

**COMO MEDIR A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA: CONCEITOS, MÉTODOS E  
APLICAÇÕES NO CASO DE SÃO PAULO**

Gabriel L.S.P. da Silva  
Heron Carlos Esvael do Carmo

Governo do Estado de São Paulo  
Secretaria de Agricultura e Abastecimento  
Coordenadoria Sócio-Econômica

Instituto de Economia Agrícola



Governo do Estado de São Paulo  
Secretaria de Agricultura e Abastecimento  
Instituto de Economia Agrícola

ISSN 0101-5109  
Relatório de Pesquisa  
3/86

**COMO MEDIR A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA: CONCEITOS, MÉTODOS E APLICAÇÕES  
NO CASO DE SÃO PAULO**

Gabriel L.S.P. da Silva  
Heron Carlos Esvael do Carmo

São Paulo  
1986

# INDICE

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE.....	2
3 - NÚMEROS-ÍNDICES, MENSURAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E DO PROGRESSO TECNOLÓGICO.....	4
3.1 - Aproximação à Solução do Problema dos Números-Índices.....	5
3.2 - Considerações sobre a Teoria Econômica dos Números-Índices.....	8
3.3 - Mensuração de Produtividade e do Progresso Tecnológico.....	11
4 - RESULTADOS EMPÍRICOS.....	12
4.1 - Índices Agregados de Produção.....	13
4.2 - Índices Agregados de Uso de Fatores de Produção.....	15
4.3 - Índices de Produtividade Total.....	19
4.4 - Índices de Produtividades Parciais da Terra e do Trabalho.....	21
4.5 - Progresso Tecnológico na Agricultura Paulista.....	23
5 - CONCLUSÕES.....	26
LITERATURA CITADA.....	26
RESUMO.....	28
SUMMARY.....	29

COMO MEDIR A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA: CONCEITOS, MÉTODOS E APLICAÇÕES NO CASO DE SÃO PAULO

Gabriel Luiz Seraphico Peixoto da Silva <sup>(1)</sup>  
Heron Carlos Esvael do Carmo <sup>(2)</sup>

1 - INTRODUÇÃO

O tema focalizado neste trabalho apresenta maior interesse porque a análise dos processos de mudança na composição da produção, substituição de fatores e progresso tecnológico, experimentados pela agricultura brasileira, em consequência das profundas alterações em curso nos mercados de produtos e de fatores, com efeitos diretos sobre a produtividade agrícola, tem comandado crescente esforço dos economistas nos últimos anos.

No Brasil, por muito tempo a noção de produtividade agrícola manteve-se fortemente ligada à de produtividade da terra, isto é, ao rendimento das culturas. Mais recentemente, passou a ser também considerada a produtividade do trabalho. Não obstante, já há certo tempo alguns pesquisadores vêm chamando atenção para as limitações inerentes às medidas parciais de produtividade, tais como produto por área ou produto por trabalhador <sup>(3)</sup>.

VERA FQ & TOLLINI <sup>(22)</sup> apontaram o erro em que se pode incorrer ao comparar a produtividade da terra, ou do trabalho, entre países ou regiões. E, para contornar o inconveniente do uso de um único índice de produtividade parcial, sugeriram a utilização de um índice de produtividade total, ou pelo menos de índices parciais referentes às produtividades dos fatores de produção considerados mais importantes.

Também ALVES <sup>(2)</sup> defendeu o uso de um índice agregado como uma medda mais racional de produtividade. Ilustrando a desvantagem de um índice parcial, enfatizou o fato de que um acréscimo de rendimento indica que menos

---

<sup>(1)</sup> Pesquisador Científico do Instituto de Economia Agrícola e Professor da Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo.

<sup>(2)</sup> Professor da Faculdade de Economia e Administração da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo e Pesquisador da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas.

<sup>(3)</sup> A primeira tendência reflete-se em São Paulo <sup>(18)</sup>, a segunda aparece em PASTORE, ALVES & RIZZIERI <sup>(15)</sup> e a terceira surge em VERA FQ & TOLLINI <sup>(22)</sup>, por exemplo.

terra é necessário para a produção de uma unidade de produto, podendo, contudo, ocorrer que isto seja conseguido às custas de recursos dispendiosos para a economia. Em outras palavras, esse índice parcial poderia crescer e, simultaneamente, o índice agregado decrescer. ALVES (2) reconheceu, entretanto, a dificuldade de se calcular índices de produtividade total, por demandarem séries históricas não disponíveis no Brasil.

SILVA (19) também discutiu as limitações e vantagens dos dois tipos de índices, procurou superar a deficiência de dados e realizou investigação empírica utilizando um índice de produtividade total para medir o progresso tecnológico na agricultura paulista.

O presente trabalho trata inicialmente de aspectos conceituais, discute em seguida problemas relacionados à mensuração, com ênfase na moderna teoria econômica dos números-índices, e calcula diversos índices de produtividade parcial e total para o setor agrícola do Estado de São Paulo, no período 1956-80. Algumas comparações entre esses índices, envolvendo também índices semelhantes calculados para outros países, visando melhor avaliar o progresso tecnológico experimentado pela agricultura paulista, fecham o trabalho.

## 2 - CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE

O conjunto de todos os processos de produção, de todas as técnicas conhecidas, para obtenção de um conjunto de produtos, caracteriza uma tecnologia. Eliminados os processos tecnicamente ineficientes, a representação analítica do subconjunto resultante corresponde ao familiar conceito de função de produção, em que cada um dos pontos representa uma particular combinação de um conjunto de "inputs" que conduz à obtenção de um determinado conjunto de "outputs". Pode-se imaginar que descreva, por exemplo, os processos pelos quais produtos agrícolas são obtidos, utilizando-se terra, trabalho, capital, fertilizantes, defensivos, etc.

Admita-se a função de produção  $Y^{**} = f(X_1, X_2)$ , e seja  $P_{X_2}/P_{X_1} = \alpha$  a relação entre os preços dos fatores. Nesse caso, para a obtenção de uma dada quantidade  $Y_0$  de "output", a técnica que minimiza custos é a que combina as menores quantidades de "inputs" que permitem produzir aquele "output", designadas por  $X_1^A$  e  $X_2^A$ . Porém, se  $P_{X_2}/P_{X_1} = \beta$ , então a produção da mesma quantidade  $Y_0$ , mantida a hipótese de minimização de custos, implica alteração das quantidades de "inputs" para  $X_1^B$  e  $X_2^B$  (figura 1).

Pode-se agora focalizar o conceito de produtividade parcial. Como o nome sugere, trata-se da relação entre a quantidade de "output", resultan

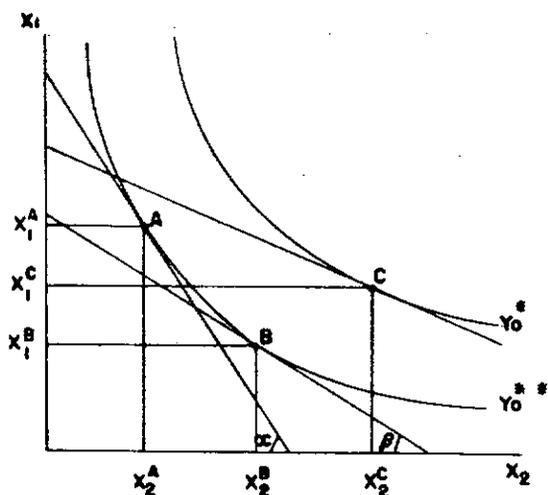


FIGURA 1. - Representação dos conceitos de técnica, tecnologia, combinação economicamente ótima de fatores de produção, produtividade, efeito escala e progresso tecnológico.

te do emprego de quantidades determinadas de "inputs", e a quantidade utilizada de um particular "input". É possível, portanto, definir duas produtividades parciais,  $PP_{X_1} = Y/X_1$  e  $PP_{X_2} = Y/X_2$ , no exemplo examinado.

Examinando essas produtividades com o exposto acima, sobre a determinação de  $X_1$  e  $X_2$ , infere-se que elas variam com a relação de preços  $P_{X_2}/P_{X_1}$ . Realça-se esse fato trivial, com o intuito de mostrar quão impróprio é o uso, não obstante muito freqüente, de medidas parciais de produtividade, como indicadores de progresso tecnológico. Na situação em exame, a produtividade de parcial de  $X_1$  crescerá de  $PP_{X_1} = Y_0/X_1^A$  para  $PP_{X_1} = Y_0/X_1^B$  como encarecimento de  $X_1$  em termos de  $X_2$ . E isso ocorrerá com a função de produção estável, vale dizer, na ausência de progresso tecnológico.

Cumprе observar que além de mudanças nos preços relativos de fatores, características técnicas dos processos de produção também podem induzir variações de produtividade independentes do progresso tecnológico. É o caso da presença de economia de escala, que resultará em poupança de  $X_1$  e  $X_2$  para a produção de uma unidade de  $Y$ , quando se expandir a quantidade produzida. Tal poupança poderá ser proporcional ou não, dependendo da homoteticidade da função de produção, e conduzirá a variações das produtividades parciais, bem como da produtividade total. O efeito escala pode ser visualizado na figura 1,

admitindo-se que, dada a tecnologia, nesse caso indicada pelo subscrito zero,  $Y_0^{**}$  represente um nível de produto superior a  $Y_0^*$ .

O conceito de produtividade total é análogo ao de produtividade parcial <sup>(4)</sup>. Ele refere-se à relação entre a quantidade de "output" obtido e as quantidades de "inputs" combinados no processo de produção. E, por esse motivo, constitui, como já se frisou, medida mais apropriada de progresso tecnológico.

No caso em exame, ela seria expressa pela relação  $PT = Y / (W_1 X_1 + W_2 X_2)$ ,  $W_1$  e  $W_2$  representando pesos apropriados, dados pelas participações dos fatores. Para que os ganhos de produtividade sejam corretamente medidos, é necessário levar em conta o efeito da substituição de fatores, e por essa razão as ponderações devem ser reajustadas continuamente. Como isso na prática é impossível, a solução recomendada é alterar os pesos  $W_1$  e  $W_2$  freqüentemente, a curtos intervalos de tempo <sup>(5)</sup>.

Para concluir esta breve revisão, resta examinar o conceito de progresso tecnológico, em conexão com os de produtividade. Progresso tecnológico significa desenvolvimento de novos processos de produção, tecnicamente mais eficientes, e pode ser representado pelo deslocamento da isoquanta correspondente ao "output"  $Y_0$ , da posição  $Y_0^*$  para a posição  $Y_0^{**}$  (figura 1).

Progresso tecnológico resulta, pois, na produção do mesmo "output" a partir de quantidade menor de "input agregado", o que implica aumento da produtividade total. Quanto às produtividades parciais, poderão crescer as de todos os fatores, ou crescer as de alguns e diminuir as de outros.

Dependendo do deslocamento da função de produção, que pode ou não ser paralelo, as variações de produtividades parciais serão proporcionais ou diferenciadas, o que mais uma vez mostra a inconveniência de seu uso para avaliar o progresso tecnológico.

### 3 - NÚMEROS-ÍNDICES, MENSURAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E DO PROGRESSO TECNOLÓGICO

Na literatura econômica, a forma usual de medir a produtividade total envolve o quociente entre dois índices de quantidade: um de produção, a partir de informações sobre quantidade produzida e preços de cada produto, em cada período de tempo; e outro de uso de fatores, a partir de dados sobre a quantidade empregada e o preço de cada fator de produção, em cada período de tempo. Para a mensuração de produtividade parcial, quando se considera mais

<sup>(4)</sup> Para uma apresentação detalhada sobre conceito e medida de produtividade total e questões correlatas recomenda-se a excelente revisão feita por NADIRI (14).

<sup>(5)</sup> Pode-se deduzir que os pesos apropriados são as participações dos fatores, admitindo-se que a função de produção seja homogênea de grau 1 e que os lucros sejam maximizados. Ver SILVA (20).

de uma atividade, também se utiliza o quociente de um índice de quantidade por um índice de uso do fator selecionado.

Isto produz o problema econométrico conhecido na literatura como "problema dos números-índices", que estabelece que há uma solução única para determinar o número-índice de um agregado de quantidades, como é o caso em questão, ou de preços, como é o caso dos indicadores de inflação.

Além disso, quando o agregado que se visa medir passa por alterações estruturais mais sensíveis, é de se esperar que os resultados obtidos com a aplicação das várias fórmulas apresentem maior variabilidade, o que realça a questão da escolha da fórmula. Apesar disto, percebe-se nas instituições que calculam números-índices um apego frequentemente injustificado a fórmulas mais tradicionais de cômputo, como a de Laspeyres, mesmo quando se dispõe de dados que permitem a aplicação de enfoques mais adequados, como sucede no caso dos indicadores agrícolas <sup>(6)</sup>.

Em vista disto, far-se-á breve apresentação de algumas fórmulas de interesse, tendo como referencial o conceito teórico de números-índices; nessa parte serão portanto focalizadas suas propriedades matemáticas. Em uma segunda parte apresentar-se-á sucintamente o que se conhece como teoria econômica dos números-índices. Esta teoria parte da análise econômica, mais propriamente das funções agregativas relevantes para cada aplicação, por exemplo, função produção, função transformação, função custo, para a partir da especificação dessas funções obter as fórmulas de índices aplicáveis a cada caso.

### 3.1 - Aproximação à Solução do Problema dos Números-Índices

FISHER (12), em seu texto clássico, "The Making of Index Numbers", relata mais de 1.000 fórmulas (aproximações à solução do "problema dos números-índices"), mas na prática apenas algumas delas têm sido utilizadas com mais freqüência, quer em trabalhos acadêmicos, quer por instituições responsáveis pelo cálculo sistemático de indicadores. Entre elas, julga-se de maior interesse, para os propósitos deste trabalho, as de Laspeyres, Paasche, Fisher e Tornqvist. Estas fórmulas, para a situação mais simples de aplicação - base fixa de ponderação e base fixa de cálculo - são apresentadas a seguir, para índices de quantidade, entre dois períodos de tempo (para preços as fórmulas são similares):

(6) Em particular, esse comentário é válido para o Instituto de Economia Agrícola. Confira em SÃO PAULO (18) e PROGNÓSTICO (16).

a) Laspeyres

$$LQ_{0,t} = \frac{\sum_{i=1}^n p_0^i \cdot q_t^i}{\sum_{i=1}^n p_0^i \cdot q_0^i} = \sum_{i=1}^n \frac{q_t^i}{q_0^i} \cdot w_0^i$$

b) Paasche

$$PQ_{0,t} = \frac{\sum_{i=1}^n p_t^i \cdot q_t^i}{\sum_{i=1}^n p_t^i \cdot q_0^i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{q_0^i}{q_t^i} \cdot w_t^i}$$

c) Fisher

$$FQ_{0,t} = (LQ_{0,t} \cdot PQ_{0,t})^{1/2}$$

d) Törnqvist

$$TQ_{0,t} = \prod_{i=1}^n \left( \frac{q_t^i}{q_0^i} \right)^{\frac{w_0^i + w_t^i}{2}}$$

Nestas fórmulas, a letra inicial, L, P, F ou T identifica o Índice e a letra Q indica que ele refere-se a quantidades. Os demais símbolos têm os seguintes significados:

$p_t^i$  = preço do item i, no período t

$p_0^i$  = preço do item i, no período 0

$q_t^i$  = quantidade do item i, no período t

$q_0^i$  = quantidade do item i, no período 0

$$w_0^i = \frac{p_0^i \cdot q_0^i}{\sum_{i=1}^n p_0^i \cdot q_0^i} = \text{participação do item } i, \text{ na relação orçamentária do período } 0$$

$$w_t^i = \frac{p_t^i \cdot q_t^i}{\sum_{i=1}^n p_t^i \cdot q_t^i} = \text{participação do item } i, \text{ na relação orçamentária do período } t$$

No tocante à sua operacionalização, as fórmulas podem ser distinguidas quanto à sua base de ponderação (fixa ou móvel) e à base de cálculo (fixa ou móvel). A base de ponderação é em geral referida a um período, onde foram obtidas, ou tomadas implicitamente, as participações de cada componente em uma relação orçamentária, por exemplo custo de produção, valor da produção, etc. Nesse sentido a fórmula de Laspeyres, tal como apresentada, seria de base fixa de ponderação, uma vez que a cada novo período acrescentado à série os pesos são mantidos no período base. O contrário ocorre para as outras fórmulas. A base de cálculo é referida ao período com base no qual são calculados os relativos (de quantidades, no caso); em uma série, em geral é o período anterior ao de referência. Nesse sentido, todas as quatro fórmulas têm base de cálculo fixa.

Quando índices são calculados para um período mais longo, onde são naturais alterações mais acentuadas na estrutura econômica, a utilização de índices de base fixa pode levar a vieses significativos. Para reduzi-los, as séries são montadas por um processo de encadeamento com a atualização periódica da base de cálculo e, desde que se disponha de dados, também da base de ponderação.

Tradicionalmente a avaliação da qualidade das diferentes fórmulas de números-índices tem sido feita com base em critérios lógicos definidos por FISHER (12) em seu texto clássico. Alguns critérios, considerados mais importantes, são apresentados a seguir, tomando por referência um número-índice de quantidade (7):

T 1. Teste de Proporcionalidade: se todas as quantidades variam na mesma proporção, o índice correspondente também deve variar exatamente nessa proporção;

---

(7) Para uma discussão dos testes de Fisher recomenda-se SWAMY (21).

- T 2. Teste de Decomposição das Causas: o produto de um índice de quantidade por um índice de preço deve ser igual ao índice de valor;
- T 3. Teste de Comensurabilidade: um número-índice deve ser independente das unidades de medida;
- T 4. Teste de Reversão Temporal: o produto de um número-índice de quantidade do ano 0 em relação ao ano t pelo número-índice do ano t em relação ao ano 0 deve ser igual à unidade;
- T 5. Teste de Circularidade: um número-índice deve ser independente da escolha de um terceiro ponto no tempo, ou seja, deve ser decomposto por um produto de dois índices similares onde a base de um deles é o período corrente do outro. Por exemplo  $I_{0,2} = I_{0,1} \cdot I_{1,2}$

Nenhuma fórmula atende a todos os critérios lógicos definidos por FISHER (12). De fato, as fórmulas de Laspeyres e Paasche não atendem aos testes T2, T4 e T5. A fórmula de FISHER (12) não satisfaz apenas T5. No entanto, práticas como o uso de encadeamento e de índices implícitos (por exemplo deflatores implícitos) permitem contornar o não atendimento a alguns desses critérios, como o de circularidade e o de decomposição das causas.

### 3.2 - Considerações sobre a Teoria Econômica dos Números-Índices

É evidente que, de um ponto de vista econômico, não basta analisar os números-índices quanto à sua habilidade em satisfazer os testes discutidos acima. Como já salientamos, é essencial investigar sua compatibilidade com aspectos essenciais da análise econômica.

Nesse sentido, é importante destacar a contribuição de DIVISIA (10), que é a base teórica em que se assenta o desenvolvimento recente da teoria econômica dos números-índices (8). As limitações da utilização de índices de base fixa, que não permitem acompanhar as mudanças que estão sempre ocorrendo na estrutura econômica, despertaram o interesse para o conceito de índice de DIVISIA (10).

Em sua aproximação para a solução do "problema dos números-índices", DIVISIA (10) partiu do critério de decomposição das causas e da hipótese de que alterações na estrutura econômica ocorrem continuamente no tempo, para determinar sua fórmula, definida no tempo contínuo pela integral:

(8) Na literatura econômica brasileira discussões sobre propriedades dos "índices de Divisia" são encontradas em CARVALHO (6), BRANCO (4) e BRANDÃO (5).

$$I_{0,t} = \exp \left( \int \left( \sum_{i=1}^n w_i^j(t) \cdot \frac{q_i^j(t)}{q_i^j(t)} \right) dt \right)$$

$$\text{onde } w_i^j(t) = \frac{p_i^j(t) \cdot q_i^j(t)}{\sum p_i^j(t) \cdot q_i^j(t)}$$

Na expressão acima, nota-se que o Índice de Divisia pode ser entendido como uma média ponderada das taxas de variação de cada componente do agregado, onde os pesos correspondem à participação de cada um no agregado.

No conceito de DIVISIA (10) o sistema de ponderação deve ser ajustado continuamente no tempo. Assim, quaisquer das fórmulas apresentadas, desde que calculadas com um encadeamento a pequenos intervalos de tempo, com base móvel de ponderação, constituem-se em aproximações discretas à integral de Divisia. Uma consequência deste fato é que só em situações muito especiais se justificaria o emprego de números-índices de base fixa, ou mesmo de sistemas de cálculo de índices em que a estrutura de ponderação é alterada a intervalos maiores de tempo. Outro aspecto a observar é que, para setores muito dinâmicos ou sujeitos a sensíveis flutuações ao longo do tempo, como é o caso do setor agrícola, onde ocorrem entre dois períodos significativas mudanças nos preços relativos de produtos e fatores, e alterações por vezes abruptas de quantidades, associadas a variações climáticas e mesmo a choques tecnológicos, é necessária uma atualização mais freqüente da base de ponderação. Estas observações se aplicam a qualquer das fórmulas apresentadas, de maneira que ainda permanece o problema de que fórmula utilizar em cada caso.

Recentemente, como já se mencionou, tem merecido destaque na literatura o estudo das relações entre especificações funcionais a partir de suas posições geralmente admitidas pela análise econômica e fórmulas de números-índices (9). Sob este enfoque um índice é dito "exato" quando é consistente com uma particular forma agregativa.

É interessante iniciar a discussão dessa questão a partir do índice de Laspeyres. O uso desse índice provavelmente generalizou-se não só pela facilidade de uso, mas também de interpretação. A esse respeito, e no caso de sua aplicação à análise da produção, como os preços são mantidos constantes no período base, o índice Laspeyres de quantidade, de produtos ou de fatores claramente indica a mudança do agregado resultante de alterações apenas nas quantidades dos componentes.

Mas qual a efetiva compatibilidade entre a teoria da produção e o

(9) Entre os mais relevantes sobre o assunto recomenda-se SAMUELSON & SWAMY (17) e DIEWERT (8).

Índice Laspeyres de quantidade? Descobriu-se que ele é exato para uma função de produção linear, que como se sabe caracteriza-se pela suposição de que todos os fatores são substitutos perfeitos no processo de produção. Isso implica que um aumento no preço relativo de um fator fará com que ele simplesmente deixe de ser usado. Dito de outra forma, o uso de todos os fatores, no período base e no período de comparação, supõe preços relativos inalterados (CHRISTENSEN 7).

Conquanto nenhum economista defenda o uso de uma função de produção linear como uma boa aproximação do mundo real, muitos tomam, entretanto, essa posição, embora implicitamente, ao usarem índices Laspeyres de quantidade para agregar produtos e fatores e para calcular produtividades. Estas considerações aplicam-se igualmente ao índice Paashe de quantidade que, à semelhança do índice Laspeyres, também é exato para uma função linear (SAMUELSON & SWAMY 17).

A busca de fórmulas exatas ou que se constituam em aproximações para diferentes formas funcionais agregativas tem sido objeto da atenção de vários economistas. Em particular, DIEWERT (8) desenvolveu alguns conceitos relevantes para tratar esta questão, como os de forma funcional "flexível" e de fórmula de número-índice "superlativa".

Uma forma funcional agregativa é flexível se possibilita uma aproximação, até segunda ordem, de uma função linear homogênea arbitrária, que possua derivadas primeira e segunda. Uma fórmula de números-índice é superlativa se é exata (isto é, consistente) para uma forma funcional agregativa flexível. Importante implicação econômica da descoberta de fórmulas superlativas é que, por serem compatíveis com funções de produção (ou utilidade) com diferentes possibilidades de substituição entre fatores (ou bens), tende a modificar-se a concepção bastante difundida de que o uso de números-índice tem como limitação o fato de serem consistentes apenas com especificações funcionais consideradas muito restritivas.

DIEWERT (8) provou que o índice de Törnqvist é exato para uma função agregativa translog homogênea. E, como essa função se aproxima, a segunda ordem, de uma função linear homogênea arbitrária, concluiu que a fórmula de Törnqvist é superlativa. De maneira análoga o mesmo autor mostrou que a função agregativa quadrática de ordem  $r$  homogênea é uma forma flexível e que o índice de Fischer é exato e superlativo para essa especificação quando  $r=2$ .

A função translog e a função quadrática não exigem que os fatores sejam substitutos perfeitos e, assim, se o preço relativo de um fator aumentar, o produtor reduzirá seu uso até que todas as produtividades marginais tornem-se proporcionais aos novos preços, como estabelece a teoria da produção. Correspondentemente, nas fórmulas dos índices de Törnqvist e de Fisher,

os preços não são considerados apenas no período base, como sucede nos índices de Laspeyres e de Paasche, mas são computados no período base e também no período de comparação, representando as produtividades marginais em ambos os períodos.

Tem sido descoberto um número crescente de fórmulas exatas correspondentes a formas agregativas flexíveis. E estas fórmulas, chamadas de superlativas por DIEWERT (8), têm como característica o fato de aproximarem-se entre si, até a segunda ordem, o que limita a amplitude de variação entre aplicações empíricas de fórmulas alternativas. Além disso, este grau de aproximação se mantém mesmo para funções agregativas não homotéticas, como mostrou DIEWERT (9).

Em síntese, por todos os argumentos apresentados, justifica-se a utilização dos índices superlativos.

### 3.3 - Mensuração de Produtividade e do Progresso Tecnológico

Para aplicações na área agrícola, em particular para o cálculo de produtividades, CHRISTENSEN (7) recomenda a utilização das fórmulas superlativas de Fischer e Törnqvist, orientação que será adotada neste trabalho. No entanto, como freqüentemente são mais utilizadas as fórmulas de Laspeyres e Paasche, principalmente a primeira, julgou-se de interesse compará-las, quanto a resultados, com as já citadas Fisher e Törnqvist.

Um dos desdobramentos da utilização de números-índices para medir a produtividade é a utilização do mesmo instrumental econométrico para estimar o progresso técnico. Com efeito, o coeficiente de progresso técnico poderia ser estimado através da variação da produtividade total entre dois períodos de tempo, conforme a expressão:

$$(1 + \Pi) = \frac{IQP}{IQF}, \text{ onde}$$

$\Pi$  = Taxa de progresso técnico;

IQP = Número-índice de quantidades de produtos obtidos;

IQF = Número-índice de quantidades de fatores utilizados; e

IQP/IQF = Número-índice de produtividade total.

Entre os estudos mais citados nessa linha metodológica está o de JORGENSON & GRILICHES (13), que se baseou na fórmula de Törnqvist. Esquema análogo tem sido adotado por outros autores, com o emprego da fórmula de Laspeyres - a de aplicação mais tradicional - e de várias outras fórmulas de números-índices. Inclusive, apesar de não ser de uso freqüente, pode-se pen

sar na utilização de diferentes fórmulas para o numerador e o denominador da expressão de cálculo do coeficiente do progresso técnico.

Evidentemente, pelas razões já discutidas nos tópicos anteriores, a qualidade de qualquer medida empírica de produtividade e progresso técnico, a partir da utilização de números-índices, será tanto mais precisa quanto mais freqüente a atualização da base de ponderação e mais aderente a fórmula usada à função de produção real. Além disso, como apontam DIEWERT (8) e CHRISTENSEN (7), há uma série de restrições teóricas que devem ser atendidas para que a estimação do progresso técnico da forma proposta seja válida. Contudo, tais restrições não invalidam o método, apenas qualificam os resultados obtidos.

Alguns comentários adicionais sobre fatores que podem perturbar a mensuração do progresso tecnológico através de índices de produtividade total são necessários, antes de se passar à parte empírica do trabalho. Entre eles, ressalta-se os efeitos de economias e deseconomias de escala, que serão refletidos nos índices de produtividade, podendo levar a uma superestimação ou subestimação do coeficiente de progresso técnico. De outra parte, a não consideração de alterações de qualidade dos produtos e dos fatores poderão ter efeitos semelhantes. Em particular, uma melhoria da qualidade dos fatores, não refletida no respectivo índice de quantum, poderá causar superestimação do progresso técnico. Lamentavelmente, esses não são problemas de fácil solução.

#### 4 - RESULTADOS EMPÍRICOS

Neste capítulo são apresentadas as estimativas dos índices de quantidades referentes à produção agropecuária e ao uso de fatores de produção. Em seguida, são apresentados os correspondentes índices de produtividade total e de produtividades parciais da terra e do trabalho. Foram utilizadas as fórmulas de Laspeyres, Paasche, Törnqvist e Fisher. Todos os índices foram calculados pelo conceito de base móvel de ponderação e cálculo, sendo portanto aproximações à integral de Divisia. Comparativamente a índices de produção agropecuária que não adotam o princípio de base móvel para ponderação e cálculo, é previsível que os resultados apresentem-se significativamente diferentes, mesmo quando se comparar índices calculados pela mesma fórmula, como Laspeyres, que é a mais usual, por exemplo.

#### 4.1 - Índices Agregados de Produção

Esses índices, calculados para o período 1956-80, agregam 22 dos principais produtos da agropecuária paulista: café, chá, laranja, tangerina, limão, banana, uva, cana-de-açúcar, soja, amendoim, algodão, mamona, milho, arroz, feijão, trigo, mandioca, batata, cebola, tomate, carne bovina e leite<sup>(10)</sup>. Os valores dos diferentes índices são apresentados no quadro 1 e seu comportamento pode ser mais facilmente examinado através da figura 2, onde foram conjuntamente plotados.

Observa-se que todos os índices apresentam a mesma tendência geral de crescimento e movimentam-se na mesma direção, ao longo de todo o horizonte de tempo coberto pelos dados. Não obstante, evidenciam-se também sensíveis diferenças de magnitude. Assim, enquanto o Índice de Laspeyres cresce 240 pontos de porcentagem no período 1956-80, o de Paasche cresce apenas 76 pontos. Já os índices de Fisher e Törnqvist aproximam-se muito, como seria de esperar, por serem ambos superlativos<sup>(11)</sup>, aumentando respectivamente 145% e 150% no mesmo período.

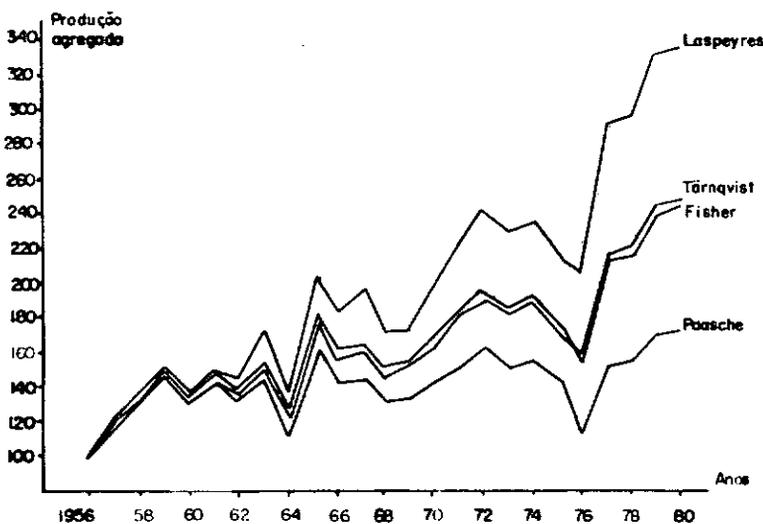


FIGURA 2. - Índices Agregados de Produção Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80

(10) Informações detalhadas sobre fontes de dados podem ser obtidas em SILVA(20).

(11) Ver a esse respeito DIEWERT (9).

QUADRO 1. - Índices Agregados de Produção Agropecuária, Estado de São Paulo,  
1956-80

Ano	Paasche	Laspeyres	Fisher	Törnqvist
1956	100,0	100,0	100,0	100,0
1957	119,3	120,1	119,7	119,7
1958	130,4	131,2	130,8	130,8
1959	146,9	151,0	148,9	149,0
1960	131,0	137,0	134,0	133,4
1961	143,2	150,0	146,6	145,9
1962	132,8	143,4	138,0	136,8
1963	148,5	171,8	155,0	154,2
1964	114,8	135,1	124,5	121,8
1965	161,2	205,3	181,9	179,9
1966	141,1	182,9	169,7	158,4
1967	145,8	189,6	166,2	163,9
1968	131,5	172,8	150,7	148,7
1969	132,3	175,6	152,4	150,6
1970	144,0	198,3	169,0	167,1
1971	151,8	221,2	183,2	181,2
1972	164,7	242,0	199,6	197,6
1973	154,6	225,7	186,8	184,9
1974	159,7	237,8	194,9	193,3
1985	144,0	217,0	176,8	175,0
1976	115,5	209,2	155,4	156,4
1977	156,2	292,9	213,9	218,0
1978	156,8	299,6	216,8	221,3
1979	172,3	334,3	240,0	244,9
1980	176,4	339,9	244,9	249,8

Fonte: Dados básicos do Instituto de Economia Agrícola (IEA).

Para deixar bem evidente a conveniência de se trabalhar com índices de base móvel encadeados, apresenta-se no quadro 2 as participações dos produtos no valor da produção agropecuária, em alguns anos da série. Os dados revelam importantes e frequentes alterações ao longo do período. De qualquer forma, como se está levantando objeção ao uso de índices de base fixa de ponderação e defendendo os de base móvel, pareceu apropriado fazer um contraste. Assim, enquanto o índice Laspeyres base móvel encadeado evoluiu de 100 em 1956 para 340 em 1980, o mesmo índice base fixa cresceu de 100 para 254 no mesmo período <sup>(12)</sup>.

Os resultados empíricos até aqui apresentados, dada a magnitude das discrepâncias entre as diversas medidas de um mesmo fenômeno, tornam mais flagrante a necessidade de se escolher criteriosamente, vale dizer, com apoio na teoria econômica dos números-índices, discutida anteriormente, a fórmula de cálculo apropriada. Essa escolha, repete-se mais uma vez; deve recair nos índices superlativos, no caso os de Törnqvist e Fisher.

#### 4.2 - Índices Agregados de Uso de Fatores de Produção

Os índices de emprego de fatores de produção foram calculados com base em séries de quantidades e preços de 13 fatores de produção <sup>(13)</sup>. Além dos fatores primários - terra e trabalho - foram incluídos fertilizantes, animais de trabalho, tratores, culturas permanentes (café, citros, cana-de-açúcar, banana, uva), pastagens (artificiais e naturais) e rebanho bovino. Foram calculados para o mesmo período, segundo as mesmas fórmulas e bases de ponderação e cálculo usadas para os índices de produção, e são apresentados no quadro 3.

Os resultados obtidos levam a duas constatações imediatas. Em primeiro lugar, nota-se que o emprego global de fatores pela agricultura paulista cresce lentamente durante o período analisado. Em segundo lugar, observa-se que todos os índices captam essa tendência, movimentando-se sempre no mes

---

(12) Essa comparação não é rigorosamente válida porque, para calcular o índice base fixa, tivemos que eliminar quatro produtos (tangerina, limão, uva e trigo), que entretanto representavam apenas 2,5% do valor global da produção em 1980. Para poupar espaço este índice deixa de ser apresentado.

(13) Informações detalhadas sobre fontes de dados podem ser obtidas em SILVA (20).

QUADRO 2. - Participação dos Produtos no Valor da Produção Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80  
(em percentagem).

Produtos	1956	1960	1964	1968	1972	1976	1980
Amendoim	1,27	4,71	5,81	5,65	3,85	2,18	1,28
Algodão	9,32	10,21	10,12	8,34	7,34	5,71	3,63
Arroz	6,85	6,92	10,03	7,73	5,13	4,49	2,18
Banana	0,97	1,43	1,64	1,39	0,54	1,09	0,64
Batata	2,77	2,89	2,50	2,10	2,14	2,73	3,52
Café	31,81	16,01	5,71	9,07	18,76	11,74	14,83
Cana	9,20	10,66	17,90	15,18	12,57	18,58	24,11
Cebola	0,41	0,43	0,80	0,61	0,61	1,22	1,67
Chá	0,08	0,12	0,15	0,22	0,09	0,16	0,12
Feijão	2,20	4,47	1,82	1,50	1,48	3,32	4,85
Laranja	1,19	1,31	2,86	3,18	3,73	3,85	6,09
Limão	-	-	-	-	0,37	0,60	0,34
Mamona	0,33	0,47	0,47	0,85	0,73	0,21	0,13
Mandioca	1,16	1,32	2,03	2,40	2,50	1,38	0,51
Milho	7,08	7,80	7,56	8,71	8,19	8,49	4,64
Soja	0,04	0,05	0,04	0,33	1,31	4,32	4,00
Tangerina	-	-	-	-	0,65	0,68	0,45
Tomate	1,15	2,01	2,67	4,73	2,73	3,63	2,55
Trigo	-	-	-	-	0,20	1,10	0,92
Uva	-	-	-	-	1,24	1,36	0,79
Carne	17,15	21,61	17,60	18,31	18,12	13,72	15,15
Leite	7,03	7,54	10,24	9,70	7,71	9,21	7,54

Fonte: Dados básicos do Instituto de Economia Agrícola (IEA).

QUADRO 3. - Índices Agregados de Uso de Fatores de Produção na Agropecuária,  
Estado de São Paulo, 1956-80

Ano	Paasche	Laspeyres	Fisher	Törnqvist
1956	100,0	100,0	100,0	100,0
1957	96,2	96,6	96,4	96,4
1958	100,2	100,6	100,4	100,4
1959	97,1	97,4	97,3	97,3
1960	102,5	103,3	102,9	102,9
1961	103,5	104,6	104,0	104,1
1962	104,4	105,5	105,0	105,0
1963	109,4	110,7	110,0	110,0
1964	106,9	109,1	108,0	108,0
1965	112,1	114,1	113,0	113,1
1966	107,7	108,8	108,2	108,3
1967	107,4	108,6	108,0	108,1
1968	107,1	108,7	107,9	108,0
1969	100,2	101,9	101,0	101,1
1970	109,9	112,5	111,2	111,3
1971	113,5	116,2	114,8	115,0
1972	112,7	115,4	114,0	114,1
1973	105,6	108,2	106,9	106,9
1974	108,7	111,6	110,1	110,2
1975	103,4	106,3	104,9	104,9
1976	108,3	111,5	109,9	109,9
1977	109,7	112,7	111,2	111,3
1978	115,1	118,5	116,8	116,8
1979	117,1	120,6	118,8	118,9
1980	118,6	121,1	120,1	120,2

Fonte: Dados básicos de SILVA (20).

mo sentido e em magnitudes muito semelhantes, ao contrário do que sucede com os índices de produção. Todos eles apresentam um incremento em torno de 20% entre 1956 e 1980.

Alterações nas participações dos fatores, ocorridas ao longo do período, são evidenciadas pelo exame do quadro 4. Mais uma vez fica claro que o uso de índices com base fixa de ponderação violenta a realidade. Não obstante, no caso dos fatores tais alterações são menos bruscas. Aparentemente por essa razão, quando se contrasta Laspeyres base móvel e base fixa, apenas para efeito ilustrativo, já que não se recomenda o uso deste último, não se observa diferença significativa entre ambos. Partindo de 100 em 1956, o primeiro atingiu 112 e o segundo 120 em 1980 (14).

QUADRO 4. - Participação dos Fatores no Custo da Produção Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80  
(em percentagem)

Fatores	1956	1960	1964	1968	1972	1976	1980
Terra	12,98	14,33	14,83	14,39	14,59	16,75	17,95
Trabalho	54,30	43,13	43,31	45,01	41,92	39,49	35,54
Trator	1,36	4,22	8,19	7,78	7,54	6,15	4,34
Animal de trabalho	1,21	1,58	1,23	0,89	0,63	0,42	0,61
Fertilizante	0,97	1,28	2,15	2,10	3,61	5,63	9,03
Rebanho	5,20	5,98	6,26	6,74	7,59	4,51	6,36
Uva	-	-	-	-	0,10	0,11	0,08
Café	8,68	8,22	6,12	3,39	2,86	1,86	3,76
Citros	0,04	0,09	0,14	0,13	0,28	0,62	0,92
Cana	2,65	3,40	2,05	3,84	4,91	8,12	9,08
Banana	0,55	0,42	0,27	0,18	0,12	0,10	0,10
Pasto artif.	7,65	10,68	11,24	12,05	12,80	12,60	9,99
Pasto natural	4,41	5,67	4,21	3,50	3,05	3,62	2,23

Fonte: Dados básicos de SILVA (20).

(14) Para poupar espaço, este índice deixa de ser apresentado.

No caso deste estudo, portanto, diferentes fórmulas e sistemas de ponderação não produziram resultados sensivelmente diferentes, no que diz respeito ao emprego de fatores de produção. De qualquer forma, permanecem válidas as razões técnicas apresentadas para uso dos índices superlativos.

#### 4.3 - Índices de Produtividade Total

Os índices de produtividade total, obtidos por quociente dos índices agregados de produção e de uso de fatores de produção, calculados pelas fórmulas de Laspeyres, Paasche, Fisher e Törnqvist, com bases móveis de ponderação e cálculo, são apresentados no quadro 5 e figura 3. O exame de seus comportamentos indica grandes discrepâncias, como seria de esperar, embora todos se movimentem no mesmo sentido.

Se entre esses índices com base móvel de ponderação a escolha recaísse no de Laspeyres, o índice, ao final dos 25 anos, atingiria 279, ao passo que o índice de Paasche alcançaria apenas 148. Um índice de Laspeyres com base fixa, reconhecidamente impróprio para a presente aplicação, chegaria a 208 ao final do mesmo intervalo de tempo <sup>(15)</sup>.

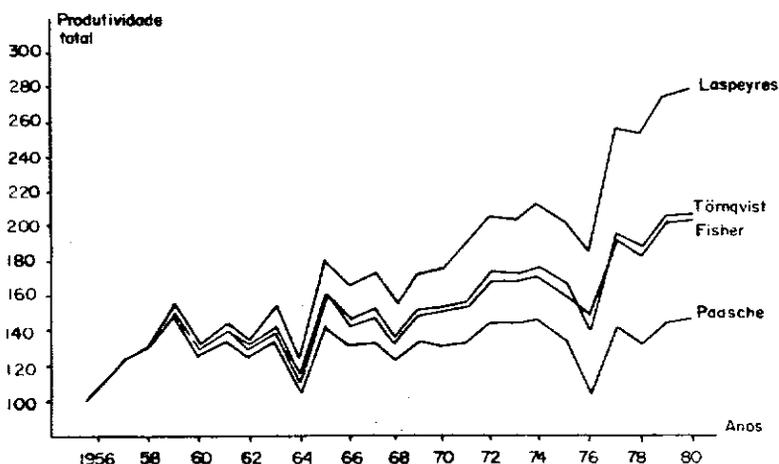


FIGURA 3. - Índices de Produtividade Total na Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80

<sup>(15)</sup> Para poupar espaço este índice deixa de ser apresentado.

QUADRO 5. - Índices de Produtividade Total na Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80

Ano	Paasche	Laspeyres	Fisher	Törnqvist
1956	100,0	100,0	100,0	100,0
1957	124,0	124,3	124,2	124,2
1958	130,1	130,4	130,3	130,3
1959	151,3	155,0	153,0	153,1
1960	127,8	132,6	130,2	129,6
1961	138,3	143,4	141,0	140,1
1962	127,2	135,9	131,4	130,3
1963	135,7	155,2	140,9	140,2
1964	107,4	123,8	115,3	112,8
1965	143,8	179,9	160,8	159,1
1966	131,0	168,1	148,5	146,3
1967	135,7	174,6	153,9	151,6
1968	122,8	159,0	139,7	137,7
1969	132,0	172,3	150,9	149,0
1970	131,0	176,3	152,0	150,1
1971	133,7	190,4	159,6	157,6
1972	146,1	209,7	175,1	173,2
1973	146,4	208,6	174,7	173,0
1974	146,9	213,1	177,0	175,4
1975	139,3	204,1	168,5	166,8
1976	106,6	187,6	141,4	142,3
1977	142,4	259,9	192,4	195,9
1978	136,2	252,8	185,6	189,5
1979	147,1	277,2	202,0	206,0
1980	148,7	279,3	203,9	207,8

Fonte: Dados dos quadros 1 e 3.

É claro, entretanto, que todos esses índices, inclusive os calculados como aproximações a Divisia, devem ser vistos com grande reserva, pelas razões teóricas amplamente discutidas em capítulo anterior. Tais índices foram incluídos nesta parte empírica do trabalho exatamente com o objetivo de contrastar resultados e chamar atenção para a possibilidade de se chegar a conclusões tão diferentes, com base no mesmo conjunto de dados, devido a sutilezas metodológicas nem sempre levadas na devida consideração, em muitas investigações empíricas.

Passando ao exame dos índices de Fisher e Törnqvist, muito mais consistentes com as suposições geralmente admitidas pela teoria econômica, e provavelmente muito mais aderentes às condições reais em que se desenvolve a produção, veremos que os resultados são muito semelhantes entre si e divergentes tanto em relação ao de Laspeyres como ao de Paasche. A produtividade total medida por aqueles dois índices superlativos atingiu 204 e 208, respectivamente.

#### 4.4 - Índices de Produtividades Parciais da Terra e do Trabalho

Nessa parte são apresentadas estimativas da produtividade da terra e do trabalho, utilizando-se as mesmas fórmulas de números índices em que se baseou o cálculo da produtividade total.

Observa-se no quadro 6 a grande discrepância nos valores dos índices no final do período 1956-1980, tanto para a terra como para o trabalho. Tal como verificou-se com a produtividade total os únicos índices que apresentaram evolução semelhante são os de Törnqvist e Fisher, enquanto os de Laspeyres e Paasche são claramente divergentes entre si e dos dois outros índices citados. De fato, para a produtividade da terra, enquanto o índice de Laspeyres atinge 313, o de Paasche alcança apenas 162, em 1980, e os de Törnqvist e Fisher, respectivamente, 230 e 225. Para o trabalho, o índice de Laspeyres é de 445, o de Paasche 231 e os Törnqvist e Fisher, de 327 e 321.

Outra conclusão permitida pela visualização do quadro é que, segundo qualquer uma das fórmulas, em São Paulo, a agricultura apresentou expressivos ganhos de produtividade dos fatores primários, maior no caso do trabalho. Em termos de taxas de crescimento, calculadas a partir de índices Fisher, a produtividade da terra cresceu 2,25% ao ano no período 1956-80, enquanto a do trabalho aumentou 3,96% ao ano no mesmo período, conforme mostra o quadro 7 <sup>(16)</sup>.

<sup>(16)</sup> O crescimento da produtividade da terra mostrou-se muito mais intenso na segunda metade do período. Para melhor compreensão deste comportamento ver SILVA (20).

QUADRO 6. - Índices de Produtividade da Terra e do Trabalho na Agropecuária,  
Estado de São Paulo, 1956-80

Ano	Terra				Trabalho			
	Lasp.	Paas.	Fish.	Törn.	Lasp.	Paas.	Fish.	Törn.
1956	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1957	120,8	120,0	120,4	120,4	128,7	127,9	128,3	128,3
1958	128,1	127,3	127,7	127,7	135,8	135,0	135,4	135,4
1959	148,0	144,0	146,0	146,1	166,7	162,1	164,3	164,5
1960	128,8	123,1	125,9	125,4	141,2	135,1	138,1	137,5
1961	139,4	133,1	136,2	135,6	156,9	149,8	153,5	152,6
1962	129,4	119,9	124,5	123,5	153,0	141,7	147,3	146,0
1963	147,7	127,7	133,3	132,6	179,1	154,8	161,6	160,8
1964	109,5	93,0	100,9	98,7	148,9	126,6	137,3	134,3
1965	171,4	134,6	151,8	150,2	214,7	168,6	190,3	188,2
1966	141,8	109,4	124,6	122,8	216,4	167,0	190,2	187,5
1967	148,7	114,3	130,3	128,5	228,7	175,9	200,5	197,7
1968	137,4	104,5	119,8	118,2	214,1	162,9	186,7	184,3
1969	144,2	108,6	125,1	123,6	229,8	173,2	199,5	197,1
1970	162,9	118,3	138,0	137,3	241,5	175,4	205,8	203,5
1971	175,8	120,7	145,6	144,0	264,0	181,1	218,6	216,2
1972	198,5	135,1	163,7	162,1	298,4	203,1	246,1	243,6
1973	184,4	126,3	152,6	151,1	312,6	214,1	258,7	256,1
1974	200,0	134,3	163,9	162,6	313,3	210,4	256,8	254,7
1975	196,0	130,1	153,7	158,1	304,3	201,9	248,0	245,4
1976	189,7	104,7	140,9	141,8	280,8	155,0	208,6	209,3
1977	267,7	142,8	195,5	199,3	400,1	213,4	292,2	297,8
1978	268,5	140,5	194,3	198,3	388,6	203,4	281,2	287,0
1979	300,1	154,7	215,4	219,8	433,0	223,2	310,9	317,2
1980	313,3	162,6	225,7	230,2	445,5	231,2	321,0	327,4

Fonte: Dados básicos do Instituto de Economia Agrícola (IEA).

#### 4.5 - Progresso Tecnológico na Agricultura Paulista

Como se viu anteriormente, sob as hipóteses então mencionadas a taxa de crescimento da produtividade total constitui uma medida do progresso tecnológico. Contudo, a qualidade desta medida depende, pelas razões também já apontadas, da fórmula de número-índice utilizada.

O exame do quadro 7 mostra que a taxa média anual de crescimento da produtividade total, vale dizer a taxa de progresso tecnológico, teria variado de 0,6% a 3,4% no período 1956-80, conforme as aproximações de Paasche e de Laspeyres, com a ressalva de que essas fórmulas são aqui consideradas apenas para efeito de comparação, uma vez que, embora frequentemente usadas, são consideradas impróprias.

Como seria de esperar, os resultados obtidos a partir das melhores fórmulas, Törnqvist e Fisher, são muito próximas, 2,1% e 2,0% nessa ordem. Considerando-se os subperíodos 1956-67 e 1968-80 e as fórmulas superlativas, constata-se que no segundo subperíodo o progresso tecnológico foi mais aumentado. Aparentemente isso ocorreu em função de um significativo esforço de pesquisa e de uma política agrícola mais favorável à absorção dos avanços tecnológicos pelo setor produtivo (17).

Finalmente, julga-se interessante comparar esses resultados com medidas similares para outras regiões. Face à inexistência de dados para o Brasil, só foi possível fazer comparação com outros países, desenvolvidos e em desenvolvimento.

Infere-se dos dados reunidos nos quadros 8, 9 e 10 que a performance da agricultura paulista compara-se favoravelmente às das outras regiões consideradas, exceto alguns estados da Índia durante o intervalo 1963-71. Essas comparações confirmam o dinamismo da agricultura paulista, que vem experimentando intenso processo de modernização, mais acelerado na segunda metade do período analisado (18).

---

(17) Ver a respeito SILVA (20).

(18) Chama-se atenção para o fato de que essas comparações devem ser vistas com cuidado, devido à diversidade metodológica dos estudos citados. O de BEHRENS & HAEN (3) utiliza índice de Törnqvist, com ponderações variando a cada ano, o de EVERSON & JHA (11) índice de Laspeyres, com ponderações variando a cada quinquênio; enquanto o índice publicado em AGRICULTURAL STATISTICS (1) é também Laspeyres, mas com ponderações variando a longos intervalos de tempo, conforme informa CHRISTENSEN (7).

QUADRO 7. - Taxas Anuais de Crescimento das Produtividades Parciais da Terra e do Trabalho, e da Produtividade Total dos Fatores, Estado de São Paulo, 1956-80 (1)

Período	Índice	1956-67	1968-80	1956-80
Terra	Laspeyres	2,33*	6,50*	3,72*
	Paasche	-0,40	2,82*	0,08*
	Fisher	0,93	4,66*	2,25*
	Törnqvist	0,76	5,08*	2,27*
Trabalho	Laspeyres	5,98*	5,80*	5,42*
	Paasche	3,25*	2,12*	2,47*
	Fisher	4,58*	3,96*	3,96*
	Törnqvist	4,41*	4,29*	4,03*
Fatores agregados	Laspeyres	3,63*	4,33*	3,40*
	Paasche	1,03	0,07	0,57
	Fisher	2,30*	2,54*	1,99*
	Törnqvist	2,13*	2,88*	2,06*

(1) Calculadas através da fórmula  $y = a.e^{bt}$ . O sinal \* indica significância 5%.

Fonte: Dados dos quadros 5 e 6.

QUADRO 8. - Taxas Anuais de Crescimento da Produtividade Total na Agricultura em Países da Comunidade Econômica Européia, 1963-76 (em percentagem)

País	1963-1970	1970-1976	1963-1976
Alemanha Ocidental	1,56	2,57	2,02
França	1,73	1,47	1,61
Itália	1,45	0,85	1,17
Holanda	2,49	2,41	2,45
Bélgica/Luxemburgo	1,36	2,55	1,85
Reino Unido	1,47	1,34	1,41
Irlanda	1,54	2,60	1,98
Dinamarca	1,05	2,07	1,47

Fonte: BEHRENS & HAEN (3).

QUADRO 9. - Taxa anual de Crescimento da Produtividade Total na Agricultura nos Estados Unidos, 1931-80  
(em percentagem)

Período	Taxa	Período	Taxa
1931-43	1,71	1944-67	1,43
1931-55		1944-80	1,27
1931-67	1,56	1956-67	1,02
1931-80	1,41	1956-80	1,09
1944-55	1,11	1968-80	1,53

Fonte: Dados básicos de AGRICULTURAL STATISTICS (1).

QUADRO 10. - Taxas Anuais de Crescimento da Produtividade Total na Agricultura em Estados da Índia, 1953/56 - 1969/71

Estados	1953/56	1958/61	1963/65
	1958/61	1963/65	1969/71
Assam	-2,27	-0,18	3,98
Gujarat	0,74	2,81	4,78
Haryana	2,41	-0,70	16,10
Mysore	1,03	0,69	0,27
Orissa	-1,34	1,93	1,30
Punjab	2,41	0,52	13,40
Rajasthan	0,09	-0,99	12,70
Tamil Nadu	1,49	-1,43	0,61
Uttar Pradesh	0,43	0,66	1,93

Fonte: EVERSON & JHA (11).

## 5 - CONCLUSÕES

A análise desenvolvida sugere, de um ponto de vista teórico, a conveniência de um maior esforço no sentido de se utilizar medidas de produtividade total em substituição a medidas de produtividade parcial, particularmente nos estudos sobre progresso tecnológico na agricultura.

Recomenda, no que diz respeito ao instrumental quantitativo, que tais medidas sejam obtidas através de índices superlativos. Isso implicaria mudanças nos sistemas existentes de indicadores de produção - implantação de sistemas de indicadores de emprego de fatores ainda inexistentes no Brasil, apesar de sua evidente importância.

Com relação aos resultados empíricos, observou-se para os índices agregados de produção e de uso de fatores, calculados por todas as fórmulas, acentuada tendência de crescimento dos primeiros e pequeno aumento dos segundos.

O maior crescimento dos índices agregados de produção esteve associado a uma maior dispersão dos resultados, distanciando-se os índices de Laspeyres e de Paasche, enquanto os de Fisher e de Törnqvist mostraram-se muito aproximados. Semelhante dispersão não ocorreu no caso dos índices agregados de fatores. Em consequência, o comportamento dos índices de produção refletiu-se nos índices de produtividade total, bem como nos de produtividades parciais.

Finalmente, o comportamento da produtividade total mostra que a agricultura paulista vem experimentando rápido progresso tecnológico comparável ao de outros países desenvolvidos e em desenvolvimento.

## LITERATURA CITADA

1. AGRICULTURAL STATISTICS. Washington, USDA, 1962, 1970, 1983.
2. ALVES, E.R. de A. A produtividade da agricultura. Brasília, s.c.p., 1979. 34p.
3. BEHRENS, R. & HAEN, H. Aggregate factor input and productivity in agriculture: a comparison for the Ec-member countries, 1963-76. European Review of Agricultural Economics, The Hague, 7(2): 109-146, 1980.

4. BRANCO, R.C. Uma nota sobre os Índices Divisia. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, 31(2):425-432, abr.-jun. 1977.
5. BRANDÃO, A.S.P. Índices de Divisia, integrais curvilíneas e índices econômicos. Revista de Econometria, Brasília, 1(2):107-127, nov.1981.
6. CARVALHO, J.L. Uma nota sobre números-índices. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, 29(1):60-88, jan.-mar. 1975.
7. CHRISTENSEN, L.R. Concepts and measurement of agricultural productivity. American Journal of Agricultural Economics, Lexington, 57(5):910-915, Dec. 1975.
8. DIEWERT, W.E. Exact and superlative index numbers. Journal of Econometrics, Amsterdam, 4(2):115-145, May 1976.
9. DIEWERT, W.E. Superlative index numbers and consistency in aggregation. Econometrica, Bristol, 46(4):883-900, July 1978.
10. DIVISIA, F. L'Indice Monétaire et la Théorie de la Monnaie. Revue d'Economie Politique, Paris, 39:980-1008, 1925.
11. EVENSON, R.E. & JHA, D. The contribution of agricultural research system to agricultural production in India. Indian Journal of Agricultural Economics, Delhi, 28(4):212-230, Oct.-Dec. 1973.
12. FISHER, I. The making of index numbers. Boston, Houghton Mifflin, 1922.
13. JORGENSON, D.W. & GRILICHES, Z. "Issues in growth accounting: a reply to Edward F. Denisar". Survey of Current Business, 55(5):65-94, 1972.
14. NADIRI, M.I. Some approaches to the theory and measurement of total factor productivity: a survey. Journal of Economic Literature, Nashville, 8(4):1137-1177, Dec. 1970.
15. PASTORE, A.C.; ALVES, E.R. de A.; RIZZIERI, J.A.B. A inovação induzida e os limites à modernização na agricultura brasileira. Revista de Economia Rural, Brasília, 14(1):257-285, 1976.
16. PROGNÓSTICO. São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, IEA, 1983. v.12.

17. SAMUELSON, P.A. & SWAMY, S. Invariant economic index numbers and canonical duality: survey and synthesis. The American Economic Review, Nashville, 64(4):566-593, Sep. 1974.
18. SÃO PAULO. Secretaria da Agricultura. IEA. Desenvolvimento da Agricultura Paulista. São Paulo, 1972. 319p.
19. SILVA, G.L.S.P. da. Evolução e determinantes da produtividade agrícola: o caso da pesquisa e da extensão rural em São Paulo. São Paulo, FEA/USP, 1982. 230p. (Tese-Doutoramento)
20. ----- . Produtividade agrícola, pesquisa e extensão rural. São Paulo, IPE/USP, 1984. (Série Ensaios Econômicos, 40)
21. SWAMY, S. Consistency of Fisher's tests. Econometrica, Bristol, 33(3):619-623, July 1965.
22. VERA FÓ, F. & TOLLINI, H. Progresso tecnológico e desenvolvimento agrícola. In: VEIGA, Alberto, coord. Ensaio sobre política agrícola brasileira. São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1979. p.87-136.

#### RESUMO

O trabalho focaliza os conceitos de produtividade parcial, produtividade total e progresso tecnológico. Discute problemas de mensuração de produtividade, com base na moderna teoria econômica dos números-índices. Apresenta estimativas e comparações de alguns índices de produtividade da terra e do trabalho, e de produtividade total dos fatores. Finalmente, o trabalho sugere modificações de sistemas de índices econômicos presentemente usados.

HOW TO MEASURE AGRICULTURAL PRODUCTIVITY: CONCEPTS, METHODS AND APPLICATIONS  
IN THE CASE OF SÃO PAULO, BRAZIL

SUMMARY

The paper focuses the concepts of partial productivity, total factor productivity and technological progress. Productivity measurement problems are discussed on the basis of the modern theory of index numbers. Estimates and comparisons of some land, labor and total factor productivity indexes are presented. Finally, the paper suggests modifications of presently used systems of economic indexes.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA

**Comissão Editorial:**

**Coordenador:**

**Celuta Moreira Cesar Machado**

**Membros:**

**Antônio Augusto Botelho Junqueira**

**Antonio Ambrosio Amaro**

**Arthur Antonio Ghilardi**

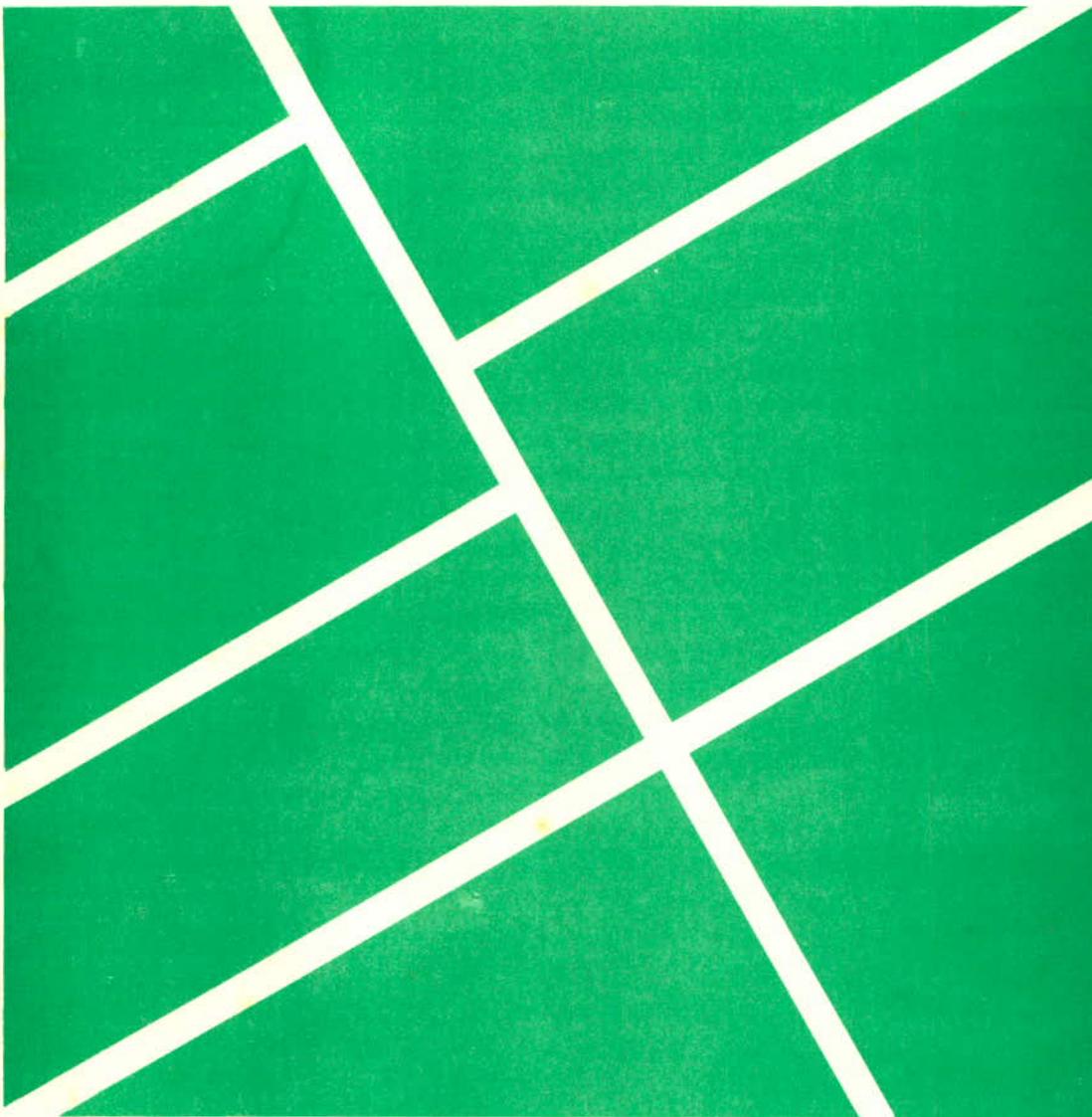
**Flavio Condé de Carvalho**

**José Luis Teixeira Marques Vieira**

**Maria Carlota Meloni Vicente**

**Bibliografia:**

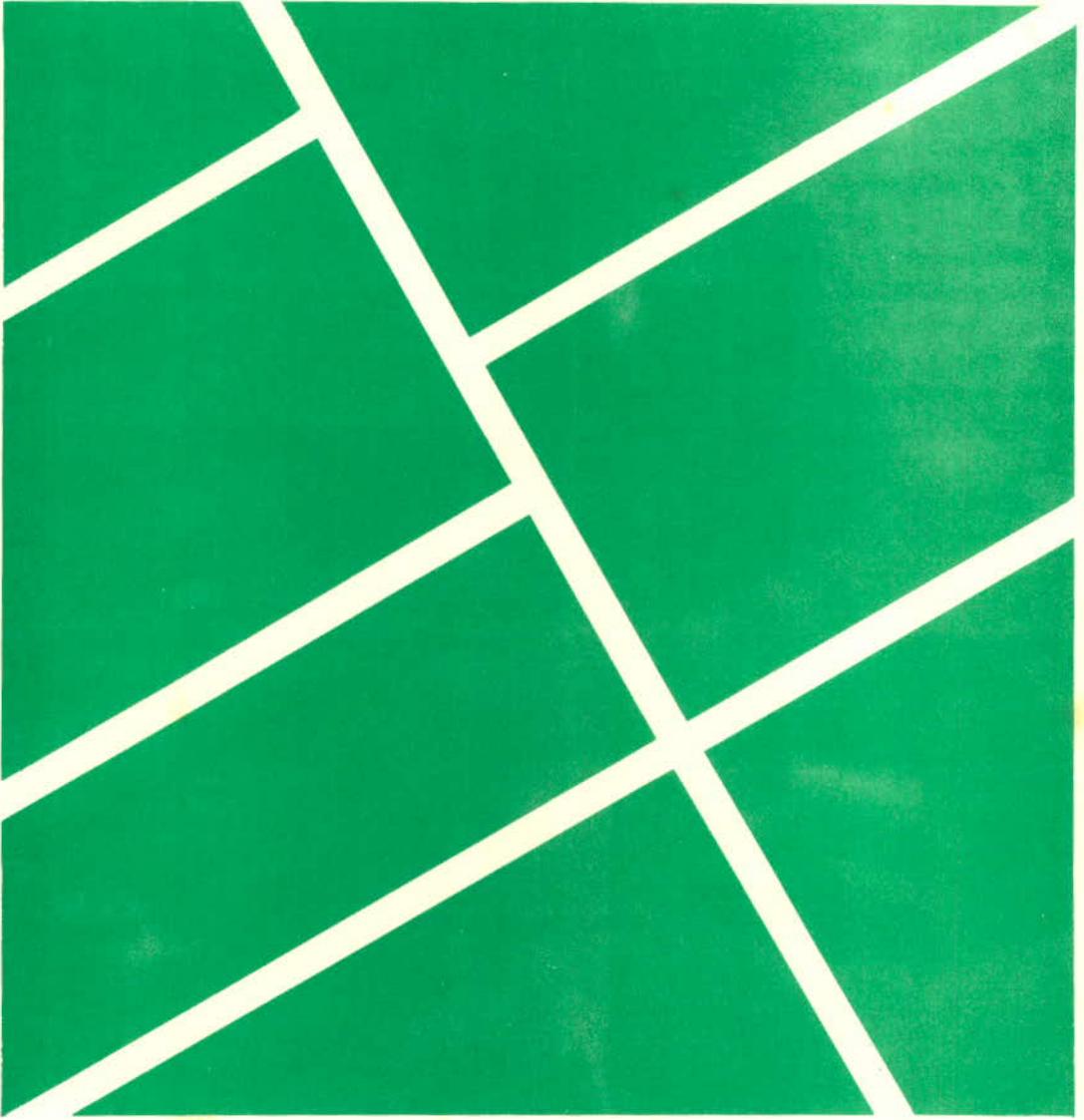
**Fátima Maria Martins Saldanha Faria**



Relatório de Pesquisa  
Nº 3/86

Governo do Estado de São Paulo  
Secretaria de Agricultura e Abastecimento  
Coordenadoria Sócio-Econômica

Instituto de Economia Agrícola



**COMO MEDIR A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA: CONCEITOS, MÉTODOS E  
APLICAÇÕES NO CASO DE SÃO PAULO**

Gabriel L.S.P. da Silva  
Heron Carlos Esvael do Carmo

Governo do Estado de São Paulo  
Secretaria de Agricultura e Abastecimento  
Coordenadoria Sócio-Econômica

Instituto de Economia Agrícola



Governo do Estado de São Paulo  
Secretaria de Agricultura e Abastecimento  
Instituto de Economia Agrícola

ISSN 0101-5109  
Relatório de Pesquisa  
3/86

**COMO MEDIR A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA: CONCEITOS, MÉTODOS E APLICAÇÕES  
NO CASO DE SÃO PAULO**

Gabriel L.S.P. da Silva  
Heron Carlos Esvael do Carmo

São Paulo  
1986

# INDICE

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE.....	2
3 - NÚMEROS-ÍNDICES, MENSURAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E DO PROGRESSO TECNOLÓGICO.....	4
3.1 - Aproximação à Solução do Problema dos Números-Índices.....	5
3.2 - Considerações sobre a Teoria Econômica dos Números-Índices.....	8
3.3 - Mensuração de Produtividade e do Progresso Tecnológico.....	11
4 - RESULTADOS EMPÍRICOS.....	12
4.1 - Índices Agregados de Produção.....	13
4.2 - Índices Agregados de Uso de Fatores de Produção.....	15
4.3 - Índices de Produtividade Total.....	19
4.4 - Índices de Produtividades Parciais da Terra e do Trabalho.....	21
4.5 - Progresso Tecnológico na Agricultura Paulista.....	23
5 - CONCLUSÕES.....	26
LITERATURA CITADA.....	26
RESUMO.....	28
SUMMARY.....	29

COMO MEDIR A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA: CONCEITOS, MÉTODOS E APLICAÇÕES NO CASO DE SÃO PAULO

Gabriel Luiz Seraphico Peixoto da Silva <sup>(1)</sup>  
Heron Carlos Esvael do Carmo <sup>(2)</sup>

1 - INTRODUÇÃO

O tema focalizado neste trabalho apresenta maior interesse porque a análise dos processos de mudança na composição da produção, substituição de fatores e progresso tecnológico, experimentados pela agricultura brasileira, em consequência das profundas alterações em curso nos mercados de produtos e de fatores, com efeitos diretos sobre a produtividade agrícola, tem comandado crescente esforço dos economistas nos últimos anos.

No Brasil, por muito tempo a noção de produtividade agrícola manteve-se fortemente ligada à de produtividade da terra, isto é, ao rendimento das culturas. Mais recentemente, passou a ser também considerada a produtividade do trabalho. Não obstante, já há certo tempo alguns pesquisadores vêm chamando atenção para as limitações inerentes às medidas parciais de produtividade, tais como produto por área ou produto por trabalhador <sup>(3)</sup>.

VERA FQ & TOLLINI <sup>(22)</sup> apontaram o erro em que se pode incorrer ao comparar a produtividade da terra, ou do trabalho, entre países ou regiões. E, para contornar o inconveniente do uso de um único índice de produtividade parcial, sugeriram a utilização de um índice de produtividade total, ou pelo menos de índices parciais referentes às produtividades dos fatores de produção considerados mais importantes.

Também ALVES <sup>(2)</sup> defendeu o uso de um índice agregado como uma medda mais racional de produtividade. Ilustrando a desvantagem de um índice parcial, enfatizou o fato de que um acréscimo de rendimento indica que menos

---

<sup>(1)</sup> Pesquisador Científico do Instituto de Economia Agrícola e Professor da Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo.

<sup>(2)</sup> Professor da Faculdade de Economia e Administração da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo e Pesquisador da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas.

<sup>(3)</sup> A primeira tendência reflete-se em São Paulo <sup>(18)</sup>, a segunda aparece em PASTORE, ALVES & RIZZIERI <sup>(15)</sup> e a terceira surge em VERA FQ & TOLLINI <sup>(22)</sup>, por exemplo.

terra é necessário para a produção de uma unidade de produto, podendo, contudo, ocorrer que isto seja conseguido às custas de recursos dispendiosos para a economia. Em outras palavras, esse índice parcial poderia crescer e, simultaneamente, o índice agregado decrescer. ALVES (2) reconheceu, entretanto, a dificuldade de se calcular índices de produtividade total, por demandarem séries históricas não disponíveis no Brasil.

SILVA (19) também discutiu as limitações e vantagens dos dois tipos de índices, procurou superar a deficiência de dados e realizou investigação empírica utilizando um índice de produtividade total para medir o progresso tecnológico na agricultura paulista.

O presente trabalho trata inicialmente de aspectos conceituais, discute em seguida problemas relacionados à mensuração, com ênfase na moderna teoria econômica dos números-índices, e calcula diversos índices de produtividade parcial e total para o setor agrícola do Estado de São Paulo, no período 1956-80. Algumas comparações entre esses índices, envolvendo também índices semelhantes calculados para outros países, visando melhor avaliar o progresso tecnológico experimentado pela agricultura paulista, fecham o trabalho.

## 2 - CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE

O conjunto de todos os processos de produção, de todas as técnicas conhecidas, para obtenção de um conjunto de produtos, caracteriza uma tecnologia. Eliminados os processos tecnicamente ineficientes, a representação analítica do subconjunto resultante corresponde ao familiar conceito de função de produção, em que cada um dos pontos representa uma particular combinação de um conjunto de "inputs" que conduz à obtenção de um determinado conjunto de "outputs". Pode-se imaginar que descreva, por exemplo, os processos pelos quais produtos agrícolas são obtidos, utilizando-se terra, trabalho, capital, fertilizantes, defensivos, etc.

Admita-se a função de produção  $Y^{**} = f(X_1, X_2)$ , e seja  $P_{X_2}/P_{X_1} = \alpha$  a relação entre os preços dos fatores. Nesse caso, para a obtenção de uma dada quantidade  $Y_0$  de "output", a técnica que minimiza custos é a que combina as menores quantidades de "inputs" que permitem produzir aquele "output", designadas por  $X_1^A$  e  $X_2^A$ . Porém, se  $P_{X_2}/P_{X_1} = \beta$ , então a produção da mesma quantidade  $Y_0$ , mantida a hipótese de minimização de custos, implica alteração das quantidades de "inputs" para  $X_1^B$  e  $X_2^B$  (figura 1).

Pode-se agora focalizar o conceito de produtividade parcial. Como o nome sugere, trata-se da relação entre a quantidade de "output", resultan

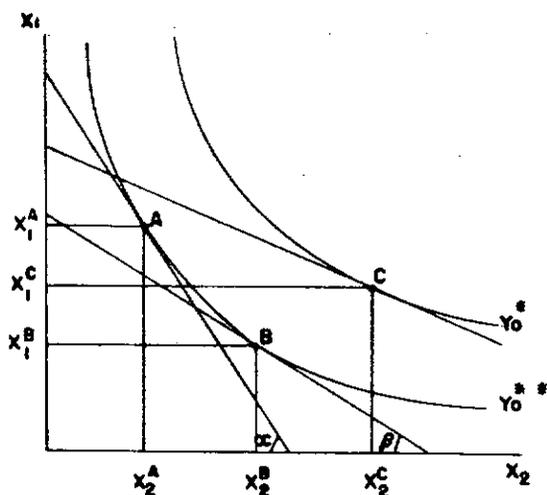


FIGURA 1. - Representação dos conceitos de técnica, tecnologia, combinação economicamente ótima de fatores de produção, produtividade, efeito escala e progresso tecnológico.

te do emprego de quantidades determinadas de "inputs", e a quantidade utilizada de um particular "input". É possível, portanto, definir duas produtividades parciais,  $PP_{X_1} = Y/X_1$  e  $PP_{X_2} = Y/X_2$ , no exemplo examinado.

Examinando essas produtividades com o exposto acima, sobre a determinação de  $X_1$  e  $X_2$ , infere-se que elas variam com a relação de preços  $P_{X_2}/P_{X_1}$ . Realça-se esse fato trivial, com o intuito de mostrar quão impróprio é o uso, não obstante muito freqüente, de medidas parciais de produtividade, como indicadores de progresso tecnológico. Na situação em exame, a produtividade de parcial de  $X_1$  crescerá de  $PP_{X_1} = Y_0/X_1^A$  para  $PP_{X_1} = Y_0/X_1^B$  como encarecimento de  $X_1$  em termos de  $X_2$ . E isso ocorrerá com a função de produção estável, vale dizer, na ausência de progresso tecnológico.

Cumprе observar que além de mudanças nos preços relativos de fatores, características técnicas dos processos de produção também podem induzir variações de produtividade independentes do progresso tecnológico. É o caso da presença de economia de escala, que resultará em poupança de  $X_1$  e  $X_2$  para a produção de uma unidade de  $Y$ , quando se expandir a quantidade produzida. Tal poupança poderá ser proporcional ou não, dependendo da homoteticidade da função de produção, e conduzirá a variações das produtividades parciais, bem como da produtividade total. O efeito escala pode ser visualizado na figura 1,

admitindo-se que, dada a tecnologia, nesse caso indicada pelo subscrito zero,  $Y_0^{**}$  represente um nível de produto superior a  $Y_0^*$ .

O conceito de produtividade total é análogo ao de produtividade parcial <sup>(4)</sup>. Ele refere-se à relação entre a quantidade de "output" obtido e as quantidades de "inputs" combinados no processo de produção. E, por esse motivo, constitui, como já se frisou, medida mais apropriada de progresso tecnológico.

No caso em exame, ela seria expressa pela relação  $PT = Y / (W_1 X_1 + W_2 X_2)$ ,  $W_1$  e  $W_2$  representando pesos apropriados, dados pelas participações dos fatores. Para que os ganhos de produtividade sejam corretamente medidos, é necessário levar em conta o efeito da substituição de fatores, e por essa razão as ponderações devem ser reajustadas continuamente. Como isso na prática é impossível, a solução recomendada é alterar os pesos  $W_1$  e  $W_2$  freqüentemente, a curtos intervalos de tempo <sup>(5)</sup>.

Para concluir esta breve revisão, resta examinar o conceito de progresso tecnológico, em conexão com os de produtividade. Progresso tecnológico significa desenvolvimento de novos processos de produção, tecnicamente mais eficientes, e pode ser representado pelo deslocamento da isoquanta correspondente ao "output"  $Y_0$ , da posição  $Y_0^*$  para a posição  $Y_0^{**}$  (figura 1).

Progresso tecnológico resulta, pois, na produção do mesmo "output" a partir de quantidade menor de "input agregado", o que implica aumento da produtividade total. Quanto às produtividades parciais, poderão crescer as de todos os fatores, ou crescer as de alguns e diminuir as de outros.

Dependendo do deslocamento da função de produção, que pode ou não ser paralelo, as variações de produtividades parciais serão proporcionais ou diferenciadas, o que mais uma vez mostra a inconveniência de seu uso para avaliar o progresso tecnológico.

### 3 - NÚMEROS-ÍNDICES, MENSURAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E DO PROGRESSO TECNOLÓGICO

Na literatura econômica, a forma usual de medir a produtividade total envolve o quociente entre dois índices de quantidade: um de produção, a partir de informações sobre quantidade produzida e preços de cada produto, em cada período de tempo; e outro de uso de fatores, a partir de dados sobre a quantidade empregada e o preço de cada fator de produção, em cada período de tempo. Para a mensuração de produtividade parcial, quando se considera mais

<sup>(4)</sup> Para uma apresentação detalhada sobre conceito e medida de produtividade total e questões correlatas recomenda-se a excelente revisão feita por NADIRI (14).

<sup>(5)</sup> Pode-se deduzir que os pesos apropriados são as participações dos fatores, admitindo-se que a função de produção seja homogênea de grau 1 e que os lucros sejam maximizados. Ver SILVA (20).

de uma atividade, também se utiliza o quociente de um índice de quantidade por um índice de uso do fator selecionado.

Isto produz o problema econométrico conhecido na literatura como "problema dos números-índices", que estabelece que há uma solução única para determinar o número-índice de um agregado de quantidades, como é o caso em questão, ou de preços, como é o caso dos indicadores de inflação.

Além disso, quando o agregado que se visa medir passa por alterações estruturais mais sensíveis, é de se esperar que os resultados obtidos com a aplicação das várias fórmulas apresentem maior variabilidade, o que realça a questão da escolha da fórmula. Apesar disto, percebe-se nas instituições que calculam números-índices um apego frequentemente injustificado a fórmulas mais tradicionais de cômputo, como a de Laspeyres, mesmo quando se dispõe de dados que permitem a aplicação de enfoques mais adequados, como sucede no caso dos indicadores agrícolas <sup>(6)</sup>.

Em vista disto, far-se-á breve apresentação de algumas fórmulas de interesse, tendo como referencial o conceito teórico de números-índices; nessa parte serão portanto focalizadas suas propriedades matemáticas. Em uma segunda parte apresentar-se-á sucintamente o que se conhece como teoria econômica dos números-índices. Esta teoria parte da análise econômica, mais propriamente das funções agregativas relevantes para cada aplicação, por exemplo, função produção, função transformação, função custo, para a partir da especificação dessas funções obter as fórmulas de índices aplicáveis a cada caso.

### 3.1 - Aproximação à Solução do Problema dos Números-Índices

FISHER (12), em seu texto clássico, "The Making of Index Numbers", relata mais de 1.000 fórmulas (aproximações à solução do "problema dos números-índices"), mas na prática apenas algumas delas têm sido utilizadas com mais freqüência, quer em trabalhos acadêmicos, quer por instituições responsáveis pelo cálculo sistemático de indicadores. Entre elas, julga-se de maior interesse, para os propósitos deste trabalho, as de Laspeyres, Paasche, Fisher e Tornqvist. Estas fórmulas, para a situação mais simples de aplicação - base fixa de ponderação e base fixa de cálculo - são apresentadas a seguir, para índices de quantidade, entre dois períodos de tempo (para preços as fórmulas são similares):

(6) Em particular, esse comentário é válido para o Instituto de Economia Agrícola. Confira em SÃO PAULO (18) e PROGNÓSTICO (16).

a) Laspeyres

$$LQ_{0,t} = \frac{\sum_{i=1}^n p_0^i \cdot q_t^i}{\sum_{i=1}^n p_0^i \cdot q_0^i} = \sum_{i=1}^n \frac{q_t^i}{q_0^i} \cdot w_0^i$$

b) Paasche

$$PQ_{0,t} = \frac{\sum_{i=1}^n p_t^i \cdot q_t^i}{\sum_{i=1}^n p_t^i \cdot q_0^i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{q_0^i}{q_t^i} \cdot w_t^i}$$

c) Fisher

$$FQ_{0,t} = (LQ_{0,t} \cdot PQ_{0,t})^{1/2}$$

d) Törnqvist

$$TQ_{0,t} = \prod_{i=1}^n \left( \frac{q_t^i}{q_0^i} \right)^{\frac{w_0^i + w_t^i}{2}}$$

Nestas fórmulas, a letra inicial, L, P, F ou T identifica o índice e a letra Q indica que ele refere-se a quantidades. Os demais símbolos têm os seguintes significados:

$p_t^i$  = preço do item i, no período t

$p_0^i$  = preço do item i, no período 0

$q_t^i$  = quantidade do item i, no período t

$q_0^i$  = quantidade do item i, no período 0

$$w_0^i = \frac{p_0^i \cdot q_0^i}{\sum_{i=1}^n p_0^i \cdot q_0^i} = \text{participação do item } i, \text{ na relação orçamentária do período } 0$$

$$w_t^i = \frac{p_t^i \cdot q_t^i}{\sum_{i=1}^n p_t^i \cdot q_t^i} = \text{participação do item } i, \text{ na relação orçamentária do período } t$$

No tocante à sua operacionalização, as fórmulas podem ser distinguidas quanto à sua base de ponderação (fixa ou móvel) e à base de cálculo (fixa ou móvel). A base de ponderação é em geral referida a um período, onde foram obtidas, ou tomadas implicitamente, as participações de cada componente em uma relação orçamentária, por exemplo custo de produção, valor da produção, etc. Nesse sentido a fórmula de Laspeyres, tal como apresentada, seria de base fixa de ponderação, uma vez que a cada novo período acrescentado à série os pesos são mantidos no período base. O contrário ocorre para as outras fórmulas. A base de cálculo é referida ao período com base no qual são calculados os relativos (de quantidades, no caso); em uma série, em geral é o período anterior ao de referência. Nesse sentido, todas as quatro fórmulas têm base de cálculo fixa.

Quando índices são calculados para um período mais longo, onde são naturais alterações mais acentuadas na estrutura econômica, a utilização de índices de base fixa pode levar a vieses significativos. Para reduzi-los, as séries são montadas por um processo de encadeamento com a atualização periódica da base de cálculo e, desde que se disponha de dados, também da base de ponderação.

Tradicionalmente a avaliação da qualidade das diferentes fórmulas de números-índices tem sido feita com base em critérios lógicos definidos por FISHER (12) em seu texto clássico. Alguns critérios, considerados mais importantes, são apresentados a seguir, tomando por referência um número-índice de quantidade (7):

T 1. Teste de Proporcionalidade: se todas as quantidades variam na mesma proporção, o índice correspondente também deve variar exatamente nessa proporção;

---

(7) Para uma discussão dos testes de Fisher recomenda-se SWAMY (21).

- T 2. Teste de Decomposição das Causas: o produto de um índice de quantidade por um índice de preço deve ser igual ao índice de valor;
- T 3. Teste de Comensurabilidade: um número-índice deve ser independente das unidades de medida;
- T 4. Teste de Reversão Temporal: o produto de um número-índice de quantidade do ano 0 em relação ao ano t pelo número-índice do ano t em relação ao ano 0 deve ser igual à unidade;
- T 5. Teste de Circularidade: um número-índice deve ser independente da escolha de um terceiro ponto no tempo, ou seja, deve ser decomposto por um produto de dois índices similares onde a base de um deles é o período corrente do outro. Por exemplo  $I_{0,2} = I_{0,1} \cdot I_{1,2}$

Nenhuma fórmula atende a todos os critérios lógicos definidos por FISHER (12). De fato, as fórmulas de Laspeyres e Paasche não atendem aos testes T2, T4 e T5. A fórmula de FISHER (12) não satisfaz apenas T5. No entanto, práticas como o uso de encadeamento e de índices implícitos (por exemplo deflatores implícitos) permitem contornar o não atendimento a alguns desses critérios, como o de circularidade e o de decomposição das causas.

### 3.2 - Considerações sobre a Teoria Econômica dos Números-Índices

É evidente que, de um ponto de vista econômico, não basta analisar os números-índices quanto à sua habilidade em satisfazer os testes discutidos acima. Como já salientamos, é essencial investigar sua compatibilidade com aspectos essenciais da análise econômica.

Nesse sentido, é importante destacar a contribuição de DIVISIA (10), que é a base teórica em que se assenta o desenvolvimento recente da teoria econômica dos números-índices (8). As limitações da utilização de índices de base fixa, que não permitem acompanhar as mudanças que estão sempre ocorrendo na estrutura econômica, despertaram o interesse para o conceito de índice de DIVISIA (10).

Em sua aproximação para a solução do "problema dos números-índices", DIVISIA (10) partiu do critério de decomposição das causas e da hipótese de que alterações na estrutura econômica ocorrem continuamente no tempo, para determinar sua fórmula, definida no tempo contínuo pela integral:

(8) Na literatura econômica brasileira discussões sobre propriedades dos "índices de Divisia" são encontradas em CARVALHO (6), BRANCO (4) e BRANDÃO (5).

$$I_{0,t} = \exp \left( \int \left( \sum_{i=1}^n w_i^j(t) \cdot \frac{q_i^j(t)}{q_i^j(t)} \right) dt \right)$$

$$\text{onde } w_i^j(t) = \frac{p_i^j(t) \cdot q_i^j(t)}{\sum p_i^j(t) \cdot q_i^j(t)}$$

Na expressão acima, nota-se que o Índice de Divisia pode ser entendido como uma média ponderada das taxas de variação de cada componente do agregado, onde os pesos correspondem à participação de cada um no agregado.

No conceito de DIVISIA (10) o sistema de ponderação deve ser ajustado continuamente no tempo. Assim, quaisquer das fórmulas apresentadas, desde que calculadas com um encadeamento a pequenos intervalos de tempo, com base móvel de ponderação, constituem-se em aproximações discretas à integral de Divisia. Uma consequência deste fato é que só em situações muito especiais se justificaria o emprego de números-índices de base fixa, ou mesmo de sistemas de cálculo de índices em que a estrutura de ponderação é alterada a intervalos maiores de tempo. Outro aspecto a observar é que, para setores muito dinâmicos ou sujeitos a sensíveis flutuações ao longo do tempo, como é o caso do setor agrícola, onde ocorrem entre dois períodos significativas mudanças nos preços relativos de produtos e fatores, e alterações por vezes abruptas de quantidades, associadas a variações climáticas e mesmo a choques tecnológicos, é necessária uma atualização mais freqüente da base de ponderação. Estas observações se aplicam a qualquer das fórmulas apresentadas, de maneira que ainda permanece o problema de que fórmula utilizar em cada caso.

Recentemente, como já se mencionou, tem merecido destaque na literatura o estudo das relações entre especificações funcionais a partir de suas posições geralmente admitidas pela análise econômica e fórmulas de números-índices (9). Sob este enfoque um índice é dito "exato" quando é consistente com uma particular forma agregativa.

É interessante iniciar a discussão dessa questão a partir do índice de Laspeyres. O uso desse índice provavelmente generalizou-se não só pela facilidade de uso, mas também de interpretação. A esse respeito, e no caso de sua aplicação à análise da produção, como os preços são mantidos constantes no período base, o índice Laspeyres de quantidade, de produtos ou de fatores claramente indica a mudança do agregado resultante de alterações apenas nas quantidades dos componentes.

Mas qual a efetiva compatibilidade entre a teoria da produção e o

(9) Entre os mais relevantes sobre o assunto recomenda-se SAMUELSON & SWAMY (17) e DIEWERT (8).

Índice Laspeyres de quantidade? Descobriu-se que ele é exato para uma função de produção linear, que como se sabe caracteriza-se pela suposição de que todos os fatores são substitutos perfeitos no processo de produção. Isso implica que um aumento no preço relativo de um fator fará com que ele simplesmente deixe de ser usado. Dito de outra forma, o uso de todos os fatores, no período base e no período de comparação, supõe preços relativos inalterados (CHRISTENSEN 7).

Conquanto nenhum economista defenda o uso de uma função de produção linear como uma boa aproximação do mundo real, muitos tomam, entretanto, essa posição, embora implicitamente, ao usarem índices Laspeyres de quantidade para agregar produtos e fatores e para calcular produtividades. Estas considerações aplicam-se igualmente ao índice Paashe de quantidade que, à semelhança do índice Laspeyres, também é exato para uma função linear (SAMUELSON & SWAMY 17).

A busca de fórmulas exatas ou que se constituam em aproximações para diferentes formas funcionais agregativas tem sido objeto da atenção de vários economistas. Em particular, DIEWERT (8) desenvolveu alguns conceitos relevantes para tratar esta questão, como os de forma funcional "flexível" e de fórmula de número-índice "superlativa".

Uma forma funcional agregativa é flexível se possibilita uma aproximação, até segunda ordem, de uma função linear homogênea arbitrária, que possua derivadas primeira e segunda. Uma fórmula de números-índice é superlativa se é exata (isto é, consistente) para uma forma funcional agregativa flexível. Importante implicação econômica da descoberta de fórmulas superlativas é que, por serem compatíveis com funções de produção (ou utilidade) com diferentes possibilidades de substituição entre fatores (ou bens), tende a modificar-se a concepção bastante difundida de que o uso de números-índice tem como limitação o fato de serem consistentes apenas com especificações funcionais consideradas muito restritivas.

DIEWERT (8) provou que o índice de Törnqvist é exato para uma função agregativa translog homogênea. E, como essa função se aproxima, a segunda ordem, de uma função linear homogênea arbitrária, concluiu que a fórmula de Törnqvist é superlativa. De maneira análoga o mesmo autor mostrou que a função agregativa quadrática de ordem  $r$  homogênea é uma forma flexível e que o índice de Fischer é exato e superlativo para essa especificação quando  $r=2$ .

A função translog e a função quadrática não exigem que os fatores sejam substitutos perfeitos e, assim, se o preço relativo de um fator aumentar, o produtor reduzirá seu uso até que todas as produtividades marginais tornem-se proporcionais aos novos preços, como estabelece a teoria da produção. Correspondentemente, nas fórmulas dos índices de Törnqvist e de Fisher,

os preços não são considerados apenas no período base, como sucede nos índices de Laspeyres e de Paasche, mas são computados no período base e também no período de comparação, representando as produtividades marginais em ambos os períodos.

Tem sido descoberto um número crescente de fórmulas exatas correspondentes a formas agregativas flexíveis. E estas fórmulas, chamadas de superlativas por DIEWERT (8), têm como característica o fato de aproximarem-se entre si, até a segunda ordem, o que limita a amplitude de variação entre aplicações empíricas de fórmulas alternativas. Além disso, este grau de aproximação se mantém mesmo para funções agregativas não homotéticas, como mostrou DIEWERT (9).

Em síntese, por todos os argumentos apresentados, justifica-se a utilização dos índices superlativos.

### 3.3 - Mensuração de Produtividade e do Progresso Tecnológico

Para aplicações na área agrícola, em particular para o cálculo de produtividades, CHRISTENSEN (7) recomenda a utilização das fórmulas superlativas de Fischer e Törnqvist, orientação que será adotada neste trabalho. No entanto, como freqüentemente são mais utilizadas as fórmulas de Laspeyres e Paasche, principalmente a primeira, julgou-se de interesse compará-las, quanto a resultados, com as já citadas Fisher e Törnqvist.

Um dos desdobramentos da utilização de números-índices para medir a produtividade é a utilização do mesmo instrumental econométrico para estimar o progresso técnico. Com efeito, o coeficiente de progresso técnico poderia ser estimado através da variação da produtividade total entre dois períodos de tempo, conforme a expressão:

$$(1 + \Pi) = \frac{IQP}{IQF}, \text{ onde}$$

$\Pi$  = Taxa de progresso técnico;

IQP = Número-índice de quantidades de produtos obtidos;

IQF = Número-índice de quantidades de fatores utilizados; e

IQP/IQF = Número-índice de produtividade total.

Entre os estudos mais citados nessa linha metodológica está o de JORGENSON & GRILICHES (13), que se baseou na fórmula de Törnqvist. Esquema análogo tem sido adotado por outros autores, com o emprego da fórmula de Laspeyres - a de aplicação mais tradicional - e de várias outras fórmulas de números-índices. Inclusive, apesar de não ser de uso freqüente, pode-se pen

sar na utilização de diferentes fórmulas para o numerador e o denominador da expressão de cálculo do coeficiente do progresso técnico.

Evidentemente, pelas razões já discutidas nos tópicos anteriores, a qualidade de qualquer medida empírica de produtividade e progresso técnico, a partir da utilização de números-índices, será tanto mais precisa quanto mais freqüente a atualização da base de ponderação e mais aderente a fórmula usada à função de produção real. Além disso, como apontam DIEWERT (8) e CHRISTENSEN (7), há uma série de restrições teóricas que devem ser atendidas para que a estimação do progresso técnico da forma proposta seja válida. Contudo, tais restrições não invalidam o método, apenas qualificam os resultados obtidos.

Alguns comentários adicionais sobre fatores que podem perturbar a mensuração do progresso tecnológico através de índices de produtividade total são necessários, antes de se passar à parte empírica do trabalho. Entre eles, ressalta-se os efeitos de economias e deseconomias de escala, que serão refletidos nos índices de produtividade, podendo levar a uma superestimação ou subestimação do coeficiente de progresso técnico. De outra parte, a não consideração de alterações de qualidade dos produtos e dos fatores poderá ter efeitos semelhantes. Em particular, uma melhoria da qualidade dos fatores, não refletida no respectivo índice de quantum, poderá causar superestimação do progresso técnico. Lamentavelmente, esses não são problemas de fácil solução.

#### 4 - RESULTADOS EMPÍRICOS

Neste capítulo são apresentadas as estimativas dos índices de quantidades referentes à produção agropecuária e ao uso de fatores de produção. Em seguida, são apresentados os correspondentes índices de produtividade total e de produtividades parciais da terra e do trabalho. Foram utilizadas as fórmulas de Laspeyres, Paasche, Törnqvist e Fisher. Todos os índices foram calculados pelo conceito de base móvel de ponderação e cálculo, sendo portanto aproximações à integral de Divisia. Comparativamente a índices de produção agropecuária que não adotam o princípio de base móvel para ponderação e cálculo, é previsível que os resultados apresentem-se significativamente diferentes, mesmo quando se comparar índices calculados pela mesma fórmula, como Laspeyres, que é a mais usual, por exemplo.

#### 4.1 - Índices Agregados de Produção

Esses índices, calculados para o período 1956-80, agregam 22 dos principais produtos da agropecuária paulista: café, chá, laranja, tangerina, limão, banana, uva, cana-de-açúcar, soja, amendoim, algodão, mamona, milho, arroz, feijão, trigo, mandioca, batata, cebola, tomate, carne bovina e leite<sup>(10)</sup>. Os valores dos diferentes índices são apresentados no quadro 1 e seu comportamento pode ser mais facilmente examinado através da figura 2, onde foram conjuntamente plotados.

Observa-se que todos os índices apresentam a mesma tendência geral de crescimento e movimentam-se na mesma direção, ao longo de todo o horizonte de tempo coberto pelos dados. Não obstante, evidenciam-se também sensíveis diferenças de magnitude. Assim, enquanto o Índice de Laspeyres cresce 240 pontos de porcentagem no período 1956-80, o de Paasche cresce apenas 76 pontos. Já os índices de Fisher e Törnqvist aproximam-se muito, como seria de esperar, por serem ambos superlativos<sup>(11)</sup>, aumentando respectivamente 145% e 150% no mesmo período.

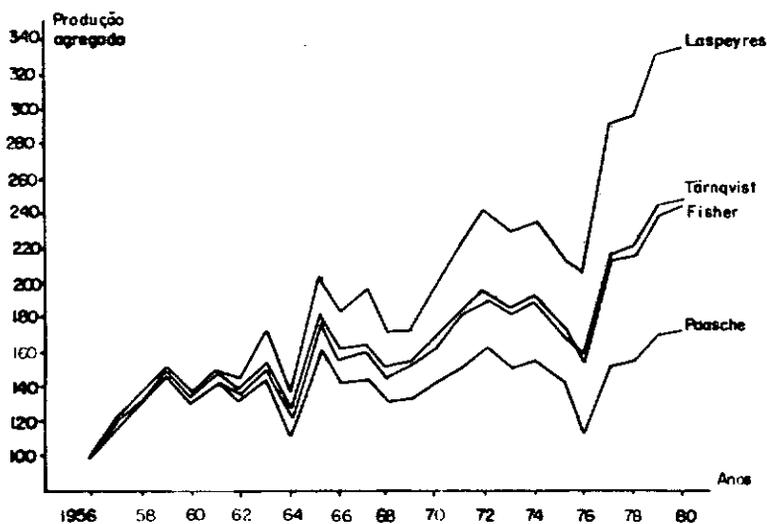


FIGURA 2. - Índices Agregados de Produção Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80

(10) Informações detalhadas sobre fontes de dados podem ser obtidas em SILVA(20).

(11) Ver a esse respeito DIEWERT (9).

QUADRO 1. - Índices Agregados de Produção Agropecuária, Estado de São Paulo,  
1956-80

Ano	Paasche	Laspeyres	Fisher	Törnqvist
1956	100,0	100,0	100,0	100,0
1957	119,3	120,1	119,7	119,7
1958	130,4	131,2	130,8	130,8
1959	146,9	151,0	148,9	149,0
1960	131,0	137,0	134,0	133,4
1961	143,2	150,0	146,6	145,9
1962	132,8	143,4	138,0	136,8
1963	148,5	171,8	155,0	154,2
1964	114,8	135,1	124,5	121,8
1965	161,2	205,3	181,9	179,9
1966	141,1	182,9	169,7	158,4
1967	145,8	189,6	166,2	163,9
1968	131,5	172,8	150,7	148,7
1969	132,3	175,6	152,4	150,6
1970	144,0	198,3	169,0	167,1
1971	151,8	221,2	183,2	181,2
1972	164,7	242,0	199,6	197,6
1973	154,6	225,7	186,8	184,9
1974	159,7	237,8	194,9	193,3
1985	144,0	217,0	176,8	175,0
1976	115,5	209,2	155,4	156,4
1977	156,2	292,9	213,9	218,0
1978	156,8	299,6	216,8	221,3
1979	172,3	334,3	240,0	244,9
1980	176,4	339,9	244,9	249,8

Fonte: Dados básicos do Instituto de Economia Agrícola (IEA).

Para deixar bem evidente a conveniência de se trabalhar com índices de base móvel encadeados, apresenta-se no quadro 2 as participações dos produtos no valor da produção agropecuária, em alguns anos da série. Os dados revelam importantes e frequentes alterações ao longo do período. De qualquer forma, como se está levantando objeção ao uso de índices de base fixa de ponderação e defendendo os de base móvel, pareceu apropriado fazer um contraste. Assim, enquanto o índice Laspeyres base móvel encadeado evoluiu de 100 em 1956 para 340 em 1980, o mesmo índice base fixa cresceu de 100 para 254 no mesmo período <sup>(12)</sup>.

Os resultados empíricos até aqui apresentados, dada a magnitude das discrepâncias entre as diversas medidas de um mesmo fenômeno, tornam mais flagrante a necessidade de se escolher criteriosamente, vale dizer, com apoio na teoria econômica dos números-índices, discutida anteriormente, a fórmula de cálculo apropriada. Essa escolha, repete-se mais uma vez; deve recair nos índices superlativos, no caso os de Törnqvist e Fisher.

#### 4.2 - Índices Agregados de Uso de Fatores de Produção

Os índices de emprego de fatores de produção foram calculados com base em séries de quantidades e preços de 13 fatores de produção <sup>(13)</sup>. Além dos fatores primários - terra e trabalho - foram incluídos fertilizantes, animais de trabalho, tratores, culturas permanentes (café, citros, cana-de-açúcar, banana, uva), pastagens (artificiais e naturais) e rebanho bovino. Foram calculados para o mesmo período, segundo as mesmas fórmulas e bases de ponderação e cálculo usadas para os índices de produção, e são apresentados no quadro 3.

Os resultados obtidos levam a duas constatações imediatas. Em primeiro lugar, nota-se que o emprego global de fatores pela agricultura paulista cresce lentamente durante o período analisado. Em segundo lugar, observa-se que todos os índices captam essa tendência, movimentando-se sempre no mes

---

(12) Essa comparação não é rigorosamente válida porque, para calcular o índice base fixa, tivemos que eliminar quatro produtos (tangerina, limão, uva e trigo), que entretanto representavam apenas 2,5% do valor global da produção em 1980. Para poupar espaço este índice deixa de ser apresentado.

(13) Informações detalhadas sobre fontes de dados podem ser obtidas em SILVA (20).

QUADRO 2. - Participação dos Produtos no Valor da Produção Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80  
(em percentagem).

Produtos	1956	1960	1964	1968	1972	1976	1980
Amendoim	1,27	4,71	5,81	5,65	3,85	2,18	1,28
Algodão	9,32	10,21	10,12	8,34	7,34	5,71	3,63
Arroz	6,85	6,92	10,03	7,73	5,13	4,49	2,18
Banana	0,97	1,43	1,64	1,39	0,54	1,09	0,64
Batata	2,77	2,89	2,50	2,10	2,14	2,73	3,52
Café	31,81	16,01	5,71	9,07	18,76	11,74	14,83
Cana	9,20	10,66	17,90	15,18	12,57	18,58	24,11
Cebola	0,41	0,43	0,80	0,61	0,61	1,22	1,67
Chá	0,08	0,12	0,15	0,22	0,09	0,16	0,12
Feijão	2,20	4,47	1,82	1,50	1,48	3,32	4,85
Laranja	1,19	1,31	2,86	3,18	3,73	3,85	6,09
Limão	-	-	-	-	0,37	0,60	0,34
Mamona	0,33	0,47	0,47	0,85	0,73	0,21	0,13
Mandioca	1,16	1,32	2,03	2,40	2,50	1,38	0,51
Milho	7,08	7,80	7,56	8,71	8,19	8,49	4,64
Soja	0,04	0,05	0,04	0,33	1,31	4,32	4,00
Tangerina	-	-	-	-	0,65	0,68	0,45
Tomate	1,15	2,01	2,67	4,73	2,73	3,63	2,55
Trigo	-	-	-	-	0,20	1,10	0,92
Uva	-	-	-	-	1,24	1,36	0,79
Carne	17,15	21,61	17,60	18,31	18,12	13,72	15,15
Leite	7,03	7,54	10,24	9,70	7,71	9,21	7,54

Fonte: Dados básicos do Instituto de Economia Agrícola (IEA).

QUADRO 3. - Índices Agregados de Uso de Fatores de Produção na Agropecuária,  
Estado de São Paulo, 1956-80

Ano	Paasche	Laspeyres	Fisher	Törnqvist
1956	100,0	100,0	100,0	100,0
1957	96,2	96,6	96,4	96,4
1958	100,2	100,6	100,4	100,4
1959	97,1	97,4	97,3	97,3
1960	102,5	103,3	102,9	102,9
1961	103,5	104,6	104,0	104,1
1962	104,4	105,5	105,0	105,0
1963	109,4	110,7	110,0	110,0
1964	106,9	109,1	108,0	108,0
1965	112,1	114,1	113,0	113,1
1966	107,7	108,8	108,2	108,3
1967	107,4	108,6	108,0	108,1
1968	107,1	108,7	107,9	108,0
1969	100,2	101,9	101,0	101,1
1970	109,9	112,5	111,2	111,3
1971	113,5	116,2	114,8	115,0
1972	112,7	115,4	114,0	114,1
1973	105,6	108,2	106,9	106,9
1974	108,7	111,6	110,1	110,2
1975	103,4	106,3	104,9	104,9
1976	108,3	111,5	109,9	109,9
1977	109,7	112,7	111,2	111,3
1978	115,1	118,5	116,8	116,8
1979	117,1	120,6	118,8	118,9
1980	118,6	121,1	120,1	120,2

Fonte: Dados básicos de SILVA (20).

mo sentido e em magnitudes muito semelhantes, ao contrário do que sucede com os índices de produção. Todos eles apresentam um incremento em torno de 20% entre 1956 e 1980.

Alterações nas participações dos fatores, ocorridas ao longo do período, são evidenciadas pelo exame do quadro 4. Mais uma vez fica claro que o uso de índices com base fixa de ponderação violenta a realidade. Não obstante, no caso dos fatores tais alterações são menos bruscas. Aparentemente por essa razão, quando se contrasta Laspeyres base móvel e base fixa, apenas para efeito ilustrativo, já que não se recomenda o uso deste último, não se observa diferença significativa entre ambos. Partindo de 100 em 1956, o primeiro atingiu 112 e o segundo 120 em 1980 (14).

QUADRO 4. - Participação dos Fatores no Custo da Produção Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80  
(em percentagem)

Fatores	1956	1960	1964	1968	1972	1976	1980
Terra	12,98	14,33	14,83	14,39	14,59	16,75	17,95
Trabalho	54,30	43,13	43,31	45,01	41,92	39,49	35,54
Trator	1,36	4,22	8,19	7,78	7,54	6,15	4,34
Animal de trabalho	1,21	1,58	1,23	0,89	0,63	0,42	0,61
Fertilizante	0,97	1,28	2,15	2,10	3,61	5,63	9,03
Rebanho	5,20	5,98	6,26	6,74	7,59	4,51	6,36
Uva	-	-	-	-	0,10	0,11	0,08
Café	8,68	8,22	6,12	3,39	2,86	1,86	3,76
Citros	0,04	0,09	0,14	0,13	0,28	0,62	0,92
Cana	2,65	3,40	2,05	3,84	4,91	8,12	9,08
Banana	0,55	0,42	0,27	0,18	0,12	0,10	0,10
Pasto artif.	7,65	10,68	11,24	12,05	12,80	12,60	9,99
Pasto natural	4,41	5,67	4,21	3,50	3,05	3,62	2,23

Fonte: Dados básicos de SILVA (20).

(14) Para poupar espaço, este índice deixa de ser apresentado.

No caso deste estudo, portanto, diferentes fórmulas e sistemas de ponderação não produziram resultados sensivelmente diferentes, no que diz respeito ao emprego de fatores de produção. De qualquer forma, permanecem válidas as razões técnicas apresentadas para uso dos índices superlativos.

#### 4.3 - Índices de Produtividade Total

Os índices de produtividade total, obtidos por quociente dos índices agregados de produção e de uso de fatores de produção, calculados pelas fórmulas de Laspeyres, Paasche, Fisher e Törnqvist, com bases móveis de ponderação e cálculo, são apresentados no quadro 5 e figura 3. O exame de seus comportamentos indica grandes discrepâncias, como seria de esperar, embora todos se movimentem no mesmo sentido.

Se entre esses índices com base móvel de ponderação a escolha recaísse no de Laspeyres, o índice, ao final dos 25 anos, atingiria 279, ao passo que o índice de Paasche alcançaria apenas 148. Um índice de Laspeyres com base fixa, reconhecidamente impróprio para a presente aplicação, chegaria a 208 ao final do mesmo intervalo de tempo <sup>(15)</sup>.

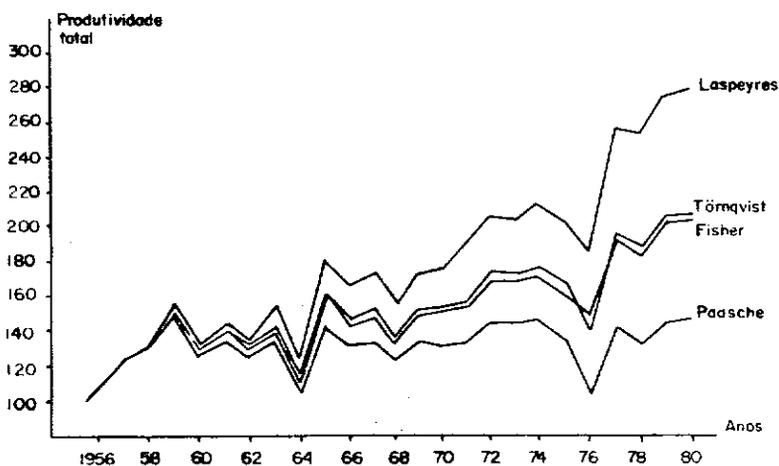


FIGURA 3. - Índices de Produtividade Total na Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80

(15) Para poupar espaço este índice deixa de ser apresentado.

QUADRO 5. - Índices de Produtividade Total na Agropecuária, Estado de São Paulo, 1956-80

Ano	Paasche	Laspeyres	Fisher	Törnqvist
1956	100,0	100,0	100,0	100,0
1957	124,0	124,3	124,2	124,2
1958	130,1	130,4	130,3	130,3
1959	151,3	155,0	153,0	153,1
1960	127,8	132,6	130,2	129,6
1961	138,3	143,4	141,0	140,1
1962	127,2	135,9	131,4	130,3
1963	135,7	155,2	140,9	140,2
1964	107,4	123,8	115,3	112,8
1965	143,8	179,9	160,8	159,1
1966	131,0	168,1	148,5	146,3
1967	135,7	174,6	153,9	151,6
1968	122,8	159,0	139,7	137,7
1969	132,0	172,3	150,9	149,0
1970	131,0	176,3	152,0	150,1
1971	133,7	190,4	159,6	157,6
1972	146,1	209,7	175,1	173,2
1973	146,4	208,6	174,7	173,0
1974	146,9	213,1	177,0	175,4
1975	139,3	204,1	168,5	166,8
1976	106,6	187,6	141,4	142,3
1977	142,4	259,9	192,4	195,9
1978	136,2	252,8	185,6	189,5
1979	147,1	277,2	202,0	206,0
1980	148,7	279,3	203,9	207,8

Fonte: Dados dos quadros 1 e 3.

É claro, entretanto, que todos esses índices, inclusive os calculados como aproximações a Divisia, devem ser vistos com grande reserva, pelas razões teóricas amplamente discutidas em capítulo anterior. Tais índices foram incluídos nesta parte empírica do trabalho exatamente com o objetivo de contrastar resultados e chamar atenção para a possibilidade de se chegar a conclusões tão diferentes, com base no mesmo conjunto de dados, devido a sutilezas metodológicas nem sempre levadas na devida consideração, em muitas investigações empíricas.

Passando ao exame dos índices de Fisher e Törnqvist, muito mais consistentes com as suposições geralmente admitidas pela teoria econômica, e provavelmente muito mais aderentes às condições reais em que se desenvolve a produção, veremos que os resultados são muito semelhantes entre si e divergentes tanto em relação ao de Laspeyres como ao de Paasche. A produtividade total medida por aqueles dois índices superlativos atingiu 204 e 208, respectivamente.

#### 4.4 - Índices de Produtividades Parciais da Terra e do Trabalho

Nessa parte são apresentadas estimativas da produtividade da terra e do trabalho, utilizando-se as mesmas fórmulas de números índices em que se baseou o cálculo da produtividade total.

Observa-se no quadro 6 a grande discrepância nos valores dos índices no final do período 1956-1980, tanto para a terra como para o trabalho. Tal como verificou-se com a produtividade total os únicos índices que apresentaram evolução semelhante são os de Törnqvist e Fisher, enquanto os de Laspeyres e Paasche são claramente divergentes entre si e dos dois outros índices citados. De fato, para a produtividade da terra, enquanto o índice de Laspeyres atinge 313, o de Paasche alcança apenas 162, em 1980, e os de Törnqvist e Fisher, respectivamente, 230 e 225. Para o trabalho, o índice de Laspeyres é de 445, o de Paasche 231 e os Törnqvist e Fisher, de 327 e 321.

Outra conclusão permitida pela visualização do quadro é que, segundo qualquer uma das fórmulas, em São Paulo, a agricultura apresentou expressivos ganhos de produtividade dos fatores primários, maior no caso do trabalho. Em termos de taxas de crescimento, calculadas a partir de índices Fisher, a produtividade da terra cresceu 2,25% ao ano no período 1956-80, enquanto a do trabalho aumentou 3,96% ao ano no mesmo período, conforme mostra o quadro 7 <sup>(16)</sup>.

<sup>(16)</sup> O crescimento da produtividade da terra mostrou-se muito mais intenso na segunda metade do período. Para melhor compreensão deste comportamento ver SILVA (20).

QUADRO 6. - Índices de Produtividade da Terra e do Trabalho na Agropecuária,  
Estado de São Paulo, 1956-80

Ano	Terra				Trabalho			
	Lasp.	Paas.	Fish.	Törn.	Lasp.	Paas.	Fish.	Törn.
1956	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1957	120,8	120,0	120,4	120,4	128,7	127,9	128,3	128,3
1958	128,1	127,3	127,7	127,7	135,8	135,0	135,4	135,4
1959	148,0	144,0	146,0	146,1	166,7	162,1	164,3	164,5
1960	128,8	123,1	125,9	125,4	141,2	135,1	138,1	137,5
1961	139,4	133,1	136,2	135,6	156,9	149,8	153,5	152,6
1962	129,4	119,9	124,5	123,5	153,0	141,7	147,3	146,0
1963	147,7	127,7	133,3	132,6	179,1	154,8	161,6	160,8
1964	109,5	93,0	100,9	98,7	148,9	126,6	137,3	134,3
1965	171,4	134,6	151,8	150,2	214,7	168,6	190,3	188,2
1966	141,8	109,4	124,6	122,8	216,4	167,0	190,2	187,5
1967	148,7	114,3	130,3	128,5	228,7	175,9	200,5	197,7
1968	137,4	104,5	119,8	118,2	214,1	162,9	186,7	184,3
1969	144,2	108,6	125,1	123,6	229,8	173,2	199,5	197,1
1970	162,9	118,3	138,0	137,3	241,5	175,4	205,8	203,5
1971	175,8	120,7	145,6	144,0	264,0	181,1	218,6	216,2
1972	198,5	135,1	163,7	162,1	298,4	203,1	246,1	243,6
1973	184,4	126,3	152,6	151,1	312,6	214,1	258,7	256,1
1974	200,0	134,3	163,9	162,6	313,3	210,4	256,8	254,7
1975	196,0	130,1	153,7	158,1	304,3	201,9	248,0	245,4
1976	189,7	104,7	140,9	141,8	280,8	155,0	208,6	209,3
1977	267,7	142,8	195,5	199,3	400,1	213,4	292,2	297,8
1978	268,5	140,5	194,3	198,3	388,6	203,4	281,2	287,0
1979	300,1	154,7	215,4	219,8	433,0	223,2	310,9	317,2
1980	313,3	162,6	225,7	230,2	445,5	231,2	321,0	327,4

Fonte: Dados básicos do Instituto de Economia Agrícola (IEA).

#### 4.5 - Progresso Tecnológico na Agricultura Paulista

Como se viu anteriormente, sob as hipóteses então mencionadas a taxa de crescimento da produtividade total constitui uma medida do progresso tecnológico. Contudo, a qualidade desta medida depende, pelas razões também já apontadas, da fórmula de número-índice utilizada.

O exame do quadro 7 mostra que a taxa média anual de crescimento da produtividade total, vale dizer a taxa de progresso tecnológico, teria variado de 0,6% a 3,4% no período 1956-80, conforme as aproximações de Paasche e de Laspeyres, com a ressalva de que essas fórmulas são aqui consideradas apenas para efeito de comparação, uma vez que, embora freqüentemente usadas, são consideradas impróprias.

Como seria de esperar, os resultados obtidos a partir das melhores fórmulas, Törnqvist e Fisher, são muito próximas, 2,1% e 2,0% nessa ordem. Considerando-se os subperíodos 1956-67 e 1968-80 e as fórmulas superlativas, constata-se que no segundo subperíodo o progresso tecnológico foi mais aumentado. Aparentemente isso ocorreu em função de um significativo esforço de pesquisa e de uma política agrícola mais favorável à absorção dos avanços tecnológicos pelo setor produtivo (17).

Finalmente, julga-se interessante comparar esses resultados com medidas similares para outras regiões. Face à inexistência de dados para o Brasil, só foi possível fazer comparação com outros países, desenvolvidos e em desenvolvimento.

Infere-se dos dados reunidos nos quadros 8, 9 e 10 que a performance da agricultura paulista compara-se favoravelmente às das outras regiões consideradas, exceto alguns estados da Índia durante o intervalo 1963-71. Essas comparações confirmam o dinamismo da agricultura paulista, que vem experimentando intenso processo de modernização, mais acelerado na segunda metade do período analisado (18).

---

(17) Ver a respeito SILVA (20).

(18) Chama-se atenção para o fato de que essas comparações devem ser vistas com cuidado, devido à diversidade metodológica dos estudos citados. O de BEHRENS & HAEN (3) utiliza índice de Törnqvist, com ponderações variando a cada ano, o de EVERSON & JHA (11) índice de Laspeyres, com ponderações variando a cada quinquênio; enquanto o índice publicado em AGRICULTURAL STATISTICS (1) é também Laspeyres, mas com ponderações variando a longos intervalos de tempo, conforme informa CHRISTENSEN (7).

QUADRO 7. - Taxas Anuais de Crescimento das Produtividades Parciais da Terra e do Trabalho, e da Produtividade Total dos Fatores, Estado de São Paulo, 1956-80 (1)

Período	Índice	1956-67	1968-80	1956-80
Terra	Laspeyres	2,33*	6,50*	3,72*
	Paasche	-0,40	2,82*	0,08*
	Fisher	0,93	4,66*	2,25*
	Törnqvist	0,76	5,08*	2,27*
Trabalho	Laspeyres	5,98*	5,80*	5,42*
	Paasche	3,25*	2,12*	2,47*
	Fisher	4,58*	3,96*	3,96*
	Törnqvist	4,41*	4,29*	4,03*
Fatores agregados	Laspeyres	3,63*	4,33*	3,40*
	Paasche	1,03	0,07	0,57
	Fisher	2,30*	2,54*	1,99*
	Törnqvist	2,13*	2,88*	2,06*

(1) Calculadas através da fórmula  $y = a.e^{bt}$ . O sinal \* indica significância 5%.

Fonte: Dados dos quadros 5 e 6.

QUADRO 8. - Taxas Anuais de Crescimento da Produtividade Total na Agricultura em Países da Comunidade Econômica Européia, 1963-76 (em percentagem)

País	1963-1970	1970-1976	1963-1976
Alemanha Ocidental	1,56	2,57	2,02
França	1,73	1,47	1,61
Itália	1,45	0,85	1,17
Holanda	2,49	2,41	2,45
Bélgica/Luxemburgo	1,36	2,55	1,85
Reino Unido	1,47	1,34	1,41
Irlanda	1,54	2,60	1,98
Dinamarca	1,05	2,07	1,47

Fonte: BEHRENS & HAEN (3).

QUADRO 9. - Taxa anual de Crescimento da Produtividade Total na Agricultura nos Estados Unidos, 1931-80  
(em percentagem)

Período	Taxa	Período	Taxa
1931-43	1,71	1944-67	1,43
1931-55		1944-80	1,27
1931-67	1,56	1956-67	1,02
1931-80	1,41	1956-80	1,09
1944-55	1,11	1968-80	1,53

Fonte: Dados básicos de AGRICULTURAL STATISTICS (1).

QUADRO 10. - Taxas Anuais de Crescimento da Produtividade Total na Agricultura em Estados da Índia, 1953/56 - 1969/71

Estados	1953/56	1958/61	1963/65
	1958/61	1963/65	1969/71
Assam	-2,27	-0,18	3,98
Gujarat	0,74	2,81	4,78
Haryana	2,41	-0,70	16,10
Mysore	1,03	0,69	0,27
Orissa	-1,34	1,93	1,30
Punjab	2,41	0,52	13,40
Rajasthan	0,09	-0,99	12,70
Tamil Nadu	1,49	-1,43	0,61
Uttar Pradesh	0,43	0,66	1,93

Fonte: EVERSON & JHA (11).

## 5 - CONCLUSÕES

A análise desenvolvida sugere, de um ponto de vista teórico, a conveniência de um maior esforço no sentido de se utilizar medidas de produtividade total em substituição a medidas de produtividade parcial, particularmente nos estudos sobre progresso tecnológico na agricultura.

Recomenda, no que diz respeito ao instrumental quantitativo, que tais medidas sejam obtidas através de índices superlativos. Isso implicaria mudanças nos sistemas existentes de indicadores de produção - implantação de sistemas de indicadores de emprego de fatores ainda inexistentes no Brasil, apesar de sua evidente importância.

Com relação aos resultados empíricos, observou-se para os índices agregados de produção e de uso de fatores, calculados por todas as fórmulas, acentuada tendência de crescimento dos primeiros e pequeno aumento dos segundos.

O maior crescimento dos índices agregados de produção esteve associado a uma maior dispersão dos resultados, distanciando-se os índices de Laspeyres e de Paasche, enquanto os de Fisher e de Törnqvist mostraram-se muito aproximados. Semelhante dispersão não ocorreu no caso dos índices agregados de fatores. Em consequência, o comportamento dos índices de produção refletiu-se nos índices de produtividade total, bem como nos de produtividades parciais.

Finalmente, o comportamento da produtividade total mostra que a agricultura paulista vem experimentando rápido progresso tecnológico comparável ao de outros países desenvolvidos e em desenvolvimento.

## LITERATURA CITADA

1. AGRICULTURAL STATISTICS. Washington, USDA, 1962, 1970, 1983.
2. ALVES, E.R. de A. A produtividade da agricultura. Brasília, s.c.p., 1979. 34p.
3. BEHRENS, R. & HAEN, H. Aggregate factor input and productivity in agriculture: a comparison for the Ec-member countries, 1963-76. European Review of Agricultural Economics, The Hague, 7(2): 109-146, 1980.

4. BRANCO, R.C. Uma nota sobre os Índices Divisia. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, 31(2):425-432, abr.-jun. 1977.
5. BRANDÃO, A.S.P. Índices de Divisia, integrais curvilíneas e índices econômicos. Revista de Econometria, Brasília, 1(2):107-127, nov.1981.
6. CARVALHO, J.L. Uma nota sobre números-índices. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, 29(1):60-88, jan.-mar. 1975.
7. CHRISTENSEN, L.R. Concepts and measurement of agricultural productivity. American Journal of Agricultural Economics, Lexington, 57(5):910-915, Dec. 1975.
8. DIEWERT, W.E. Exact and superlative index numbers. Journal of Econometrics, Amsterdam, 4(2):115-145, May 1976.
9. DIEWERT, W.E. Superlative index numbers and consistency in aggregation. Econometrica, Bristol, 46(4):883-900, July 1978.
10. DIVISIA, F. L'Indice Monétaire et la Théorie de la Monnaie. Revue d'Economie Politique, Paris, 39:980-1008, 1925.
11. EVENSON, R.E. & JHA, D. The contribution of agricultural research system to agricultural production in India. Indian Journal of Agricultural Economics, Delhi, 28(4):212-230, Oct.-Dec. 1973.
12. FISHER, I. The making of index numbers. Boston, Houghton Mifflin, 1922.
13. JORGENSON, D.W. & GRILICHES, Z. "Issues in growth accounting: a reply to Edward F. Denisar". Survey of Current Business, 55(5):65-94, 1972.
14. NADIRI, M.I. Some approaches to the theory and measurement of total factor productivity: a survey. Journal of Economic Literature, Nashville, 8(4):1137-1177, Dec. 1970.
15. PASTORE, A.C.; ALVES, E.R. de A.; RIZZIERI, J.A.B. A inovação induzida e os limites à modernização na agricultura brasileira. Revista de Economia Rural, Brasília, 14(1):257-285, 1976.
16. PROGNÓSTICO. São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, IEA, 1983. v.12.

17. SAMUELSON, P.A. & SWAMY, S. Invariant economic index numbers and canonical duality: survey and synthesis. The American Economic Review, Nashville, 64(4):566-593, Sep. 1974.
18. SÃO PAULO. Secretaria da Agricultura. IEA. Desenvolvimento da Agricultura Paulista. São Paulo, 1972. 319p.
19. SILVA, G.L.S.P. da. Evolução e determinantes da produtividade agrícola: o caso da pesquisa e da extensão rural em São Paulo. São Paulo, FEA/USP, 1982. 230p. (Tese-Doutoramento)
20. ----- . Produtividade agrícola, pesquisa e extensão rural. São Paulo, IPE/USP, 1984. (Série Ensaios Econômicos, 40)
21. SWAMY, S. Consistency of Fisher's tests. Econometrica, Bristol, 33(3):619-623, July 1965.
22. VERA FÓ, F. & TOLLINI, H. Progresso tecnológico e desenvolvimento agrícola. In: VEIGA, Alberto, coord. Ensaio sobre política agrícola brasileira. São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1979. p.87-136.

#### RESUMO

O trabalho focaliza os conceitos de produtividade parcial, produtividade total e progresso tecnológico. Discute problemas de mensuração de produtividade, com base na moderna teoria econômica dos números-índices. Apresenta estimativas e comparações de alguns índices de produtividade da terra e do trabalho, e de produtividade total dos fatores. Finalmente, o trabalho sugere modificações de sistemas de índices econômicos presentemente usados.

HOW TO MEASURE AGRICULTURAL PRODUCTIVITY: CONCEPTS, METHODS AND APPLICATIONS  
IN THE CASE OF SÃO PAULO, BRAZIL

SUMMARY

The paper focuses the concepts of partial productivity, total factor productivity and technological progress. Productivity measurement problems are discussed on the basis of the modern theory of index numbers. Estimates and comparisons of some land, labor and total factor productivity indexes are presented. Finally, the paper suggests modifications of presently used systems of economic indexes.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA

**Comissão Editorial:**

**Coordenador:**

**Celuta Moreira Cesar Machado**

**Membros:**

**Antônio Augusto Botelho Junqueira**

**Antonio Ambrosio Amaro**

**Arthur Antonio Ghilardi**

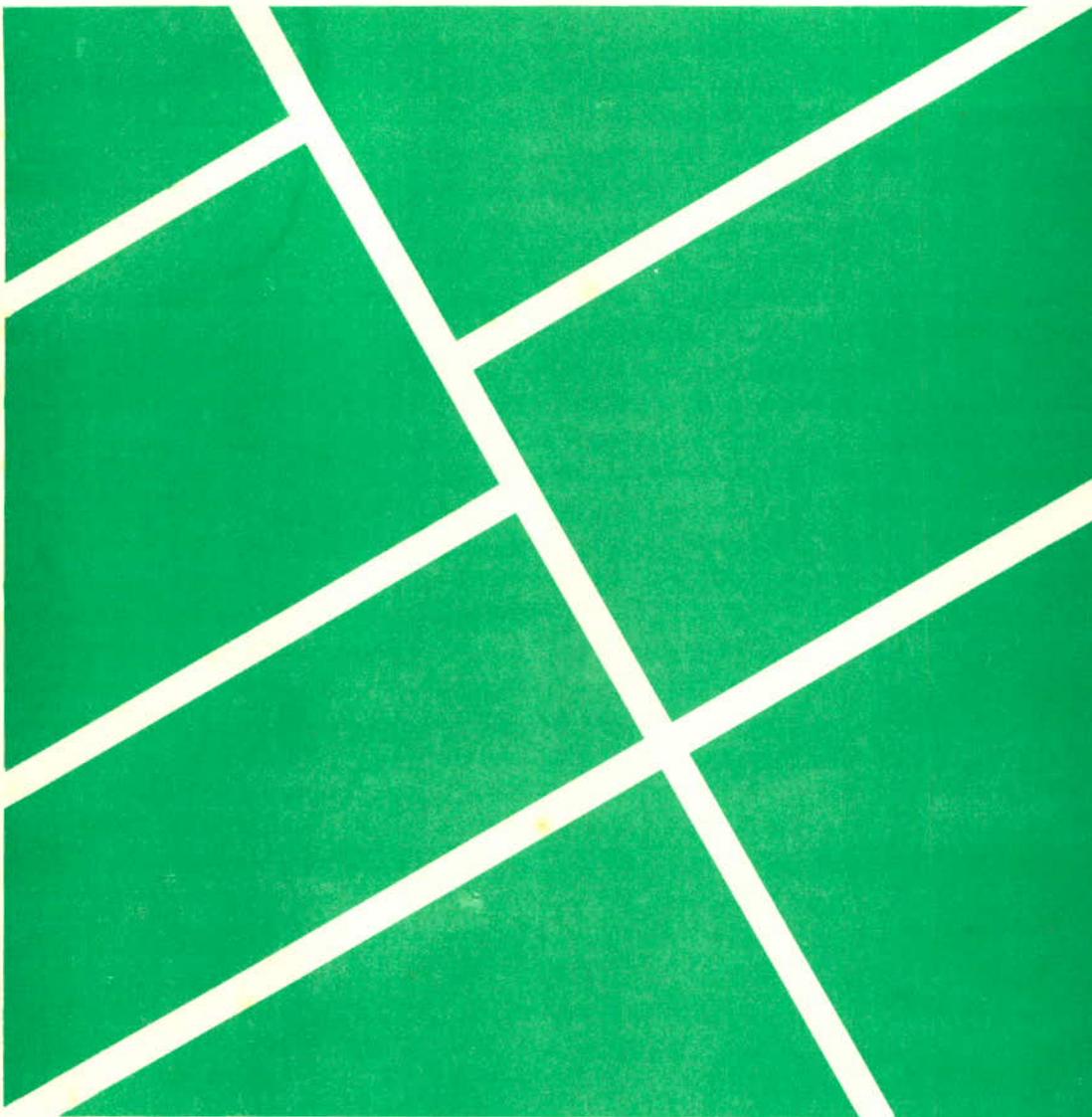
**Flavio Condé de Carvalho**

**José Luis Teixeira Marques Vieira**

**Maria Carlota Meloni Vicente**

**Bibliografia:**

**Fátima Maria Martins Saldanha Faria**



Relatório de Pesquisa  
Nº 3/86

Governo do Estado de São Paulo  
Secretaria de Agricultura e Abastecimento  
Coordenadoria Sócio-Econômica

Instituto de Economia Agrícola