia Kassouf, Heloísa Lee Burnquist, Miriam Rumenos Piedade Bacchi e Silvia Helena Galvão de Miranda, pelas sugestões no seminário e qualificação.

Devo em particular, ademais do companheirismo dessas pessoas nos bons momentos, à Andréa Rodrigues Ferro pelo auxílio na coleta dos dados do Censo Agropecuário de 1991, e ao Alexandre Chibebe Nicolella e Luiz Fernando Ohara Kamogawa pelo auxílio em alguns dos comandos do programa STATA. Não posso deixar de citar os nomes de Lotário Sanders, pela importante presença em minha vida. Também, agradeço a amizade de Ana Laura Menegatti, Arlei Fachinello, Claudia Brito, Davi Costa, Cesar Cruz, Leila Harfuch, Laura Antoniazzi, Lucilio Alves, Rogério Freitas, Vitor Ozaki. Além disso, fico em débito com Alvaro Sobreiro, Elisangela Macewicius, Ligiana Damiano, Luciane Scafí, Maria Maielli Travalini e Paula Ehlers pela presteza nos momentos que desses precisei.

Finalmente, agradeço ao CNPq e ao CEPEA no suporte à consecução deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS.....	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 O problema.....	9
1.2 Objetivo geral	11
1.3 Objetivos específicos	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 A função de produção, retornos à escala, produtividade parcial e total dos fatores	12
2.2 PTF com informações temporais, seccionais, e seus determinantes	13
2.3 Recentes estimações da função de produção e PTF no Brasil	16
2.4 O problema de equações simultâneas nas decisões de alocação de recursos: fatores de produção endógenos e exógenos	19
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 A função de produção Cobb-Douglas e o modelo econômico.....	21
3.2 Esclarecimentos, variáveis e fontes dos dados	24
3.3 Estimação da função de produção com fatores de produção endógenos: método de mínimos quadrados em três estágios	26
3.4 Dados: descrição.....	29
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
4.1 Estimativa da função de produção	34
4.2 Dotação de fatores produtivos e cálculo da PTF	37
5 CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS.....	48

RESUMO

Função de produção para a agricultura e produtividade total dos fatores – Brasil, 1995-96

Considerando as microrregiões do Censo Agropecuário de 1995-1996 e dos Censos Demográficos de 1991 e 2000, este trabalho estima, primeiramente, uma função de produção Cobb-Douglas. Para tal, controla-se o efeito dos preços regionais sobre o valor da produção. São levados em conta fatores tradicionais (mão-de-obra, terra, insumos químicos e capital) e o capital humano (nível de escolaridade formal e conhecimento de mercado). A estimativa foi obtida através do método de mínimos quadrados em três estágios – MQ3E. O método se justifica pelo modelo econômico proposto ser um sistema de equações (estima-se também a demanda por capital e o custo relativo da utilização deste fator) e pela forte presença de heteroscedasticia na estimação em mínimos quadrados ordinários – MQO. Em seguida, estima-se a Produtividade Total dos Fatores – PTF por estado, verificando-se a contribuição relativa do capital humano.

Palavras-chave: Agricultura; Lavouras; Função de produção; Cobb-Douglas; Produtividade total dos fatores; Mínimos quadrados em três estágios

ABSTRACT

Agricultural production function and total factor productivity – Brazil, 1995-96

Using data from the Agricultural Census of 1995-96 and the Demographic Censuses of 1991 and 2000, this dissertation first estimate a Cobb-Douglas production function. The value of production is calculated in order to control the effect of regional prices. Traditional factors (labor, land, fertilizers and capital) and human capital (years of schooling and market knowledge) are used as explanatory variables in the production function. The economic model is a simultaneous equations system that considers both decisions to produce and maximize profits. Results of the proposed economic model are obtained by using the three-stage least squares (3-SLS) method due to presence of heteroskedasticity. Afterwards, total productivity factor (TFP) is estimated to each of the Brazilian states and the relative contribution of human capital is analyzed.

Key-words: Agriculture; Crops; Production function; Cobb-Douglas; Total factor productivity; Three-stage least squares

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação ilustrativa do modelo empírico proposto	23
Figura 2 – Produção observada e estimada.....	42
Figura 3 – Produção observada e contribuição relativa dos fatores tradicionais.....	43
Figura 4 – Produção observada e influências relativas dos insumos tradicionais e do conhecimento de mercado.....	43
Figura 5 – Produção observada e influências relativas dos insumos tradicionais e do capital humano	44
Figura 6 – Participação relativa dos fatores tradicionais e capital humano na produção estimada	46
Figura 7 – Contribuição de cada componente do capital humano para a produção de lavouras.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Crescimento médio do PNB <i>per capita</i>	9
Tabela 2 – Ilustração do cálculo de quantidade de cavalo-vapor (CV) por microrregião.....	31
Tabela 3 – Modelo original	37
Tabela 4 – Dotação de fatores produtivos e produto estimado	38
Tabela 5 – Capital humano	39
Tabela 6 – Produção não explicada (resíduo).....	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 O problema

O Brasil tem sido um país com baixo padrão de crescimento. Isso pode ser observado a partir do crescimento médio entre 1984 e 2003 de algumas das economias mais representativas da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE e da América do Sul (Tabela 1).

Tabela 1 – Crescimento médio do PNB *per capita*

País	Crescimento médio do Produto Nacional Bruto – PNB entre 1984 e 2003, em dólares de 2000
China	8,17%
República da Coréia	5,86%
Irlanda	5,39%
Chile	4,41%
Portugal	2,89%
Espanha	2,71%
Reino Unido	2,36%
Austrália	2,11%
Japão	2,10%
Áustria	2,01%
Estados Unidos	1,98%
Holanda	1,94%
Finlândia	1,92%
Canadá	1,80%
Itália	1,77%
Alemanha	1,76%
Grécia	1,74%
Suécia	1,68%
França	1,66%
Colômbia	1,20%
Brasil	0,97%
México	0,75%
Argentina	0,31%

Fonte: Banco Mundial (2005)

O quadro é agravado pelas desiguais distribuições de riqueza e renda, principalmente do ponto de vista regional. Um exemplo: estimativas para o ano de 1996

feitas a partir da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD indicam que, do total dos brasileiros vivendo mensalmente com no máximo R\$ 137,90, 55,36% estavam localizados no Norte e Nordeste e 35,64%, também do total, viviam no meio rural (FERREIRA; LANJOUW; NERI, 2003). Isso indica que uma considerável proporção dos pobres no Brasil está localizada nessas regiões e depende direta ou indiretamente da renda proveniente da agricultura. Portanto, um crescimento econômico mais rápido e homogêneo em vista de um maior bem-estar social depende em boa medida de avanços mais rápidos e homogêneos da produtividade agrícola.

O anseio no esclarecimento do comportamento da produtividade e de seus determinantes é justificável, particularmente na agricultura, na medida em que é nesta que se assenta grande parte da diferença de crescimento econômico de regiões, países ou setores da economia. Quanto maior a produtividade para as mesmas proporções de insumos no decorrer do tempo, maior a quantidade do produto, a renda e conseqüentemente o bem-estar da população. Dentro desse cenário é que se buscam explicações para diferenças de produtividade, as quais não se restringem a questões técnicas do processo produtivo: são também ressaltadas características culturais, o nível educacional, a capacidade de acumulação de capital, o grau de abertura econômica, entre outros aspectos (BARRO, 1997; BARRO; SALA-I-MARTIN, 1997; HELPMAN, 2004; PARENTE; PRESCOTT, 2002)¹.

Neste estudo, pretende-se contribuir para esclarecer a questão da produtividade agrícola através de uma análise de corte seccional, envolvendo as microrregiões para as quais o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE levanta informações por ocasião dos Censos Agropecuários. Usando dados sobre produção, preços e uso dos recursos produtivos, pretende-se estimar a função de produção para a agricultura brasileira, verificando como se dá a alocação de recursos do setor do ponto de vista regional. Complementarmente, será determinado o padrão da Produtividade Total dos Fatores – PTF entre as regiões, buscando identificar, ao menos, os fatores explicativos do padrão de produtividade observado.

---

¹ A situação econômica atual pode ser também resultante de decisões previamente tomadas no passado, buscando a eficiência (incluindo produtiva) ou não; o conhecimento do motivo destas diferenças auxilia em entender o presente e antever o futuro (NORTH, 2005).

A produtividade parcial, razão entre o produto e determinado insumo, embora de vasta utilização, tem perdido importância relativa, uma vez que não deixa claro o que seria o efeito do avanço tecnológico e o aumento da utilização dos insumos empregados (OCDE, 2001). Aqui, opta-se por dar prioridade à PTF, que considera, em linhas gerais, a razão entre o produto final e a totalidade dos insumos de forma proporcional à sua utilização.

Os resultados dos cálculos da Produtividade Total dos Fatores pretendem ser uma contribuição para a discussão a respeito da aceleração e de um padrão regionalmente mais homogêneo de crescimento da agricultura brasileira.

1.2 Objetivo geral

A partir de dados disponibilizados pelo IBGE no Censo Agropecuário de 1995-1996 e Censos Demográficos de 1991 e 2000, pretende-se estimar uma função de produção para a agricultura (lavouras) brasileira em que as unidades de observação são as microrregiões. Complementarmente, será calculada e analisada a Produtividade Total dos Fatores por estado.

1.3 Objetivos específicos

Especificamente, pretende-se:

- a) revisar criticamente a literatura teórica e empírica sobre o tema PTF e utilizar dados de cortes seccionais para sua estimação;
- b) verificar a importância de cada fator de produção para o comportamento da produção agrícola;
- c) analisar o comportamento da Produtividade Total dos Fatores do ponto de vista regional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A função de produção, retornos à escala, produtividade parcial e total dos fatores

A função de produção é uma representação algébrica da alocação relativa dos fatores de uma economia ou setor, cujo resultado final é o produto ou serviço agregado.

A função Cobb-Douglas $Y = AX_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_n^{\beta_n} = A \prod_{i=1}^n X_i^{\beta_i}$ é bastante utilizada por ser de fácil manipulação algébrica e econométrica², e por conter nos parâmetros estimados algumas propriedades importantes:

- a) A partir da função de produção é possível observar que o aumento proporcional dos fatores produtivos da ordem de δ resulta num incremento de $\delta^{\sum_{i=1}^n \beta_i}$ do produto. A soma $\sum_{i=1}^n \beta_i$ pode ser maior, igual ou menor que 1, o que implica respectivamente em retornos crescentes, constantes ou decrescentes de escala (BARBOSA, 1985 apud SILVA, 1996).
- b) A produtividade marginal do insumo X_i é definida como $\partial Y / \partial X_i = \beta_i A X_1^{\beta_1} \dots X_i^{\beta_i-1} \dots X_n^{\beta_n} = \beta_i (Y / X_i)$ (SILVA, 1996). Sob a hipótese de que os mercados de insumos são competitivos, a maximização de lucro implica em que a produtividade marginal do insumo X_i é igual ao seu custo unitário $\partial Y / \partial X_i = r_i$ ³ (MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995). Com isso, $r_i = \beta_i (Y / X_i) \Rightarrow (r_i \cdot X_i) / Y = \beta_i$ e, portanto, se o total do produto é gasto com a remuneração dos fatores, então β_i representa a proporção gasta com o insumo X_i (BARRO, 1999).

---

² Sua forma logarítmica $\ln Y = \ln A + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \dots + \beta_n \ln X_n = \ln A + \sum_{i=1}^n \beta_i \ln X_i$ facilita a estimação econométrica dos coeficientes β 's, variáveis desconhecidas e de interesse da função Cobb-Douglas.

³ r_i normalizado em relação ao preço do produto Y .

- c) A elasticidade da produção de um insumo qualquer X_i (ε_{X_i}) é $\varepsilon_{X_i} = (\partial Y/Y)/(\partial X_i/X_i) = (\partial Y/\partial X_i)(X_i/Y) = (\beta_i A X_1^{\beta_1} \dots X_i^{\beta_i-1} \dots X_n^{\beta_n})(X_i/Y) = \beta_i$. Portanto, a variação percentual de utilização do insumo X_i , mantidos os demais constantes, implica em variação percentual do produto final na proporção β_i . Algebricamente, $(\partial Y/Y)/(\partial X_i/X_i) = \beta_i$ ou $(\partial Y/Y) = \beta_i (\partial X_i/X_i)$ (MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995).

Quanto à mensuração da produtividade dos insumos ou fatores, esta pode ser parcial ou total dos fatores. A produtividade parcial é simplesmente a razão entre as quantidades do produto final e de um dos fatores produtivos (Y/X_i). Na agricultura, é comum a utilização da produtividade parcial da terra (área plantada) como indicador de desempenho. Embora útil, a produtividade parcial não considera o efeito da maior utilização conjunta dos outros insumos no produto final e, portanto, não discrimina o efeito do progresso técnico. Por exemplo, o aumento da produtividade da terra pode se dever à maior utilização de fertilizantes; não houve progresso técnico, apenas maior uso de um dos insumos empregados no processo produtivo.

A obtenção da PTF a partir da estimação da função de produção evita tais incongruências ao fazer esta discriminação. O que se busca medir com PTF é o quanto da produção é atribuído ao nível técnico e aos insumos empregados. Um procedimento usual para encontrar a PTF se dá por meio do cálculo do resíduo de Solow.

2.2 PTF com informações temporais, seccionais, e seus determinantes

O resíduo de Solow é a representação algébrica usual para a variação percentual da PTF. Assim, seja uma função de produção simplificada tendo por insumos capital – K , trabalho – L e nível técnico – A (BARRO, 1999; SOLOW, 1957):

$$Y = F(A, K, L) \quad (1)$$

Sabendo-se que a variação temporal de Y , A , K e L é representada respectivamente por $\partial Y/\partial t = \dot{Y}$, $\partial A/\partial t = \dot{A}$, $\partial K/\partial t = \dot{K}$, $\partial L/\partial t = \dot{L}$ e obtendo-se a derivada total da função de produção (1) em relação ao tempo, então:

$$\dot{Y} = \frac{\partial F(A, K, L)}{\partial A} \cdot \dot{A} + \frac{\partial F(A, K, L)}{\partial K} \cdot \dot{K} + \frac{\partial F(A, K, L)}{\partial L} \cdot \dot{L} \quad (2)$$

$\partial F(A, K, L)/\partial K = F_K$ é o produto marginal do capital e $\partial F(A, K, L)/\partial L = F_L$ o produto marginal do trabalho. Ainda, chamando $\partial F(A, K, L)/\partial A = F_A$ e substituindo a padronização em (2):

$$\dot{Y} = F_A \cdot \dot{A} + F_K \cdot \dot{K} + F_L \cdot \dot{L} \quad (3)$$

Dividindo toda a equação (3) por Y e em seguida multiplicando e dividindo o lado direito da equação respectivamente por A , K e L , obtém-se:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{F_A}{Y} \cdot \dot{A} + \frac{F_K}{Y} \cdot \dot{K} + \frac{F_L}{Y} \cdot \dot{L} \Leftrightarrow \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{F_A A}{Y} \cdot \frac{\dot{A}}{A} + \frac{F_K K}{Y} \cdot \frac{\dot{K}}{K} + \frac{F_L L}{Y} \cdot \frac{\dot{L}}{L} \quad (4)$$

Sendo $g \equiv ((F_A A)/Y) \cdot (\dot{A}/A)$ a variação da PTF no tempo. Se a função de produção tiver a forma particular *Hicks-neutral*, ou seja, $Y = F(A, K, L) = A \cdot G(K, L)$, então:

$$g \equiv \frac{A \cdot G(K, L)}{Y} \frac{\dot{A}}{A} \equiv \frac{\dot{A}}{A} \quad (5)$$

que é a variação percentual da PTF.

O ponto de maximização do lucro (considerando o preço do produto igual a 1) é aquele em que $F_K \equiv R$, ou seja, o retorno marginal do capital se iguala à sua

remuneração, e $F_L \equiv W$, ou seja, o retorno marginal do trabalho se iguala ao custo de salário real. Fazendo-se as devidas substituições:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = g + \frac{R \cdot K}{Y} \cdot \frac{\dot{K}}{K} + \frac{W \cdot L}{Y} \cdot \frac{\dot{L}}{L} \quad (6)$$

Supondo-se também que a totalidade do produto é usada na remuneração de capital e trabalho, então:

$$Y = RK + WL \Rightarrow \frac{Y}{Y} = \frac{RK}{Y} + \frac{WL}{Y} \Rightarrow 1 = \frac{RK}{Y} + \frac{WL}{Y} \quad (7)$$

e considerando $s_K = (R \cdot K)/Y$ e $s_L = (W \cdot L)/Y$ as respectivas parcelas do produto gastas com capital e trabalho:

$$1 = \frac{RK}{Y} + \frac{WL}{Y} \Rightarrow s_K + s_L = 1 \quad (8)$$

Substituindo s_K e s_L em (6):

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = g + s_K \cdot \frac{\dot{K}}{K} + s_L \cdot \frac{\dot{L}}{L} \Rightarrow g = \frac{\dot{Y}}{Y} - \left(s_K \cdot \frac{\dot{K}}{K} + s_L \cdot \frac{\dot{L}}{L} \right) \quad (9)$$

Dessa forma, encontra-se o resíduo de Solow, que nada mais é do que variação percentual da PTF no tempo:

$$g = \frac{\dot{Y}}{Y} - \left(s_K \cdot \frac{\dot{K}}{K} + s_L \cdot \frac{\dot{L}}{L} \right) \quad (10)$$

Fatores exógenos ao processo produtivo e relacionados ao capital humano do tomador de decisão, como educação formal e conhecimento do mercado, podem

explicar os avanços tecnológicos (obter mais produto por unidade do total de fatores), o que é feito com frequência nos estudos econômicos (AGHION; HOWITT, 1998; BARRO; SALA-I-MARTIN, 2003; EASTERLY, 2002; JONES, 2002; KALDOR; MIRRELES, 1962; MUNDLAK, 2000; ROMER, 1990).

Baseando-se em Solow (1957), Hall e Jones (1996) apresentam uma metodologia de cálculo da PTF primando pelo nível de produtividade e não pela taxa de crescimento. O argumento é que assim é possível captar de forma mais consistente diferenças estruturais de longo prazo. Nesse sentido, dados seccionais são utilizados, não séries temporais.

Calcula-se a variação da PTF com base no resíduo de Solow.

$$\Delta \ln y_i = \alpha_i \Delta \ln k_i + (1 - \alpha_i) \Delta \ln h_i + \Delta \ln A_i \quad (11)$$

Em que i é o país/região em análise; α é a utilização relativa ao produto no uso de capital físico; K_i é o capital físico; e $H_i = e^{\phi(S_i)} L_i$ é o capital humano obtido pelo número de trabalhadores (L_i) e pelo nível de escolaridade (S_i). O nível tecnológico do país i é encontrado como segue⁴:

$$\ln A_i = \sum_{j=2}^i \Delta \ln A_j + \ln A_1 \quad (12)$$

Sendo que $\ln A_1$ é um valor arbitrário normalizado para um determinado país.

2.3 Recentes estimações da função de produção e PTF no Brasil

Moreira e Migon (2000) estimaram funções de produção utilizando uma matriz de vizinhança das microrregiões com parâmetros fixos e espacialmente variáveis. A suposição é de heterogeneidade produtiva regional desconhecida em decorrência, por exemplo, de diferentes condições climáticas, de solo, gerenciais ou de nível de escolaridade no meio rural. Foi considerado o valor da produção agregada da

---

⁴ Baseado em Islam (1999).

microrregião, deflacionado pelo INPC médio. Além disso, quatro tipos de capital foram considerados: área utilizada pelos estabelecimentos agropecuários, número de pés plantados para algumas lavouras permanentes, de tratores para o caso de lavouras temporárias e número de bovinos para o caso da pecuária. Também considerou-se o pessoal ocupado. A base de dados foi dos Censos Agropecuários de 1970 a 1995-1996. Os resultados obtidos sugerem diversidade espacial na estrutura produtiva agropecuária e, portanto, os modelos estimados com parâmetros variando espacialmente são os mais adequados.

Hoffmann, Jamas e Kassouf (1990) estimaram funções de produção para as microrregiões homogêneas a partir Censos Agropecuários de 1975 e 1980, e dos Censos Demográficos de 1970 e 1980. Abaixo, seguem os dados utilizados no trabalho:

1. EH: mão-de-obra em equivalentes-homem⁵ (SILVA; KAGEYAMA, 1983 apud SILVA, 1996); ou seja, o trabalho anual de um homem adulto – cujo cálculo por microrregião é a soma dos resultados (i) a (iv), abaixo:
2. AL: área em lavouras; soma de ALT (temporárias) e ALP (permanentes), em hectares;
3. AP: área com pastagens; soma de APP (plantadas) e APN (naturais);
4. AM: área com matas, naturais ou plantadas, em hectares;
5. CC: capital em culturas; valor das culturas permanentes e das matas plantadas;
6. CA: capital em animais; valor dos animais de criação, de reprodução e de trabalho;
7. CI: valor das instalações e outras benfeitorias, máquinas, instrumentos agrícolas e outros meios de transporte;
8. AD: despesas com adubo, corretivos, sementes, mudas, defensivos agrícolas;
9. RC: despesas com medicamentos para animais, sal e rações;
10. OD: despesas com aluguel de máquinas e equipamentos, transportes da produção, sacaria e outras embalagens, combustíveis, lubrificantes, energia elétrica e outras despesas;

---

⁵ Como consta em Silva (1996), equivalente-homem é a “mão-de-obra medida em unidades equivalentes ao trabalho anual de um homem adulto, incluindo estimativa de mão-de-obra contratada por empreitada”.

11. VT: valor da terra, em milhões de cruzeiros;
12. PRT: preço da terra; divisão do valor das terras pela área total dos estabelecimentos agropecuários, em milhões de cruzeiros por hectare;
13. ESCM: número médio de anos de escolaridade das pessoas com 5 ou mais anos de idade;
14. ESC1: proporção de pessoas com 1 ano ou mais de escolaridade;
15. ESC9: proporção de pessoas com 9 anos ou mais de escolaridade;
16. URB: grau de urbanização das pessoas ocupadas; porcentagem das pessoas com 10 ou mais anos ocupadas que trabalham em atividades que não agropecuária, de extração vegetal e pesca.

O modelo empírico considerado nos trabalhos envolve uma função de produção Cobb-Douglas, em que o valor da produção, em logaritmo, é explicado pelas variáveis acima enumeradas de 1 a 10 (correspondendo às respectivas variáveis logo abaixo X_1 a X_{10}), também em logaritmos, mais as variáveis X_{11} a X_{16} captando diferenças regionais de educação, urbanização e terra (preço e valor). Ou seja:

$$Y = A \prod_{i=1}^{10} X_i^{\beta_i} \cdot e^{\sum_{i=11}^{15} \beta_i X_i} \cdot \varepsilon \Leftrightarrow \ln Y = \ln A + \sum_{i=1}^{10} \beta_i \ln X_i + \sum_{i=11}^{16} \beta_i X_i \quad (13)$$

A nível nacional, os resultados indicam que a elasticidade da produção da mão-de-obra é maior nos anos de 1975 e 1980. Na seqüência, vêm as despesas com aluguel de máquinas e equipamentos, transportes da produção etc. (item 10), seguidas pelas elasticidades da área para lavouras (item 2) e pelo valor dos animais de criação, de reprodução e de trabalho (item 6).

O trabalho de Silva (1996) é um complemento ao de Hoffmann, Jamas e Kassouf (1990), na medida em que também utiliza o Censo Agropecuário de 1985. Os resultados apontam que a mão-de-obra é o fator com maior efeito sobre o produto. Há uma análise comparativa regional e temporal mais detalhada que indica mudanças

significativas da estrutura de produção entre os anos de 1975, 1980 e 1985, bem como diferenças nas funções estimadas para as regiões Nordeste, Norte e Sul, Sudeste (excluindo São Paulo) – o estado de São Paulo foi analisado separadamente.

Gasques e Conceição (2000) e Gasques et al. (2004) fazem uso do método do índice de Tornqvist para o cálculo da PTF. No primeiro trabalho (2000), são utilizados apenas dados por estado dos Censos Agropecuários de 1970 a 1995-1996, sendo que o foco principal é a PTF também em nível nacional. Além disso, são calculadas as produtividades parciais do trabalho e do capital. Já o segundo trabalho (2004) utiliza uma base de dados mais ampla, que inclui informações dos Anuários Estatísticos do IBGE e da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – Anfavea, além da PNAD, da Produção Agrícola Municipal – PAM e da Produção Pecuária Municipal – PPM. O segundo trabalho foca a análise crescimento da PTF, em que se buscam explicações na pesquisa agrícola e no crédito rural. Os autores concluem ter havido um crescimento consistente da PTF a nível nacional e regional, sendo que o gasto com pesquisa teve maior efeito positivo.

2.4 O problema de equações simultâneas nas decisões de alocação de recursos: fatores de produção endógenos e exógenos

Marshall e Andrews, 1944 apud Nerlove (1965), Hoch (1958) e Mundlak e Hoch (1965) apontam que a decisão de quanto produzir está associada à decisão sobre o quanto de cada um dos fatores deve ser utilizado no processo produtivo. Ou seja, a função de produção usualmente estimada pressupõe que a quantidade de cada um dos fatores ou insumos (variáveis independentes) é predeterminada em relação à produção (variável dependente). É claro que essa pressuposição é violada – sob certas circunstâncias – pelo processo de geração dos dados que se analisam. Na verdade, quantidades de produto e fatores produtivos, como regra, são determinadas simultaneamente pelo produtor/operador da unidade de produção.

Os dados a serem usados nesta pesquisa vêm de levantamento do IBGE em sub-regiões do País. As quantidades (de produto e fatores) que serão analisadas referem-se à produção e utilização naquelas áreas dentro do critério metodológico da

pesquisa. Assim, por construção – ou seja, pela forma como as variáveis são definidas e/ou obtidas –, algumas são genuinamente exógenas em relação à variável dependente (produção), enquanto outras são endógenas e podem sofrer os efeitos da produção e dos fatores/insumos exógenos.

Nesta pesquisa, a quantidade de terra utilizada é definida basicamente em função da área da microrregião; trata-se evidentemente de uma variável exógena, fora do controle do tomador de decisão. Fenômeno parecido se dá com o fator trabalho, que será representado pela população economicamente ativa no meio rural. Por sua vez, insumos químicos (sementes, químicos etc.) são utilizados em função do tipo de lavoura plantada e da qualidade da terra, o que sugere exogeneidade relativamente ao comportamento econômico de maximização de lucro. Dessa forma, a quantidade de máquinas e equipamentos utilizada estaria sujeita à decisão dos produtores, tendo um tratamento diferenciado dos demais (terra, mão-de-obra e insumos).

Voltando à função de produção simplificada:

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta} \quad (14)$$

considerando r a remuneração do capital empregado K :

$$\begin{aligned} \pi = p_Y Y - rK - xI &\Rightarrow \frac{\partial \pi}{\partial K} = 0 \Rightarrow r = p_Y \cdot \frac{\partial Y}{\partial K} = p_Y \cdot \alpha \cdot AK^{\alpha-1}L^{\beta} = \\ &= p_Y \cdot \alpha \cdot \frac{AK^{\alpha}L^{\beta}}{K} = p_Y \cdot \alpha \cdot \frac{Y}{K} \Rightarrow K = \frac{p_Y \cdot \alpha \cdot Y}{r} \end{aligned} \quad (15)$$

com o que fica clara a relação funcional de Y para K , assim como a função de produção o faz de K para Y .

3 METODOLOGIA

3.1 A função de produção Cobb-Douglas e o modelo econômico

São três equações representando:

1ª equação – função de produção, relacionando o produto ao uso de fatores e insumos;

2ª equação – demanda por capital, relacionando o uso de capital à despesa com insumos, aos preços recebidos e ao volume produzido;

3ª equação – explicação para diferenças na despesa relativa de insumos variáveis no curto prazo.

Assim, a 1ª equação do modelo tem a forma seguinte fórmula:

$$VP^* = A \cdot F(L, K, M, T, esc8, rvp) = \hat{A} \cdot (L^{\hat{\beta}_1} \cdot K^{\hat{\beta}_2} \cdot M^{\hat{\beta}_3} \cdot T^{\hat{\beta}_4} \cdot e^{\hat{\phi} \cdot esc8 + \hat{\delta} \cdot rvp + erro}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln VP^* = \ln \hat{A} + \hat{\beta}_1 \ln L + \hat{\beta}_2 \ln K + \hat{\beta}_3 \ln M + \hat{\beta}_4 \ln T + \hat{\phi} \cdot esc8 + \hat{\delta} \cdot rvp + erro \quad (16)$$

Em que VP^* é o valor da produção; A é a tecnologia *Hicks-neutral* representando a PTF; L é trabalho; K é capital; M é a soma das despesas com adubos, corretivos e agrotóxicos (insumos químicos); e T é a área plantada. Além dessas variáveis, o modelo empírico acrescenta outras duas associadas ao capital humano do tomador de decisão. Uma delas relaciona-se ao seu grau de escolaridade – $esc8$ e outra ao seu provável grau de conhecimento dos mercados – rvp . Finalmente β_i , $i=1$ a 4 , ϕ e δ são constantes a serem estimadas. É testada empiricamente a possibilidade de que a soma das constantes β_i seja igual a 1, ou seja, de que a função de produção apresente retornos constantes à escala em termos dos fatores tradicionais (terra, capital, mão-de-obra e insumos).

A 2ª equação visa captar a demanda pelo fator capital sob a hipótese de que seja uma decisão tomada simultaneamente àquela relativa a quanto produzir. Sua formulação empírica é:

$$\ln K = \hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_1 \ln prrec + \hat{\phi}_2 \ln maqpsal + \hat{\phi}_3 \ln VP^* + erro \quad (17)$$

Em que *prrec* é o preço médio da unidade produzida e *maqpsal* é a razão de despesas com capital e salário do trabalhador. A variável que representa o preço médio numa microrregião – *prrec* é coerente com Mundlak e Hoch (1965).

A 3ª equação é inserida a fim de verificar o porquê das diferenças de despesas relativas com os fatores capital e trabalho:

$$\ln maqpsal = \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 cerrado + \hat{\gamma}_2 nne + \hat{\gamma}_3 mediaurb + \hat{\gamma}_4 \ln tammed + erro \quad (18)$$

Em que *cerrado* é variável binária para os estados da região Centro-Oeste, além de Tocantins e Minas Gerais; *nne* é variável binária para os estados da região Norte (exceção a Tocantins) e Nordeste; *mediaurb* é porcentagem das pessoas que não trabalham em agropecuária, extração vegetal ou pesca (variável utilizada como *proxy* para grau de urbanização); e *tammed* é o tamanho médio da plantação. Os resultados para as regiões Sul e Sudeste são obtidos para o caso em que ambas variáveis binárias citadas são iguais a zero; ou seja, a partir dos resultados da estimativa de $\ln maqpsal = \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_3 mediaurb + \hat{\gamma}_4 \ln tammed + erro$.

O modelo empírico sugerido, resumidamente, indica que a produção está condicionada a fatores produtivos e a variáveis exógenas de nível educacional e conhecimento do mercado. Entre os fatores, capital é uma variável endógena ao modelo (por motivos previamente explicitados), condicionada à decisão de maximização de lucro e minimização de custo (preços recebidos, custo relativo de remuneração de capital e mão-de-obra e valor esperado da produção). O custo relativo dos fatores flexíveis capital e mão-de-obra, por sua vez, está condicionado às regiões brasileiras (Norte e Nordeste), à proximidade urbana e à capacidade de capitalização do agricultor (representado pelo tamanho médio da propriedade). As relações do modelo empírico proposto são mostradas na Figura 1, em que os sinais (+) e (-) indicam respectivamente uma relação esperada positiva e negativa das variáveis explicativas com as variáveis dependentes.

Figura 1 – Representação ilustrativa do modelo empírico proposto

As variáveis consideradas no trabalho são apresentadas no Quadro 1.

Variável	Significado
VP^*	Valor da produção
A	Tecnologia <i>Hicks-neutral</i>
L	Trabalho
K	Capital
M	Insumos químicos
T	Área plantada
$esc8$	Nível educacional
rvp	Propensão à comercialização da produção
$prrec$	Preço médio da unidade produzida
$maqpsal$	<i>Proxy</i> para razão de despesa unitária com capital e trabalho
$cerrado$	Estados da região Centro-Oeste, além de Minas Gerais e Tocantins
nne	Estados das regiões Norte e Nordeste (exceto Tocantins)
$mediaurb$	Porcentagem das pessoas em atividades que não pecuária, extração vegetal e pesca
$tammed$	Tamanho médio da lavoura

Quadro 1 – Variáveis do modelo empírico

3.2 Esclarecimentos, variáveis e fontes dos dados

A variável *esc8* é considerada por Abramovitz (1986), Nelson e Phelps (1966), Romer (1990), e Helpman e Grossman (1991a, 1991b), com o objetivo de se a fim de captar a capacidade de aprendizado e aprimoramento produtivo. A variável *rvp*, por sua vez, deve analisar a propensão à comercialização da produção como nos desenvolvimentos teóricos de Kaldor e Mirrlees (1962), e Targetti e Foti (1997), que destacam o conhecimento do mercado pelo produtor.

Não é clara a metodologia do IBGE de apuração do valor da produção das diferentes culturas (do qual se obtém a variável *prrec* ao se dividir valor da produção pela respectiva quantidade produzida), principalmente considerando a produção para subsistência. O motivo de haver produção para subsistência entre as lavouras selecionadas faz com que se opte por chamar a variável *prrec* de “preço médio da unidade produzida” ou “preço médio da produção” ao invés de “preços médios recebidos pela produção”.

É importante ressaltar que, devido à limitação do Censo Agropecuário de 1995-1996, que não contempla o valor das instalações e outras benfeitorias, máquinas, instrumentos agrícolas e outros meios de transporte, presente nos trabalhos de Hoffmann, Jamas e Kassouf (1990) e Silva (1996), não houve possibilidade de reproduzir a função de produção empregada. Dessa forma, utilizou-se a quantidade de cavalo-vapor como *proxy* de capital físico. É comum a utilização de tratores como *proxy* para capital na agricultura (COELLI; RAO, 2003; BARROS, 1999). Acrescenta-se o fato de não haver outra informação disponível no Censo Agropecuário 1995-1996 que represente melhor o capital físico agrícola.

A suposição de que *maqpsal* bem represente a razão entre despesa média com aluguel por unidade de capital e despesa média com salário por trabalhador é razoável. A razão entre despesa com salários e números de trabalhadores (equivalente-homem) reflete de forma clara o custo unitário do salário médio na microrregião. A razão entre despesa com aluguel de máquinas agrícolas e quantidade de cavalo-vapor também tende a retratar a despesa média de aluguel com maquinário agrícola na microrregião. A utilização de uma razão para despesas em *maqpsal* pretende captar a decisão de

minimização da função custo e a utilização relativa de fatores para um determinado nível de produção⁶. Considerando-se a função de produção $x = K^\alpha L^\beta$, o problema de minimização de custo no curto prazo é (BINGER; HOFFMAN, 1998; MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995):

$$\bar{x}^{\frac{1}{\alpha+\beta}} \left(\frac{\alpha \cdot \bar{w}}{\beta \cdot \bar{r}} \right)^{\frac{\beta}{\alpha+\beta}} = K^* \quad (19)$$

$$\bar{x}^{\frac{1}{\alpha+\beta}} \left(\frac{\beta \cdot \bar{r}}{\alpha \cdot \bar{w}} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+\beta}} = L^* \quad (20)$$

Em que $\bar{w}$ é a remuneração para trabalho; $\bar{r}$ é a remuneração do capital; $\bar{x}$ é um determinado valor de produção; K^* é a alocação ótima de capital; L^* é a alocação ótima de mão-de-obra; e α, β são parâmetros da função de produção Cobb-Douglas apresentada.

A justificativa pela variável *mediaurb* se baseia em Fafchamps e Minten (2002), e Lucas (1990). A proximidade dos grandes centros urbanos tende a facilitar o acesso ao capital, reduzindo seu custo. Ao mesmo tempo, essa proximidade, ao gerar maiores alternativas de trabalho, tenderia a elevar o salário pago aos trabalhadores.

Por outro lado, a utilização da variável *tammed* supõe que produtores com maior patrimônio tenham acesso facilitado ao crédito, ou ainda, a crédito mais barato. Maior patrimônio também reflete a capacidade de investir do produtor.

Os dados foram obtidos principalmente do Censo Agropecuário de 1995-1996. As variáveis de nível educacional e grau de urbanização são dos Censos Demográficos de 1991 e 2000.

---

⁶ Huffman e Evenson (2000) fazem uso de uma variável similar.

3.3 Estimação da função de produção com fatores de produção endógenos: método de mínimos quadrados em três estágios

Optou-se pela utilização do método de mínimos quadrados em três estágios – MQ3E para estimar as equações estipuladas no modelo econômico. A escolha se justifica, primeiramente, pelo fato de o modelo empírico ser um sistema de equações simultâneas, em razão do que pode gerar correlação entre o capital físico e o erro da equação estimada da função de produção. Neste caso, estimações obtidas através dos métodos de MQ3E são teoricamente mais consistentes (JUDGE et al., 1988). Complementarmente, o método de MQ3E minimiza o problema de heteroscedasticidade dos erros (GREENE, 2003). A heteroscedasticidade é comum no caso de grandes variações de tamanho entre as unidades de observações (microrregiões).

Assim, sejam equações i do sistema no formato:

$$y_i = Y_i\gamma_i + X_i\beta_i + \varepsilon_i = \begin{bmatrix} Y_i & X_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_i \\ \beta_i \end{bmatrix} + \varepsilon_i = Z_i\delta_i + \varepsilon_i \quad (21)$$

Em que y_i é vetor para a variável endógena explicada i , Y_i é matriz de variáveis endógenas explicativas presentes na equação i do sistema; X_i matriz de variáveis exógenas presentes na equação i do sistema; e γ_i e β_i são vetores de parâmetros.

O primeiro estágio do método de MQ3E calcula o valor estimado das variáveis endógenas a partir da forma reduzida do sistema de equações em questão⁷ através do método de mínimos quadrados ordinários – MQO:

$$Y = X\Pi + u \Leftrightarrow \begin{bmatrix} y_i & Y_i & Y_i^* \end{bmatrix} = X\Pi + u \Rightarrow \hat{\Pi}_i = (X'X)^{-1}X'Y_i \Rightarrow \hat{Y}_i = X\hat{\Pi}_i \quad (22)$$

⁷ Supondo-se identificação do sistema; ou seja, que o número de variáveis exógenas seja ao menos igual ao de endógenas.

Em que Y_i^* é matriz de variáveis endógenas do sistema não presentes na equação i ; Π é matriz de parâmetros da forma reduzida; X é matriz com variáveis exógenas do sistema.

O segundo estágio consiste na estimação dos parâmetros de cada uma das equações do sistema no formato original também pelo método de MQO; no entanto, substituindo Y_i por $\hat{Y}_i$.

$$\begin{bmatrix} \tilde{\gamma}_i \\ \tilde{\beta}_i \end{bmatrix} = \tilde{\delta}_i = \begin{bmatrix} \hat{Y}_i' \hat{Y}_i & \hat{Y}_i' X_i \\ X_i' \hat{Y}_i & X_i' X_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \hat{Y}_i' \\ X_i' \end{bmatrix} y_i \quad (23)$$

Esse procedimento assintoticamente implica em não covariância entre as variáveis endógenas explicativas e o erro das equações que fazem parte no formato original (GRIFFITHS; HILL; JUDGE, 1993; INTRILIGATOR; BODKIN; HSIAO, 1996; JUDGE et al., 1988).

Judge et al. (1988) mostram a coerência da utilização da equação 23. Os autores argumentam que a pré-multiplicação de $y_i = Z_i \delta_i + \varepsilon_i$ por X' , obtendo-se $X' y_i = X' Z_i \delta_i + X' \varepsilon_i$, tende a evitar assintoticamente a correlação entre $X' \varepsilon_i$ e $X' Z_i$. Por outro lado, isso incorre em uma matriz de covariância $E(X' \varepsilon_i \varepsilon_i' X) = \sigma^2 X' X$ ⁸ não-escalar, ou seja, não equivale ao produto de uma constante e uma matriz identidade (JUDGE et al., 1988). Nesse sentido, é empregado o procedimento de mínimos quadrados generalizados, e a estimação de δ_i toma a forma:

---

⁸ Considerando que $(X' X)/T$ converge para um limite não-estocástico, pode-se substituir $(X' X)$ em lugar de $E[X' X]$.

$$\begin{aligned}
\tilde{\delta}_i &= \left[(X'Z_i)' (\sigma_{ii} X'X)^{-1} (X'Z_i) \right]^{-1} (X'Z_i)' (\sigma_{ii} X'X)^{-1} X'y_i = \\
&= \left[Z_i' X (X'X)^{-1} X'Z_i \right]^{-1} Z_i' X (X'X)^{-1} X'y_i = \\
&= \left[(Y_i' \quad X_i')' X (X'X)^{-1} X' (Y_i' \quad X_i') \right]^{-1} (Y_i' \quad X_i')' X (X'X)^{-1} X'y_i = \\
&= \begin{bmatrix} Y_i' X (X'X)^{-1} X'Y_i & Y_i' X (X'X)^{-1} X'X_i \\ X_i' X (X'X)^{-1} X'Y_i & X_i' X (X'X)^{-1} X'X_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_i' X (X'X)^{-1} X'y_i \\ X_i' X (X'X)^{-1} X'y_i \end{bmatrix} = \\
&= \begin{bmatrix} Y_i' X (X'X)^{-1} X'X (X'X)^{-1} X'Y_i & Y_i' X (X'X)^{-1} X'X_i \\ X_i' X (X'X)^{-1} X'Y_i & X_i' X (X'X)^{-1} X'X_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_i' X (X'X)^{-1} X'y_i \\ X_i' X (X'X)^{-1} X'y_i \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{24}$$

Sabendo-se ainda que da forma reduzida se obtém:

$$Y_i = X\Pi_i + u \Rightarrow \hat{\Pi}_i = (X'X)^{-1} X'Y_i \Rightarrow \hat{Y}_i = X\hat{\Pi}_i = X(X'X)^{-1} X'Y_i \tag{25}$$

E também sabendo que $(X'X)^{-1} X'X = I$, tem-se finalmente:

$$\tilde{\delta}_i = \begin{bmatrix} \hat{Y}_i' \hat{Y}_i & \hat{Y}_i' X_i \\ X_i' \hat{Y}_i & X_i' X_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \hat{Y}_i' \\ X_i' \end{bmatrix} y_i \tag{26}$$

O terceiro estágio da estimação incorpora a informação da matriz da covariância estimada Σ a partir dos erros das equações do sistema obtidos no segundo estágio. Em seguida, é empregado procedimento de mínimos quadrados generalizados para a totalidade do sistema de equações a fim de se estimar os parâmetros (AMEMIYA, 1985; INTRILIGATOR; BODKIN; HSIAO, 1996; JUDGE et al., 1988).

Zellner e Theil, 1962 apud Judge et al. (1988) mostram algebricamente a estimação através do método de MQ3E:

$$\begin{bmatrix} X'y_1 \\ X'y_2 \\ \vdots \\ X'y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'Z_1 & & & \\ & X'Z_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & X'Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X'e_1 \\ X'e_2 \\ \vdots \\ X'e_n \end{bmatrix} \tag{27}$$

Utilizando a notação do produto de Kronecker:

$$(I \otimes X')y = (I \otimes X')Z\delta + (I \otimes X')e \quad (28)$$

Os números em subscrito classificam vetores (δ, e, y) ou matrizes (Z) pelas equações do sistema das quais fazem parte.

Sabe-se que a matriz de covariância da equação 28 é:

$$\begin{aligned} E[(I \otimes X')ee'(I \otimes X)] &= E[(I \otimes X')E(ee')(I \otimes X)] = \\ &= E[(I \otimes X')(\Sigma \otimes I)(I \otimes X)] = \Sigma \otimes E[X'X] \end{aligned} \quad (29)$$

Portanto, a estimação dos parâmetros através do método de mínimos quadrados generalizados é mais eficiente, e estimação de δ toma a seguinte forma:

$$\begin{aligned} \delta^* &= \{Z'(I \otimes X')'[\Sigma^{-1} \otimes (X'X)^{-1}](I \otimes X')Z\}^{-1} \times Z'(I \otimes X')'[\Sigma^{-1} \otimes (X'X)^{-1}](I \otimes X')y = \\ &= \{Z'[\Sigma^{-1} \otimes X(X'X)^{-1}X']Z\}^{-1} Z'[\Sigma^{-1} \otimes X(X'X)^{-1}X']y \end{aligned} \quad (30)$$

A equação 30 é a estimação em MQ3E (INTRILIGATOR; BODKIN; HSIAO, 1996; JUDGE et al., 1988).

3.4 Dados: descrição

O índice de valor da produção – VP^* foi calculado de forma a evitar o efeito das diferenças de preços locais. Ou seja, o valor de produção do cultivo de uma das 14 culturas consideradas⁹ por microrregião foi dividido pela respectiva quantidade colhida (em toneladas, para a totalidade de culturas temporárias e maioria das permanentes; em mil cachos, no caso da banana, e mil frutos, no da laranja). Assim, obteve-se um preço por unidade colhida por microrregião. Em seguida, calculou-se uma média

⁹ Algodão herbáceo, arroz, banana, batata-inglesa, café, cana-de-açúcar, feijão, laranja, mandioca, milho, soja, sorgo, tomate e trigo, que representam 96,69% da quantidade produzida nacionalmente no ano de 2004 e aproximadamente 87,40% do valor da produção nacional (IBGE, 2005).

nacional não ponderada dos preços para cada uma das culturas, considerando o conjunto das regiões. Finalmente, multiplicou-se o preço médio da cultura em questão pela quantidade colhida em cada uma das microrregiões.¹⁰ A soma do valor de produção de cada uma das culturas por microrregião representa o valor de produção da microrregião sem o efeito dos preços, ao que se opta denominar de índice de valor da produção. Algebricamente:

$$p_{ij} = \frac{VP_{ij}}{q_{ij}} \quad (31)$$

Em que i é a cultura, permanente ou temporária; j é a microrregião; VP_{ij} é o valor da produção da cultura i na microrregião j (obtido do Censo); p_{ij} é o preço da cultura i na microrregião j ; e q_{ij} é quantidade da cultura i colhida na microrregião j .

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}}{n} \quad (32)$$

Em que n é número de microrregiões, do total de 558, com plantação da cultura i (foram descartadas aquelas sem plantação da cultura em questão); e p_i é preço médio da cultura i . Assim:

$$VP_{ij}^* = p_i \cdot q_{ij} \quad (33)$$

Em que VP_{ij}^* é o valor da produção da cultura i por microrregião j , obtido a partir do produto do preço médio p_i da cultura i e da quantidade q_{ij} da cultura i colhida na microrregião j .

---

¹⁰ A diferença entre considerar o preço médio de cada uma das três safras da batata-inglesa e de cada uma das três safras de feijão, ou considerar o preço médio respectivo para a soma das safras da batata-inglesa e de feijão é mínima no resultado final do valor da produção aqui calculado. Neste trabalho, optou-se por considerar a segunda opção, sem perda de qualidade do resultado final.

$$VP_j^* = \sum_{i=1}^k VP_{ij}^* \quad (34)$$

Em que VP_j^* é o índice de valor da produção obtido a partir da soma das $k \leq 14$ culturas colhidas na microrregião j .

Estima-se a quantidade de cavalo-vapor (CV) a fim de se obter uma *proxy* de K para cada uma das microrregiões. O Censo Agropecuário de 1995-1996 disponibiliza o número de tratores em cinco intervalos de potência em cv, que são: (a) menos de 10 CV; (b) de 10 a menos de 20 CV; (c) de 20 a menos de 50 CV; (d) de 50 a menos de 100 CV; (e) 100 CV e mais. O procedimento foi calcular o valor médio dos quatro intervalos fechados de potência do Censo (cujos valores são 5, 15, 35 e 75) e admitir que o “trator médio” de 150 CV represente o quinto intervalo, sem limite superior (100 CV e mais). Em seguida, foi feita a multiplicação do número de tratores pelo valor médio do intervalo de potência no qual se inserem. A quantidade de cavalo-vapor da microrregião foi obtida a partir da soma das respectivas multiplicações. Exemplificando, é mostrado o caso da microrregião do Amapá na Tabela 2.

Tabela 2 – Ilustração do cálculo de quantidade de cavalo-vapor (CV) por microrregião

		Tratores, por potência				
Intervalo	(do Censo Agropecuário 1995/1996)	Menos de 10 CV	De 10 CV a menos de 20 CV	De 20 CV a menos de 50 CV	De 50 CV a menos de 100 CV	100 CV e mais
(a)	Valor médio = média do respectivo intervalo	5	15	35	75	150
(b)	Quantidade de tratores (obtido do Censo)	9	4	5	1	1
(c)	Quantidade de CV na microrregião = (a) x (b)	45	60	175	75	150

Fonte: IBGE (1998)

Nota: Quantidade de CV na microrregião do Amapá (soma dos valores da linha (c)) = 505.

O cálculo da mão-de-obra – L , em equivalente-homem¹¹ a partir das informações do Censo seguiu metodologia de Silva e Kageyama, 1983 apud Hoffmann, Jamas e Kassouf (1990), cujo cálculo por microrregião é a soma dos resultados (i) a (iv):

- i. homem adulto, em qualquer situação: 1,0 EH;
- ii. membros não remunerados da família do responsável pelo estabelecimento:
  - a. mulher: 0,6 EH;
  - b. criança, menos de 14 anos, ambos sexos: 0,4 EH;
- iii. parceiros e outra condição:
  - a. mulher: 0,66 EH;
  - b. criança, menos de 14 anos, ambos sexos: 0,5 EH;
- iv. empregados permanentes ou temporários:
  - a. mulher: 1 EH;
  - b. criança, menos de 14 anos, ambos sexos: 0,5 EH.

As despesas com adubos, corretivos, e agrotóxicos, em Reais, representando insumos químicos – M foram obtidas diretamente do Censo. Houve agregação dos insumos em uma só variável, devido à forte colinearidade presente e com efeitos sobre a estimação (DOLL, 1974; STUDENMUND, 2000).

O nível educacional – $esc8$ utilizado foi baseado na porcentagem de pessoas com formação formal igual ou superior a 8 anos na microrregião. Foi considerado o levantamento do Censo Demográfico dos anos de 1991 e 2000, em que a média aritmética por microrregião foi empregada como estimativa para o ano-safra 1995-96, em conformidade com Hoffmann, Jamas e Kassouf (1990) e Silva (1996).

A razão entre receita total vegetal e valor da produção vegetal, representando conhecimento de mercado – rvp , foi obtida da razão das duas variáveis extraídas diretamente do Censo.

---

¹¹ Como consta em Hoffmann, Jamas e Kassouf (1990) e Silva (1996), equivalente-homem é a “mão-de-obra medida em unidades equivalentes ao trabalho anual de um homem adulto, incluindo estimativa de mão-de-obra contratada por empreitada”.

O preço médio da unidade produzida por microrregião – $prrec$ foi obtido a partir da razão entre a soma do valor da produção, em Reais, e da quantidade colhida, em toneladas. No caso da banana e da laranja, houve necessidade de conversão das unidades de mil cachos e mil frutos, apresentadas no Censo, para toneladas. Considerando-se na literatura¹², um cacho de banana pesa, em média, 20 kg, e uma laranja pesa, em média, 200 g. Na seqüência, foi feito o seguinte procedimento:

$$prrec_j = \frac{\sum_{i=1}^k VP_{ij}}{\sum_{i=1}^k q_{ij}} \quad (35)$$

Em que $prrec_j$ é o preço médio da unidade produzida na microrregião j ; VP_{ij} é o valor da produção da cultura i na microrregião j (obtido do Censo); q_{ij} é a quantidade, em toneladas, da produção da cultura i na microrregião j ; e $k \leq 14$ é o número de culturas plantadas na microrregião j .

No caso da razão entre a despesa com aluguel de máquinas por cavalo-vapor e a despesa com salário por equivalente-homem – $maqpsal$, as informações de despesas foram extraídas diretamente das tabelas do Censo Agropecuário; os procedimentos de compilação de cavalo-vapor e equivalente-homem foram previamente mostrados.

O grau de urbanização – $mediaurb$, medido pela porcentagem das pessoas com 10 anos ou mais ocupadas em atividades que não de agropecuária, de extração vegetal e pesca, foi obtido de forma similar à variável $esc8$. Calculou-se a média aritmética dos dados extraídos dos Censos Demográficos de 1991 e 2000 como *proxy* para o ano- safra 1995-1996, em concordância com Silva (1996).

O tamanho médio da propriedade – $tammed$ foi obtido a partir dos dados do Censo Agropecuário 1995-1996, em que consta tanto a área total destinada a lavouras permanentes e temporárias quanto o respectivo número de estabelecimentos produtores em determinada microrregião.

¹²Ver Fancelli (2003), Nascente, Costa e Costa (2002) e Nascente e Jesus (2004).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Estimativa da função de produção

Neste trabalho, foram utilizadas 434 microrregiões do total de 558 existentes nos Censos. Isso porque foram consideradas somente aquelas cuja área plantada com as culturas levantadas na pesquisa¹³ corresponde a pelo menos 60% da área total destinada às lavouras temporárias e permanentes. O procedimento é consequência de os fatores produtivos (terra, insumos químicos, mão-de-obra e capital) não serem discriminados por cultura, apenas por microrregião. Portanto, minimiza-se o risco de haver baixa produção com grande quantidade de insumos utilizados em lavoura não incluída na pesquisa de importância para microrregião. As microrregiões de Curimataú Oriental, Floraí, Itapecurum Mirim, Japurá, Litoral Sul (da Paraíba), Porto Franco e Rosário foram excluídas devido à alta discrepância de área plantada, consideravelmente maior que cultivável (o que sugere erro na coleta de dados).

Foi utilizado o método de MQ3E para um sistema de equações simultâneas (JUDGE et al., 1988) por se considerar que a decisão relativa a quanto produzir é paralela à decisão de quanto de capital físico deve se utilizar. Outro motivo é a necessidade de controlar a heteroscedasticidade dos erros, devido às unidades de observação (microrregiões) heterogêneas (GREENE, 2003). Aplicando-se o teste de Breusch-Pagan à variável $\ln K$ da função de produção proposta estimada através do método de MQO, os resultados foram $\chi^2 = 27,1927$ e $\text{valor} - p = 1,9 \cdot 10^{-7}$. O teste de White aplicado à mesma estimação teve como resultados $\chi^2 = 147,4428$ e $\text{valor} - p = 1,5 \cdot 10^{-18}$, o que reforça a hipótese de heteroscedasticidade dos erros.

Os resultados da estimativa obtida através do método de MQ3E são mostrados na Tabela 3. Os coeficientes indicam significância superior a 1% para todos os

---

¹³ Algodão herbáceo, arroz, banana, batata-inglesa, café, cana-de-açúcar, feijão, laranja, mandioca, milho, soja, sorgo, tomate e trigo. Vale lembrar que a seleção das principais culturas a nível nacional (para construção de um índice de valor da produção) bem representa a produção brasileira agregada, sendo importante a fim de controlar o efeito regional dos preços sobre o valor da produção obtido diretamente do Censo Agropecuário.

coeficientes estimados (exceção às constantes) e o R^2 das equações se mostra satisfatório. A primeira coluna indica que a função de produção teria a seguinte forma:

$$\hat{VP}^* = e^{5,381839} \cdot K^{0,2503811} \cdot L^{0,1392252} \cdot M^{0,1373107} \cdot T^{0,4857492} \cdot e^{1,88306 \cdot esc8 + 0,5013297 \cdot rvp} \quad (36)$$

semelhante à estimativa feita por Grego et al. (1998) para um conjunto de 60 países, entre os quais Argentina, Canadá, Chile, Colômbia, Estados Unidos, França, Índia, Reino Unido e Uruguai.

Foi mostrado que a elasticidade da produção de um insumo qualquer X_i (ε_{X_i}) numa função Cobb-Douglas no formato $Y = AX_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_n^{\beta_n} = A \prod_{i=1}^n X_i^{\beta_i}$ é $\varepsilon_{X_i} = (\partial Y/Y)/(\partial X_i/X_i) = \beta_i \Rightarrow (\partial Y/Y) = \beta_i (\partial X_i/X_i)$. Assim, em vista dos coeficientes estimados, variações percentuais da área plantada têm maior impacto na variação percentual da produção (da ordem de 0,49 da variação percentual da terra), com os demais insumos mantendo-se inalterados. O impacto da variação percentual do capital sobre a variação percentual da produção (da ordem de 0,25) também é relevante. As elasticidades da mão-de-obra e dos insumos químicos são da ordem de 0,14. Portanto, para o caso das principais lavouras nacionais, os fatores produtivos de destaque nas lavouras são terra e capital.

Para verificar se a função de produção estimada apresenta retornos constantes à escala nos fatores produtivos tradicionais, é feito o teste F para a hipótese nula de que a soma dos coeficientes estimados de mão-de-obra ($\hat{\beta}_1$), máquinas agrícolas ($\hat{\beta}_2$), insumos químicos ($\hat{\beta}_3$) e área utilizada ($\hat{\beta}_4$) é igual a 1. A soma dos coeficientes foi de 1,012666, sendo o valor do teste F igual a 0,07, e o seu nível de significância de 0,7951. Portanto, não se rejeita a hipótese nula de que a função de produção estimada é constante nos fatores produtivos. A não rejeição da hipótese nula garante que aumentos proporcionalmente iguais dos fatores (desconsiderando-se o efeito da PTF) resultam em aumentos da produção na mesma proporção.

A segunda coluna da Tabela 3 estima a decisão de maximização de lucro, ou seja, a de alocar o capital tendo em vista o preço do produto, a relação salário-aluguel de máquinas e o volume a ser produzido:

$$\ln K = -5,269964 + 0,2338912 \cdot \ln prrec - 0,3366134 \cdot \ln maqpsal + 0,8788664 \cdot \ln \hat{VP}^* + erro \quad (37)$$

O preço médio da unidade produzida – *prrec* tem efeito positivo e significativo sobre o aumento da alocação de capital – *K*. Esse resultado indica, mantidas constantes as demais variáveis explicativas da equação 37, que variações percentuais do capital respondem em cerca de 0,23 a variações percentuais do preço médio do produto. Por outro lado, um aumento no aluguel de máquinas relativamente ao custo do salário – *maqpsal* levaria a uma diminuição na sua utilização, ou seja, a variação percentual do capital é da ordem de -0,34 da variação percentual das despesas relativas. O impacto de um dado aumento percentual no volume produzido relaciona-se ao incremento percentual no uso de máquinas por um coeficiente da ordem 0,88.

A equação estimada na terceira coluna da Tabela 3:

$$\ln maqpsal = 0,7101378 + 0,5517825 \cdot cerrado + 1,657487 \cdot nne - 0,7924458 \cdot \ln tammed - 4,773195 \cdot mediaurb + erro \quad (38)$$

indica que as despesas relativas com máquinas e salários tendem a ser mais baixas para as maiores áreas dos estabelecimentos, ou seja, um aumento percentual de 10% no tamanho médio do estabelecimento associa-se a uma queda de 8% nas despesas relativas, favorecendo a mecanização. Propriedades localizadas nas regiões Norte e Nordeste têm despesa relativa capital-trabalho bem maior ($\hat{\gamma}_2 = 1,657487$) que no Sul e Sudeste do País. Em menor grau, a região do cerrado ($\hat{\gamma}_1 = 0,5517825$) também apresenta tal relação maior que no Sul e Sudeste. Finalmente, quanto ao grau de urbanização, nota-se uma expressiva queda no custo relativo das máquinas comparado ao salário, favorecendo a mecanização.

Tabela 3 – Modelo original

Variáveis	(1)	(2)	(3)
$\ln VP^{*a}$	-	0,8788664 *** (17,02)	-
$\ln K^b$	0,2503811 *** (3,23)	-	-
$\ln maqpsal^c$	-	-0,3366134 *** (-8,85)	-
constante	5,381839 *** (11,02)	-5,269964 *** (-6,75)	0,7101378 * (2,11)
$\ln L$	0,1392252 ** (2,47)	-	
$\ln M$	0,1373107 *** (3,11)	-	
$\ln T$	0,4857492 *** (8,56)	-	
<i>esc8</i>	1,88306 *** (3,18)	-	
<i>rvp</i>	0,5013297 *** (3,19)	-	
$\ln prrec$	-	0,2338912 *** (4,00)	
$\ln tammed$	-	-	-0,7924458 *** (-13,34)
<i>mediaurb</i>	-	-	-4,773195 *** (-10,69)
<i>nne</i>	-	-	1,657487 *** (12,53)
<i>cerrado</i>	-	-	0,5517825 *** (4,59)
R^2	0,7379	0,6643	0,7462

Nota: Os sobrescritos “a”, “b” e “c” indicam as variáveis dependentes das equações 1, 2 e 3 (na forma original do modelo empírico). *** indica 1% de significância; ** indica 5% de significância; * indica 10% de significância. Número de observações: 434.

4.2 Dotação de fatores produtivos e cálculo da PTF

Na Tabela 4, é apontada a dotação de insumos por estado i , com o intuito de verificar o efeito sobre a produção estimada. A metodologia empregada difere a área considerada na pesquisa da área total do estado¹⁴, o que faz com que estados com grande extensão territorial, como o do Amazonas e Minas Gerais, apresentem menor área em relação ao estado de São Paulo. Já os estados do Paraná (25% superior a São Paulo) e Rio Grande do Sul (16% superior) têm alta dotação de terra.

¹⁴ A metodologia considera somente microrregiões com utilização de pelo menos 60% da área de lavouras com as culturas levantadas, além de desconsiderar a pecuária.

Em relação à mão-de-obra, estes mesmos estados superam em 42% e 44% respectivamente, a de São Paulo; Minas Gerais também tem alta dotação de mão-de-obra (112% superior à de São Paulo). Capital e insumos químicos são intensivamente utilizados no estado de São Paulo e em menor grau, no Paraná e Rio Grande do Sul. Na coluna 5, estima-se o produto dos estados, considerando somente os fatores terra com lavouras, capital, mão-de-obra e insumos a partir de $\hat{Y}_i = e^{5,26762} \cdot K_i^{0,3380926} \cdot L_i^{0,1503637} \cdot M_i^{0,1222336} \cdot T_i^{0,425476}$ (cujos resultados estão na coluna 6). Os estados do Paraná e Rio Grande do Sul teriam maior produção devido à maior dotação de terra (com lavouras) e mão-de-obra do que São Paulo. O estado de Minas Gerais, por sua vez, teria uma produção 26% inferior à de São Paulo se dependesse apenas dos fatores tradicionais, em que pese possuir dotação de mão-de-obra substancialmente maior que São Paulo. Os demais estados em geral possuem menor dotação de fatores tradicionais e, só por isso, suas produções estimadas – $\hat{Y}_i$ ficam bem abaixo das de São Paulo.

Tabela 4 – Dotação de fatores produtivos e produto estimado

(continua)						
Estado	(1) $\frac{T_i}{T_{SP}} \cdot 100$	(2) $\frac{M_i}{M_{SP}} \cdot 100$	(3) $\frac{L_i}{L_{SP}} \cdot 100$	(4) $\frac{K_i}{K_{SP}} \cdot 100$	(5) $\hat{Y}_i$	(6) $\hat{Y}_i / \hat{Y}_{SP}$
AC	1,474	0,023	9,370	0,253	16.121.315,58	0,66
AL	12,377	5,868	44,542	1,895	199.375.837,83	8,13
AM	1,661	0,039	14,463	0,104	15.605.095,51	0,64
BA	37,369	13,706	163,461	7,802	654.474.357,75	26,68
CE	18,501	1,607	103,391	1,466	213.915.970,11	8,72
DF	1,235	2,123	1,775	1,076	31.374.813,55	1,28
ES	11,974	6,890	35,828	3,407	225.387.474,41	9,19
GO	43,744	30,786	50,896	29,387	935.489.644,63	38,13
MA	15,155	2,112	106,288	2,021	219.330.821,23	8,94
MG	72,819	58,526	212,198	48,369	1.808.714.278,47	73,73
MS	30,516	20,911	23,387	29,048	666.395.066,46	27,17
MT	59,925	38,583	34,542	27,310	1.045.904.968,73	42,64
PA	10,763	0,956	61,643	2,445	161.949.522,10	6,60
PB	11,295	1,577	45,928	1,362	147.213.566,52	6,00
PE	24,798	7,531	108,133	2,837	361.971.179,91	14,76
PI	11,880	0,900	65,202	1,257	143.778.044,85	5,86
PR	125,910	66,273	142,876	84,016	2.608.709.919,72	106,34

Tabela 4 – Dotação de fatores produtivos e produto estimado

(conclusão)						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Estado	$\frac{T_i}{T_{SP}} \cdot 100$	$\frac{M_i}{M_{SP}} \cdot 100$	$\frac{L_i}{L_{SP}} \cdot 100$	$\frac{K_i}{K_{SP}} \cdot 100$	$\hat{Y}_i$	$\hat{Y}_i / \hat{Y}_{SP}$
RJ	3,720	1,133	9,212	1,936	71.629.717,98	2,92
RN	5,543	1,182	24,685	0,863	81.940.322,66	3,34
RO	8,034	0,861	31,634	1,664	114.603.694,11	4,67
RR	0,295	0,008	1,346	0,048	3.204.659,92	0,13
RS	116,084	64,784	144,256	96,600	2.592.319.168,66	105,67
SC	30,571	26,099	75,448	27,221	796.312.442,70	32,46
SE	3,417	1,014	22,701	0,904	63.414.196,50	2,59
SP	100,000	100,000	100,000	100,000	2.453.118.257,14	100,00
TO	4,614	1,702	21,006	5,592	123.013.304,97	5,01

Similarmente, é feita na Tabela 5 análise comparativa do capital humano representado pelo nível de escolaridade – *esc8* e pelo conhecimento do mercado – *rvp*. Quanto à *esc8*, nota-se que o Distrito Federal (24% superior a São Paulo) e o estado do Rio de Janeiro (10% superior) têm destaque, ao passo que o *rvp* é alto no Alagoas (2% superior a SP), Distrito Federal (1%) e Mato Grosso (3%). Estimando-se o capital humano a partir da parte correspondente na função de produção ($\hat{CH}_i = e^{1,88306 \cdot esc8_i + 0,5013297 \cdot rvp_i}$), os destaques são Distrito Federal (17% superior a SP) e Rio de Janeiro (7% superior). Se plenamente utilizado no setor agrícola, o capital humano desses estados mais que triplicaria a produção resultante somente dos fatores produtivos tradicionais (calculados na Tabela 4).

Tabela 5 – Capital humano

(continua)						
Estado	<i>esc8_i</i>	<i>rvp_i</i>	$\frac{esc8_i}{esc8_{SP}} \cdot 100$	$\frac{rvp_i}{rvp_{SP}} \cdot 100$	$\hat{CH}_i$	$\frac{\hat{CH}_i}{\hat{CH}_{SP}} \cdot 100$
AC	0,198	0,284	56,879	31,277	1,675	55,096
AL	0,161	0,923	46,244	101,677	2,152	70,785
AM	0,222	0,271	63,677	29,851	1,741	57,240
BA	0,182	0,714	52,061	78,651	2,014	66,225
CE	0,194	0,533	55,749	58,661	1,884	61,948
DF	0,432	0,920	123,892	101,296	3,579	117,687
ES	0,282	0,491	80,755	54,089	2,174	71,505

Tabela 5 – Capital humano

(conclusão)

Estado	$esc8_i$	rvp_i	$\frac{esc8_i}{esc8_{SP}} \cdot 100$	$\frac{rvp_i}{rvp_{SP}} \cdot 100$	$\hat{CH}_i$	$\frac{\hat{CH}_i}{\hat{CH}_{SP}} \cdot 100$
GO	0,257	0,897	73,779	98,802	2,546	83,719
MA	0,157	0,508	45,013	55,910	1,734	57,011
MG	0,250	0,514	71,662	56,579	2,072	68,126
MS	0,252	0,887	72,329	97,687	2,509	82,505
MT	0,232	0,935	66,601	102,937	2,475	81,379
PA	0,195	0,429	55,974	47,300	1,791	58,913
PB	0,177	0,671	50,871	73,955	1,956	64,320
PE	0,216	0,837	61,953	92,220	2,286	75,175
PI	0,158	0,460	45,412	50,683	1,697	55,817
PR	0,290	0,857	83,106	94,418	2,653	87,250
RJ	0,385	0,904	110,215	99,614	3,246	106,754
RN	0,216	0,700	61,772	77,131	2,132	70,101
RO	0,193	0,656	55,194	72,238	1,997	65,658
RR	0,261	0,610	74,695	67,154	2,217	72,924
RS	0,303	0,745	86,711	82,063	2,568	84,455
SC	0,299	0,753	85,822	82,922	2,563	84,293
SE	0,193	0,631	55,396	69,548	1,975	64,945
SP	0,349	0,908	100,000	100,000	3,041	100,000
TO	0,178	0,503	50,922	55,436	1,798	59,140

A Tabela 6 mostra a produção estimada (coluna 1) a partir da equação 36, considerando os insumos tradicionais (terra, capital, mão-de-obra e insumos químicos) e o capital humano (escolaridade e conhecimento de mercado). Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo têm destaque, o que pode ser verificado na coluna 2. As colunas 3 e 4 têm função parecida, que é apresentar o desempenho da produção efetiva comparativamente à produção estimada. Na coluna 3, valores maiores que 100% indicam os estados com desempenho efetivo percentualmente superior, embora não explicado pelo modelo, ao esperado. Destacam-se os estados de Alagoas (produção observada 256,57% superior à estimada), Amazonas (332,72%) e São Paulo (111,83%). Na coluna 4, obtém-se a diferença, ou seja, a produção não explicada pelos insumos tradicionais e capital humano. O destaque positivo, melhor visualizado na coluna 5 (razão entre o resíduo do estado i – obtido na coluna 4 – relativamente ao estado de São Paulo), fica por conta de São Paulo; negativamente, aparecem os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Proporcionalmente à produção

observada, o resíduo é maior para os estados de Alagoas, Amazonas e São Paulo (coluna 6).

Tabela 6 – Produção não explicada (resíduo)

Estado	(1) $V\hat{P}_i^*$	(2) $\frac{V\hat{P}_i^*}{V\hat{P}_{SP}^*} \cdot 100$	(3) $\frac{(VP_i^* - V\hat{P}_i^*)}{V\hat{P}_i^*} \cdot 100$	(4) $e_i = VP_i^* - V\hat{P}_i^*$	(5) $\frac{e_i}{e_{SP}} \cdot 100$	(6) $\frac{e_i}{VP_i^*} \cdot 100$
AC	27.009.009,12	0,362	75,711	20.448.717,77	0,245	43,088
AL	429.145.457,96	5,753	256,569	1.101.053.378,64	13,200	71,955
AM	27.161.398,13	0,364	332,715	90.370.002,75	1,083	76,890
BA	1.317.964.713,55	17,668	-45,053	-593.785.390,39	-7,118	-81,994
CE	402.958.927,44	5,402	-23,735	-95.642.454,65	-1,147	-31,122
DF	112.278.794,99	1,505	-58,820	-66.041.898,44	-0,792	-142,834
ES	490.066.928,81	6,570	75,020	367.647.896,01	4,407	42,864
GO	2.381.490.355,16	31,926	-27,112	-645.660.623,02	-7,740	-37,196
MA	380.231.099,07	5,097	-14,191	-53.958.305,67	-0,647	-16,538
MG	3.746.904.745,28	50,230	0,532	19.915.025,89	0,239	0,529
MS	1.671.866.058,73	22,413	-31,223	-522.007.288,32	-6,258	-45,398
MT	2.588.186.690,36	34,697	-22,474	-581.659.947,99	-6,973	-28,988
PA	290.121.604,54	3,889	12,866	37.327.617,61	0,447	11,400
PB	287.925.965,49	3,860	-5,285	-15.217.147,78	-0,182	-5,580
PE	827.435.723,64	11,092	74,389	615.519.366,87	7,379	42,657
PI	244.031.635,93	3,271	-28,562	-69.700.962,09	-0,836	-39,982
PR	6.921.173.332,94	92,784	-28,816	-1.994.401.746,61	-23,909	-40,481
RJ	232.521.950,49	3,117	85,373	198.511.029,98	2,380	46,055
RN	174.666.540,37	2,342	29,416	51.379.745,68	0,616	22,730
RO	228.809.168,51	3,067	-19,750	-45.189.416,74	-0,542	-24,610
RR	7.106.291,76	0,095	18,945	1.346.318,02	0,016	15,928
RS	6.657.388.014,13	89,248	-52,211	-3.475.868.787,25	-41,669	-109,252
SC	2.041.087.589,01	27,362	-50,583	-1.032.438.784,03	-12,377	-102,359
SE	125.232.702,51	1,679	17,247	21.599.236,43	0,259	14,710
SP	7.459.451.086,98	100,000	111,825	8.341.528.353,63	100,000	52,791
TO	221.219.248,83	2,966	-51,858	-114.719.054,22	-1,375	-107,717

São mostrados nos gráficos que seguem a produção observada e estimada, e a contribuição parcial à produção dos insumos tradicionais e fatores de capital humano, além de outros não incluídos.

A Figura 2 mostra as produções observadas e estimadas pelo modelo proposto. A produção estimada de São Paulo é próxima da do Paraná e do Rio Grande do Sul; Minas Gerais e os estados do Centro-Oeste também têm destaque, embora menor. Observa-se no gráfico que o desempenho observado desses estados se diferencia do

dos demais pela maior dotação de fatores tradicionais, maior dotação de capital humano ou por outros fatores não considerados na pesquisa.

Figura 2 – Produção observada e estimada

Os gráficos a seguir analisam de forma mais detalhada a contribuição relativa dos fatores à produção. A Figura 3 destaca a contribuição dos fatores e insumos tradicionais (em azul) sobre a produção observada (partes em azul e vermelho) dos estados brasileiros e Distrito Federal. Neste gráfico, é possível verificar que os estados de Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo teriam produção estimada aproximada sem considerar o capital humano. As colunas em vermelho representam a produção observada não explicada (também denominada de resíduo) por esses fatores tradicionais. Isso indica que fatores exógenos, e não somente fatores ou insumos tradicionais, afetam a produção. Aqui, busca-se explicar o resíduo, ainda que parcialmente, através do capital humano (conhecimento de mercado e escolaridade) presente nos estados.

Figura 3 – Produção observada e contribuição relativa dos fatores tradicionais

A Figura 4 analisa o quanto da produção do estado é explicada também pelo conhecimento de mercado (na cor vinho), além dos fatores tradicionais. Destacam-se os estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. O Rio Grande do Sul, em particular, poderia ter uma produção ainda maior se utilizasse de forma mais eficiente o conhecimento de mercado existente. O fato de não fazê-lo é representado pelo resíduo negativo (em amarelo), que é a diferença entre a produção observada e a produção estimada, considerando fatores tradicionais e conhecimento de mercado.

Figura 4 – Produção observada e influências relativas dos insumos tradicionais e do conhecimento de mercado

Na Figura 5, além dos efeitos dos fatores tradicionais sobre a produção (em azul), é apresentado em vermelho o efeito do capital humano (escolaridade média e conhecimento de mercado), previamente apresentado na Tabela 5. Estimando-se a produção com base nestas variáveis, os estados do Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo teriam valores de produção próximos e de destaque no cenário nacional. No entanto, somente o estado de São Paulo utiliza o capital humano de forma eficiente na produção agrícola. As produções do Paraná e Rio Grande do Sul, por sua vez, poderiam ser maiores como pode ser visto a partir do resíduo negativo (em amarelo), obtido da diferença entre a produção observada e estimada. Outros estados também têm subutilização do capital humano, como é o caso da Bahia, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Nota-se também que o estado de São Paulo apresenta uma parcela considerável da PTF não explicada pela função de produção proposta, maior relativamente aos demais estados. Isso indica que outros aspectos, não incluídos no modelo, influenciam positivamente a produção do estado.

Figura 5 – Produção observada e influências relativas dos insumos tradicionais e do capital humano

Para melhor visualizar os resultados obtidos, apresenta-se na Tabela 7 a decomposição da produção estimada – $V\hat{P}_i^*$ em função dos fatores explicativos:

tradicionais – $\hat{Y}_i$ (coluna 1) e capital humano (colunas 2 e 3). Nota-se que São Paulo é o estado onde os fatores tradicionais têm a menor contribuição (apenas 33%) ao produto estimado. Paraná, Rio Grande do Sul e Distrito Federal estão em situação semelhante. Estados do Norte e Nordeste em geral estão em posição oposta: ainda contam em porção substancial com os fatores tradicionais para a produção de lavouras. A Figura 6 ilustra essas informações. Nas colunas 4 e 5 da Tabela 7 e na Figura 7 aparecem as contribuições relativas de cada componente do capital humano à produção estimada. Estados com maior produção nacional dependem percentualmente mais da escolaridade formal relativamente ao conhecimento do mercado.

Tabela 7 – Contribuição relativa de fatores tradicionais e capital humano

Estado	(1) $\hat{Y}_i / \hat{VP}_i^*$	(2) $rvp_i / \hat{VP}_i^*$	(3) $esc8_i / \hat{VP}_i^*$	(4) $rvp_i / \hat{CH}_i$	(5) $esc8_i / \hat{CH}_i$
AC	59,69	9,13	31,18	22,66	77,34
AL	46,46	27,34	26,20	51,06	48,94
AM	57,45	8,36	34,19	19,65	80,35
BA	49,66	21,37	28,97	42,45	57,55
CE	53,09	16,26	30,65	34,66	65,34
DF	27,94	16,38	55,68	22,73	77,27
ES	45,99	12,84	41,17	23,77	76,23
GO	39,28	22,31	38,41	36,74	63,26
MA	57,68	16,73	25,59	39,54	60,46
MG	48,27	14,19	37,54	27,43	72,57
MS	39,86	22,32	37,82	37,11	62,89
MT	40,41	24,16	35,42	40,55	59,45
PA	55,82	13,39	30,78	30,32	69,68
PB	51,13	20,45	28,43	41,84	58,16
PE	43,75	22,81	33,45	40,54	59,46
PI	58,92	15,28	25,80	37,20	62,80
PR	37,69	20,23	42,08	32,47	67,53
RJ	30,81	17,66	51,53	25,53	74,47
RN	46,91	19,72	33,37	37,15	62,85
RO	50,09	19,50	30,41	39,08	60,92
RR	45,10	16,13	38,77	29,38	70,62
RS	38,94	17,63	43,43	28,88	71,12
SC	39,01	17,89	43,09	29,34	70,66
SE	50,64	18,84	30,52	38,17	61,83
SP	32,89	18,96	48,16	28,25	71,75
TO	55,61	15,95	28,44	35,93	64,07

Figura 6 – Participação relativa dos fatores tradicionais e capital humano na produção estimada

Figura 7 – Contribuição de cada componente do capital humano para a produção de lavouras

5 CONCLUSÕES

A função de produção estimada por mínimos quadrados em três estágios – MQ3E para as lavouras brasileiras, por meio da análise de 434 microrregiões geográficas, teve importante valor estatístico quanto a retornos constantes para os fatores tradicionais (terra, mão-de-obra, insumos químicos e capital). As elasticidades da produção dos fatores terra (0,49) e capital (0,25) se mostraram maiores em relação às dos insumos químicos (0,14) e trabalho (0,14). Dentro do sistema de equações do modelo, a despesa relativa com aluguel de máquinas, em particular, indicou uma restrição à alocação produtiva mais eficiente devido à diferença de custos de produção, particularmente para as propriedades de menor porte localizadas nas regiões Norte e Nordeste.

Na estimativa da Produtividade Total dos Fatores – PTF, com base nos resultados da função de produção, destaca-se a importância do capital humano representado na forma de conhecimento de mercado e do nível de escolaridade formal. O nível de escolaridade, em particular, teve relevância superior na PTF. Estados com maior produção agrícola têm também grau de escolaridade mais elevado.

No cenário nacional, a produção se destaca os estados do Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo. No entanto, enquanto os dois primeiros estados não utilizam de forma eficiente o capital humano existente, São Paulo apresenta alta PTF sendo uma considerável proporção não explicada pelo modelo proposto.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVITZ, M. Catching up, forging ahead, and falling behind. **The Journal of Economic History**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 385-406, June 1986.

AGHION, P.; HOWITT, P. **Endogenous growth theory**. Cambridge: MIT Press, 1998. 694 p.

AMEMIYA, T. **Advanced econometrics**. Oxford: Blackwell, 1985. 521 p.

BARBOSA, F. **Microeconomia**: teoria, modelos econométricos e aplicações à economia brasileira. Rio de Janeiro: IPEA/INPES, 1985. 534 p.

BARRO, R. **Determinants of economic growth**: a cross-country empirical study. Cambridge: MIT Press, 1997. 145 p.

BARRO, R. Notes on growth accounting. **Journal of Economic Growth**, Boston, v. 4, n. 2, p. 119-137, June 1999.

BARRO, R.; SALA-I-MARTIN, X. Technological diffusion, convergence, and growth. **Journal of Economic Growth**, Boston, v. 2, n. 1, p. 1-26, Mar. 1997.

BARRO, R.; SALA-I-MARTIN, X. **Economic growth**. Cambridge: MIT Press, 2003. 601 p.

BARROS, A. **Capital, produtividade e crescimento da agricultura**: o Brasil de 1970 a 1995. 1999. 149 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BINGER, B.; HOFFMAN, E. **Microeconomics with calculus**. Cambridge: Addison-Wesley, 1998. 633 p.

COELLI, T.; RAO, P. Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 Countries. 1980-2000. **Agricultural Economics**, Reading, v. 32, n. 1, p. 115-134, Jan. 2005.

CREGO, A.; LARSON, D.; BUTZER, R.; MUNDLAK, Y. **A new database on investment and capital on agriculture and manufacturing**. Washington: The World Bank, 1998. 62 p. (Policy Research Working Paper, 2013).

DOLL, J. On exact multicollinearity and the estimation of the Cobb-Douglas production function. **American Journal of Agricultural Economics**, Ames, v. 56, n. 3, p. 556-563, Aug. 1974.

EASTERLY, W. **The elusive quest for growth**: economists' adventures and misadventures in the tropics. Cambridge: MIT Press, 2002. 356 p.

FAFCHAMPS, M.; MINTEN, B. Returns to social network capital among traders. **Oxford Economic Papers**, Oxford, v. 54, n. 2, p. 173-206, Apr. 2002.

FANCELLI, M. **Cultivo da banana para o estado do Amazonas**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaAmazonas/cultivares.htm>>. Acesso em: 12 out. 2006.

FERREIRA, F.; LANJOUW, P.; NERI, M. A robust poverty profile for Brazil using multiple data sources. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 1, p. 59-92, jan./mar. 2003.

GASQUES, J.; BASTOS, E.; BACCHI, M.; CONCEIÇÃO, J. Condicionantes da produtividade agrícola brasileira. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 13, n. 3, p. 73-90, jul./ago./set. 2004.

GASQUES, J.; CONCEIÇÃO, J. **Crescimento e produtividade da agricultura brasileira**. Brasília: IPEA, 1997. 28 p. (IPEA. Texto para Discussão, 502).

GREENE, W. **Econometric analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2003. 1056 p.

GRIFFITHS, W.; HILL, R.; JUDGE, G. **Learning and practicing econometrics**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 896 p.

GROSSMAN, G.; HELPMAN, E. **Innovation and growth in the global economy**. Cambridge: MIT Press, 1991. 375 p.

GROSSMAN, G.; HELPMAN, E. Endogenous product cycles. **The Economic Journal**, London, v. 101, n. 408, p. 1214-1229, Sep. 1991.

HOCH, I. Simultaneous equation bias in the context of the Cobb-Douglas production function. **Econometrica**, Menasha, v. 26, n. 4, p. 566-578, Oct. 1958.

HOFFMANN, R.; JAMAS, A.; KASSOUF, A. **Modernização e produtividade da agropecuária em 332 microrregiões do Brasil em 1975 e 1980**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. 146 p. Relatório de pesquisa.

HUFFMAN, W.; EVENSON, R. Structural and productivity change in US agriculture, 1950-1982. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 127-147, Jan. 2000.

INTRILIGATOR, M.; BODKIN, R.; HSIAO, C. **Econometric models, techniques and applications**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 654 p.

JONES, C. **Introduction to economic growth**. New York: W.W. Norton, 2002. 237 p.

JUDGE, G.; HILL, R.; GRIFFITHS, W.; LUTKEPOHL, H.; LEE, T. **Introduction to the theory and practice of econometrics**. New York: John Wiley, 1988. 1056 p.

KALDOR, N.; MIRRELES, J. A new model of economic growth. **Review of Economic Studies**, London, v. 29, n. 3, p. 174-192, June 1962.

LUCAS, R. Why doesn't capital flow from rich to poor countries? **American Economic Review**, Nashville, v. 80, n. 2, p. 92-96, May 1990.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M.; GREEN, J. **Microeconomic theory**. New York: Oxford University Press, 1995. 1008 p.

MOREIRA, A.; MIGON, H. **Heterogeneidade espacial da produtividade na agropecuária: Brasil – 1970/1996**. Rio de Janeiro, 2000. 30 p. (IPEA. Texto para Discussão, 707).

MUNDLAK, Y. **Agriculture and economic growth: theory and measurement**. Cambridge: Harvard University Press, 2000. 504 p.

MUNDLAK, Y.; HOCH, I. Consequences of alternative specifications in estimation of Cobb-Douglas production functions. **Econometrica**, Menasha, v. 33, n. 4, p. 814-828, Oct. 1965.

NASCENTE, A.; COSTA, J.; COSTA, R. **Cultivo da banana em Rondônia**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/CultivodaBananaRO/cultivares.htm>>. Acesso em: 12 out. 2006.

NASCENTE, A.; JESUS, A. **A cultura da laranja**: produção, colheita, pós-colheita. Disponível em: <<http://www.cpafrro.embrapa.br/embrapa/bases/frut/laranja/variedades.htm>>. Acesso em: 12 out. 2006.

NELSON, R.; PHELPS, E. Investment in humans, technological diffusion and economic growth. **American Economic Review**, Nashville, v. 56, n. 1/2, p. 69-75, Mar. 1966.

NERLOVE, M. **Estimation and identification of Cobb-Douglas production functions**. Chicago: Rand McNally and Co., 1965. 193 p.

NORTH, D. **Understanding the process of economic change**. New Jersey: Princeton University Press, 2005. 208 p.

PARENTE, S.; PRESCOTT, E. **Barriers to riches**. Cambridge: MIT Press, 2002. 184 p.

ROMER, P. Endogenous technological change. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 98, n. 5, p. 75-102, Oct. 1990.

SILVA, L. **Função de produção da agropecuária brasileira**: diferenças regionais e evolução no período 1975-1985. 1996. 157 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SOLOW, R. Technological change and the aggregate production function. **Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 39, n. 3, p. 312-320, Aug. 1957.

STUDENMUND, A. **Using econometric**: a practical guide. Boston: Addison-Wesley, 2000. 656 p.

TARGETTI, F.; FOTI, A. Growth and productivity: a model of cumulative growth and catching-up. **Cambridge Journal of Economics**, Cambridge, v. 21, n. 1, p. 27-43, Jan. 1997.