

IMPACTO DA MUDANÇA TECNOLÓGICA NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA: APROXIMAÇÃO DE UMA ANÁLISE DINÂMICA

Teobaldo Campos Mesquita¹

RESUMO

O trabalho procura testar um instrumental analítico capaz de avaliar a influência da mudança tecnológica na produção. Utilizou-se um modelo polinomial de regressão com defasagens distribuídas, tendo-se analisado três produtos: arroz, milho e trigo. As principais conclusões do trabalho foram: (a) o modelo mostrou-se adequado para os produtos analisados; (b) as defasagens ótimas para arroz, milho e trigo são, respectivamente, de 6, 4 e 5 anos.

IMPACT OF TECHNOLOGICAL CHANGE ON AGRICULTURAL PRODUCTION: A DYNAMIC ANALYSIS APPROXIMATION

ABSTRACT

The work aims at testing an appropriate analytical framework to evaluate the influence of technological change on production. A lagged polynomial regression model was adjusted. The crops analyzed were rice, corn and wheat. The paper's main conclusions are the following: (a) the model adjusted well for the crops analyzed; (b) the optimum lags for rice, corn and wheat were 6, 4 and 5 years, respectively.

INTRODUÇÃO

A partir da década de 60, o progresso tecnológico no setor agrícola tem-se constituído numa das principais preocupações dos países em desenvolvimento, exigindo de governos e instituições privadas grandes inversões de recursos na geração e difusão de tecnologias capazes de proporcionar à agricultura condições de atender à demanda crescente de alimentos e matérias-primas.

¹ Prof. Titular do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, Caixa Postal 12.168, Fortaleza, Ceará.

A maior dificuldade relacionada com esses investimentos é que a internalização dos ganhos da inovação tecnológica nem sempre é possível, devido ao fato de a maioria das tecnologias ter o caráter de bens públicos. Exceto nos casos de inovações tecnológicas cuja utilização é regulada pelo sistema de patentes, a geração de tecnologia não dá lucro e, portanto, não é de interesse de firmas competitivas. Por causa disto, o custo da pesquisa tem de ser socializado, cabendo ao governo a responsabilidade principal pela oferta de inovações tecnológicas.

Mesmo neste caso, porém, a geração de tecnologia só será economicamente viável se os benefícios sociais excederem os custos sociais. Portanto, a fim de direcionar convenientemente a alocação dos recursos da sociedade, é importante que os resultados da pesquisa sejam periodicamente avaliados, usando-se modelos analíticos que captem, da melhor maneira possível, as relações benefício/custo envolvidas no processo de mudança tecnológica.

Na literatura científica disponível, a referência mais antiga sobre a aplicação de modelos analíticos à avaliação dos resultados da pesquisa agrícola é o trabalho de Griliches (1958), que determinou os benefícios gerados pelos investimentos em pesquisa de milho híbrido nos Estados Unidos, utilizando o conceito de excedente econômico de Marshall. Vários autores utilizaram a mesma fundamentação teórica para avaliar a pesquisa agrícola relacionada com produtos específicos, começando por Ayer & Schuh (1975), que estimaram os impactos econômicos dos investimentos em pesquisa do algodão em São Paulo, e prosseguindo com as avaliações feitas por Monteiro (1975), Fonseca (1976), Moricochi (1980) e Ávila (1981), para as culturas de cacau, café, citros e arroz, respectivamente.

Outra abordagem empregada para verificar a existência de relações causais entre a tecnologia e o resultado final do processo produtivo utiliza explicitamente a função de produção, em que a tecnologia entra como uma das variáveis explicativas dos efeitos verificados sobre a produção. Um trabalho clássico nessa área é o de Griliches (1964), que relacionou os gastos em pesquisa e extensão na agricultura dos Estados Unidos com o valor da produção agrícola, através de uma função de produção agregada em que os gastos com extensão e pesquisa são as variáveis independentes e o valor da produção é a variável dependente.

No Brasil, Cruz et al. (1982) avaliaram a rentabilidade social dos investimentos em pesquisa feitos pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) através das taxas de retorno dos investimentos totais

e em capital fixo, tomando como base os benefícios das tecnologias geradas no período 1974/1981, medidos junto aos agricultores. Usando procedimentos semelhantes, outras avaliações foram feitas por autores diversos, no âmbito da própria Embrapa ou de outras instituições de pesquisa agrícola do País, podendo-se destacar os trabalhos de Roessing (1984), sobre a pesquisa de soja no Centro Nacional de Pesquisa da Soja, e o de Ribeiro (1982), sobre as pesquisas de arroz, algodão e soja feitas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig) naquele Estado.

Uma característica comum a todos esse modelos é que eles devem levar em conta, implícita ou explicitamente, a variável tempo, já que a resposta da produção à mudança tecnológica não é instantânea, ou seja, existe sempre uma defasagem entre a causa e o efeito.

Outra questão importante a ser considerada é que, como se mostrará na seção seguinte, o efeito da tecnologia sobre a produção não se manifesta de uma só vez; este efeito é gradual e normalmente distribuído no tempo, de modo que nos primeiros períodos após a introdução da tecnologia, já ocorre um influência pequena, porém não desprezível, sobre a produção. Esta influência cresce nos períodos subsequentes, atinge um máximo e começa a se reduzir gradualmente a partir daí. O que se quer afirmar com isto é que o efeito da tecnologia não é pontual, mas sim distribuído ao longo de um certo tempo, dentro do qual se observa um valor máximo e também outros valores menores, porém significantes, à esquerda e à direita deste máximo.

A grande maioria dos trabalhos que relacionam a mudança tecnológica com a produção na agricultura não leva em conta essa importante característica do processo. Como pode ser verificado na literatura referida, os autores incorporam nos modelos uma dada defasagem, suposta mais ou menos arbitrariamente como a ideal, e determinam o impacto da mudança tecnológica em um único ponto no tempo.

No sentido de contribuir para a solução desse problema, este trabalho tem como principal objetivo testar um instrumental metodológico que possibilite identificar como a mudança tecnológica afeta a produção, determinando não só o período em que se verifica o efeito máximo de uma variável sobre a outra (defasagem “ideal”), mas também a distribuição desse efeito ao longo do tempo, de modo que se possa calcular o impacto total da tecnologia durante toda a sua vida útil.

O PROCESSO DE MUDANÇA TECNOLÓGICA NA AGRICULTURA

Pode-se definir mudança tecnológica como um processo através do qual um indivíduo ou grupo de indivíduos passa do primeiro contato com uma inovação até o uso completo e contínuo da mesma. Uma inovação é uma idéia ou prática percebidas como novas por um indivíduo, embora esta idéia ou prática possam não ser objetivamente novas.

De acordo com Rogers (1983), a tecnologia faz parte de um plano de ação instrumental que reduz a incerteza a respeito das relações causa-efeito envolvidas na tentativa de se obter um resultado desejado. O conceito envolve dois aspectos: um aspecto “hardware”, que apresenta a tecnologia sob a forma de objetos físicos ou materiais, e um aspecto “software”, que consiste na informação básica necessária para usar esses objetos, sendo este o principal elemento da redução da incerteza quanto às conseqüências do uso da tecnologia. Assim sendo, conclui Rogers, o processo de decisão para inovar é essencialmente uma atividade de busca e processamento de informações que proporcionam ao indivíduo um melhor conhecimento sobre as vantagens e desvantagens da inovação.

O processo de mudança tecnológica compreende as seguintes etapas (Rogers, 1983): conhecimento, convicção, decisão, implementação e confirmação. O conhecimento se dá quando o indivíduo fica sabendo da existência da tecnologia (portanto, uma nova tecnologia, do seu ponto de vista) e obtém informações preliminares a respeito do seu funcionamento; a convicção ocorre quando, baseado em informações mais precisas, o indivíduo forma opinião favorável ou contrária à inovação; a conseqüente escolha entre adotar ou rejeitar a nova técnica caracteriza a fase de decisão, seguida da implementação, que ocorre quando a decisão é posta em prática. Finalmente, a confirmação envolve a avaliação dos resultados, para reforçar a decisão tomada ou para reverter essa decisão.

Como se observa, um elemento importante no processo de mudança tecnológica é o tempo, tendo em vista que as diversas etapas não são instantâneas nem ocorrem simultaneamente, devendo normalmente obedecer à seqüência descrita acima.

Além disso, é importante observar que uma mudança tecnológica em termos mais abrangentes só ocorre quando se verifica a adoção de uma ou mais tecnologias novas por parte de um considerável número de indivíduos.

Em vista disso, faz-se necessário definir mais precisamente dois conceitos: adoção e disseminação.

Para os objetivos da presente discussão, a adoção de tecnologia será definida como uma decisão individual favorável ao uso de uma ou mais tecnologias, enquanto o termo disseminação será usado para expressar as decisões do conjunto de indivíduos de um determinado sistema social (ou a soma das decisões individuais) a respeito do uso das mesmas tecnologias. Desta forma, a mudança tecnológica, do ponto de vista “macro”, pressupõe a ocorrência dos dois resultados: a adoção e a disseminação.

A taxa de disseminação pode ser definida como a frequência dos membros de um sistema social que adotam uma inovação por intervalo de tempo. De acordo com Rogers (1983), a frequência acumulada dos indivíduos que adotam uma nova tecnologia, plotada em um gráfico por períodos de tempo sucessivos e iguais, descreve uma curva em forma de S. Nos períodos iniciais após o surgimento da tecnologia, poucos indivíduos adotam a inovação; à medida que mais e mais pessoas começam a usar a nova técnica, observa-se um crescimento rápido da curva; porém, nos períodos finais, a proporção de novos adotantes é cada vez menor, até que a curva se estabiliza, indicando o final do processo de disseminação.

Outra maneira de representar graficamente esta dinâmica é considerar, ao invés da frequência acumulada, o número absoluto ou a frequência simples de pessoas que adotam a nova tecnologia, por período de tempo. Expresso deste modo, o processo de disseminação apresenta-se sob a forma aproximada de uma curva normal. Segundo Rogers, isto pode ser justificado pelo “efeito difusão”, definido como o grau cumulativamente crescente de influência que sofre um indivíduo para adotar ou rejeitar uma inovação. No início do processo o efeito difusão é crescente; entretanto, começa a declinar depois que a metade dos indivíduos do sistema social já adotou a nova idéia, porque é cada vez mais difícil para um novo adotante influenciar alguém que ainda não adotou, visto que as pessoas que não conhecem a idéia tornam-se cada vez mais escassas.

Admitindo-se o pressuposto de que o efeito de uma nova tecnologia sobre a produção é uma função direta da sua taxa de disseminação em um dado momento, pode-se esperar que, *ceteris paribus*, a evolução desse efeito durante um certo intervalo de tempo apresente também a configuração aproximada de uma curva normal, ou seja, cresça nos períodos iniciais, atinja um máximo e passe a decrescer no anos subseqüentes.

METODOLOGIA

Com base no que foi discutido no item anterior, pode-se admitir que o efeito de uma nova tecnologia sobre a produção agrícola não se manifesta integralmente em um único ponto no tempo nem se esgota totalmente após esse ponto. Na realidade, a mudança tecnológica é um processo, de tal forma que uma tecnologia comunicada aos usuários potenciais em t começa a produzir efeitos em $t + 1$ e segue afetando a produção em $t + 2, t + 3, \dots, t + n$. Alternativamente, pode-se dizer que a produção em t é uma função da tecnologia disponível em $t - 1, t - 2, \dots, t - n$, ou

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \dots + \beta_n X_{t-n} + \beta_{n+1} R_t + \mu_t \quad (1)$$

onde Y_t representa a produção no ano t ; X_{t-i} ($i = 1, \dots, n$) representa a tecnologia à disposição dos agricultores nos anos $t - 1, t - 2, \dots, t - n$; R_t representa outras variáveis relevantes do modelo e μ_t representa o efeito aleatório das variáveis não consideradas na análise. β_0 é o intercepto e os β_i ($i = 1, \dots, n + 1$) são os parâmetros da equação.

Uma exigência adicional imposta pela natureza do processo de mudança tecnológica é que os β devem ser inicialmente crescentes e depois decrescentes. Na literatura especializada² esta distribuição é chamada de “distribuição defasada de V invertido”, sendo sugeridas pelo menos duas maneiras pelas quais ela pode ser formulada: a distribuição defasada de Pascal e o modelo polinomial defasado. Nos dois casos, a equação (1) é reescrita como:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 (w_1 X_{t-1} + w_2 X_{t-2} + \dots + w_n X_{t-n}) + \beta_2 R_t + \mu_t \quad (2)$$

e o problema consiste na estimação dos w_i ($i = 1, \dots, n$), que representam a importância relativa (pesos) de cada variável defasada sobre a produção. A diferença principal entre os dois métodos é a forma de estimação dos pesos, porque no modelo polinomial esta estimação é bem mais simples. Por esta razão, este modelo foi escolhido como instrumento de análise para o presente trabalho.

² Ver, por exemplo, Kmenta (1978), Koutsoyannis (1977) e Pindick & Rubinfeld (1976).

Modelo Polinomial Defasado

Neste modelo supõe-se que os pesos w_i na equação (2) podem ser determinados por um polinômio de grau r , tal que:

$$w_i = c_1i + c_2i^2 + \dots + c_r i^r \quad (3)$$

onde i ($i=1, \dots, n$) representa cada período de defasagem e C_j ($j=1, \dots, r$) são os coeficientes do polinômio a ser estimado.

Substituindo-se w_i (equação 3) na especificação original (equação 2), tem-se:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1(c_1 + c_2 + \dots + c_r)X_{t-1} + \beta_1(2c_1 + 2^2c_2 + \dots + 2^r c_r)X_{t-2} + \beta_1(nc_1 + n^2c_2 + \dots + n^r c_r)X_{t-n} + \beta_2R_t + \mu_t \quad (4)$$

Após uma recombinação conveniente dos termos, a expressão (4) torna-se:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1c_1(X_{t-1} + 2X_{t-2} + \dots + nX_{t-n}) + \beta_1c_2(X_{t-1} + 2^2X_{t-2} + \dots + n^2X_{t-n}) + \beta_1c_r(X_{t-1} + 2^rX_{t-2} + n^rX_{t-n}) + \beta_2R_t + \mu_t \quad (5)$$

A equação (5) pode então ser estimada pelos mínimos quadrados ordinários e, se o termo de erro (μ_t) satisfizer aos pressupostos do modelo de regressão clássico, as estimativas resultantes terão todas as propriedades desejáveis (Kmenta, 1978). Observe-se, no entanto, que essas estimativas se referem aos valores de $\beta_1c_1, \beta_1c_2, \dots, \beta_1c_r$. Para chegar aos valores dos c_j ($j = 1, \dots, r$), Pindick & Rubinfeld (1976) sugerem fazer $\beta_1 = 1$, admitindo que os pesos estimados incorporam o efeito do verdadeiro parâmetro β_1 . Uma vez conhecidos os c_j , os pesos correspondentes a cada período (w_i) serão facilmente obtidos através da expressão (3).

A especificação do modelo polinomial de defasagens distribuídas (ou modelo polinomial defasado) é razoavelmente flexível, tanto com relação à escolha do grau do polinômio, como no que se refere à fixação do número de defasagens. A esse respeito, Pindick & Rubinfeld afirmam que, em geral, um polinômio de terceiro ou quarto graus proporciona uma aproximação suficientemente confiável da estrutura de defasagem, embora possam ser especificados polinômios de graus superiores, desde que se disponha de um número adequado de observações. Quanto ao número de defasagens, a escolha depende mais da natureza do problema que se está analisando, de

modo que não há regras específicas quanto a isto. Um procedimento sugerido por Kmenta (1978) é escolher o número de defasagens que resulta no mais alto valor do R^2 ajustado pelos graus de liberdade. Entretanto, o próprio Kmenta adverte que isto pode não ser um bom critério se as diferenças entre os vários valores do R^2 ajustado forem muito pequenas. Além disso, acrescentam também Pindick & Rubinfeld (1976), este é um procedimento arriscado, pois uma equação bem ajustada, segundo o critério do R^2 , poderá não ser adequada para reproduzir ou prever um determinado fenômeno.

Especificação dos Modelos Utilizados no Trabalho

A escolha do grau do polinômio e do número de defasagens para os modelos utilizados neste trabalho foi feita de acordo com os critérios discutidos na seção anterior, considerando-se como critério preferencial a capacidade da função de representar adequadamente a realidade do processo de mudança tecnológica. Assim sendo, as funções mais compatíveis com a natureza do fenômeno analisado foram consideradas como “aptas”, escolhendo-se depois, dentre essas, as que apresentaram o maior valor para o R^2 ajustado.

A análise se refere ao Brasil como um todo e abrange um período de 18 anos (1972 a 1989). Foram considerados três produtos: arroz, milho e trigo. Para cada produto foram testados modelos polinomiais de terceiro e quarto graus, com 7, 8, 9 e 10 defasagens; a combinação que se mostrou mais adequada foi o polinômio de terceiro grau, com 8 defasagens.

Variáveis

- a) Produção: operacionalizada pela quantidade anual colhida de cada produto durante o período de análise considerado.
- b) Área colhida: os valores desta variável se referem à área de cada produto colhida anualmente, durante o período 1972/1989, expressa em 1.000 hectares.
- c) Tecnologia: como indicador da tecnologia disponível para cada cultura analisada foi utilizado o número de artigos científicos referentes aos aspectos agronômicos dessas culturas, publicados em uma amostra de periódicos nacionais especializados.³

³ Como referências sobre o uso desta variável como indicador da tecnologia disponível podem ser citados os trabalhos de Mesquita (1994), Homem de Melo (1983), Homem de Melo (1980) e Silva et al. (1980).

A consideração do número de comunicações científicas como indicador da disponibilidade de novas tecnologias apresenta algumas limitações. A principal delas é que as tecnologias não são discriminadas segundo o tipo (bioquímicas e mecânicas), o objeto de estudo (pesquisa pura ou aplicada) e a importância, ou seja, o potencial da tecnologia para influenciar a produção.

Como um indicador alternativo poderia ser utilizado o volume de recursos investidos na pesquisa específica de cada produto. Entretanto, o uso deste indicador tem também suas limitações, haja vista, à semelhança do número de artigos, o volume de recursos também ser neutro, isto é, não reflete as especificidades das tecnologias resultantes. Além disso, este parâmetro é menos apropriado do que o primeiro para indicar a evolução da oferta de tecnologias, porque não existe uma relação necessariamente linear entre os gastos com pesquisa e o número ou a variedade das tecnologias ofertadas.

Por último, a utilização do investimento em pesquisa como indicador da oferta de tecnologia implica a necessidade de se introduzir um período de defasagem bem mais longo para a variável “tecnologia”, uma vez que deve ser considerado também o tempo de geração dessa tecnologia. Isto acarreta um problema de ordem operacional, em razão da dificuldade de se obterem dados confiáveis sobre gastos com pesquisa agrícola, principalmente para o período anterior a 1973, ano em que se iniciou, na prática, a reformulação de todo o sistema de pesquisa agrícola no Brasil.

Dados

Os dados sobre produção e área colhida de arroz, milho e trigo foram retirados do Anuário Estatístico do Brasil, publicado pelo IBGE. Os dados da produção científica relativa a cada produto analisado foram obtidos de uma amostra constituída pelas cinco principais revistas científicas nacionais especializadas em agricultura⁴. O critério de escolha das revistas foi o número de consultas feitas no período de 5 anos (1988/93), na biblioteca da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da USP.

⁴ As revistas consideradas foram: Pesquisa Agropecuária Brasileira, o Biológico, Anais da ESALQ, Bragantia e Revista Brasileira de Ciência do Solo.

RESULTADOS

Determinação dos Pesos (w_i)

A determinação dos pesos relativos a cada defasagem foi feita em duas etapas: na primeira, foi ajustada a equação (5), para estimar os valores de c_1 , c_2 e c_3 , usando-se em seguida esses valores na equação (3) para determinar os pesos. Para os três produtos considerados na análise foram obtidos os seguintes resultados:

arroz: $C_1 = -0,095$; $C_2 = 0,0620$; $C_3 = -0,0057$
 milho: $C_1 = 0,058$; $C_2 = 0,0044$; $C_3 = -0,0017$
 trigo: $C_1 = 0,670$; $C_2 = 0,0870$; $C_3 = -0,0230$

Os pesos obtidos a partir desses valores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Pesos referentes a cada período de defasagem, para os três produtos analisados.

| Pesos | Arroz | Milho | Trigo |
|-------|----------|----------|----------|
| w_1 | - 0,0340 | 0,0607 | 0,7340 |
| w_2 | 0,0200 | 0,1200 | 1,5040 |
| w_3 | 0,1260 | 0,1677 | 2,1720 |
| w_4 | 0,2480 | 0,1936 | 2,6000 |
| w_5 | 0,3500 | 0,1875 | 2,6500 |
| w_6 | 0,3960 | 0,1392 | 2,1840 |
| w_7 | 0,3500 | 0,0385 | 1,0640 |
| w_8 | 0,1760 | - 0,1248 | - 0,8480 |

Fonte: dados da pesquisa.

Considerando que esses pesos representam o potencial da tecnologia para afetar a produção, a distribuição temporal desses pesos mostra como o efeito da mudança tecnológica se distribui ao longo dos períodos de defasagem considerados.

A fim de que se possa verificar, de forma imediata, se os resultados obtidos reproduzem o comportamento esperado, ou seja, apresentam o formato aproximado de uma curva normal, a evolução dos pesos foi expressa através de gráficos, colocando-se as defasagens (anos) no eixo horizontal e os pesos no eixo vertical. Os resultados são mostrados na Figura 1 e comentados em seguida.

Impacto da mudança tecnológica na produção agrícola

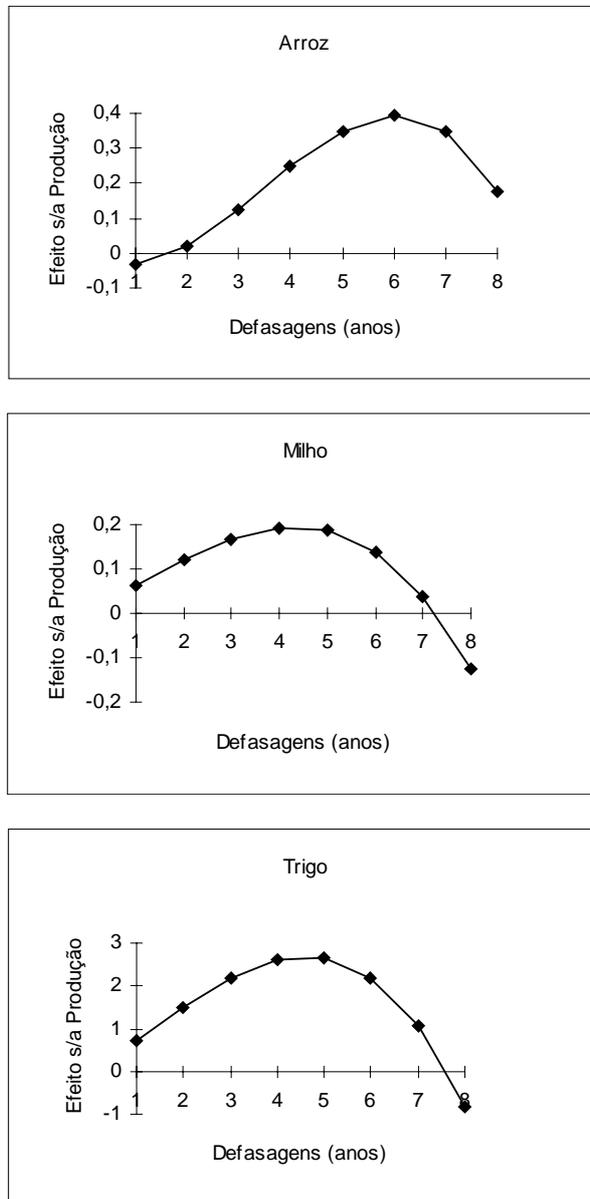


Figura 1. Distribuição dos efeitos da mudança tecnológica sobre a produção, 1972/1990.

a) Arroz

O efeito da mudança tecnológica sobre a produção de arroz começa a se manifestar entre o primeiro e o segundo anos de defasagem, cresce até o 6º e torna-se decrescente a partir desse ponto. Isto significa que a produção no ano t é influenciada com intensidade crescente pelas tecnologias ofertadas nos anos $t - 2$ a $t - 6$, sendo a defasagem de seis anos a que possibilita a melhor resposta na relação entre as duas variáveis. No entanto, as tecnologias ofertadas há mais de seis anos ($t - 7$ e $t - 8$) também exercem influência sobre a produção em t , embora esta influência seja cada vez menor, à medida que aumenta o intervalo de tempo entre o surgimento da tecnologia e a respectiva resposta em termos de produção.

b) Milho

Para este produto, o ponto de máxima influência da tecnologia se dá no 4º período de defasagem, o que equivale a dizer que a produção atual (período t) é influenciada com maior intensidade pela tecnologia ofertada há quatro anos, ou seja, no período $t - 4$. Convém lembrar, entretanto, que o efeito total desta variável sobre a produção inclui também a influência verificada nos demais períodos, tendo em vista que tal influência, mesmo menor, é positiva, pelo menos no intervalo $t - 1$ a $t - 7$.

c) Trigo

Levando-se em conta a magnitude dos pesos, bem superior à que foi encontrada para os demais produtos, verifica-se que a mudança tecnológica na cultura do trigo tem um grande potencial para influenciar a produção. A distribuição dos pesos apresenta o comportamento esperado, sendo crescente até o 5º período de defasagem e decrescente nos períodos restantes. Expresso de outra forma, este resultado mostra que o máximo efeito sobre a produção em t é provocado pela tecnologia ofertada em $t - 5$; no entanto, deve-se destacar mais uma vez que o impacto global desta variável sobre a produção inclui a influência verificada nos demais períodos, considerando que tal influência, apesar de ser menor do que a observada em $t - 5$, é positiva deste $t - 1$ até $t - 7$, pelo menos.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem que se chegue a duas conclusões principais:

- a) O modelo polinomial com defasagens distribuídas se mostrou adequado para avaliar o efeito da tecnologia sobre a produção agrícola, atendendo à pressuposição de que este efeito é normalmente distribuído no tempo.
- b) Com base na magnitude dos pesos obtidos, o maior impacto da mudança tecnológica se dá sobre a produção de trigo, e em seguida sobre as produções de arroz e milho, nesta ordem.

A principal diferença entre este modelo e os outros que são empregados com o mesmo objetivo é que ele permite mensurar o impacto total da mudança tecnológica sobre a produção durante todo o período analisado, e não apenas em um único ano, escolhido mais ou menos arbitrariamente em função de uma suposta “defasagem ideal”, admitida como sendo o tempo necessário para que a tecnologia produza seu máximo efeito.

Apesar dessa vantagem, deve-se levar em conta que esta é, provavelmente, a primeira tentativa de aplicação do modelo polinomial defasado para analisar as relações entre tecnologia e produção no Brasil. Por esta razão, os resultados aqui obtidos não podem ser considerados como definitivos, sendo necessária a realização de novas pesquisas com o objetivo de confirmar a capacidade do modelo em reproduzir de forma razoável a realidade do processo de mudança tecnológica, bem como em identificar formas alternativas de operacionalização das variáveis e de especificação do próprio modelo.

A seguir, são alinhados alguns pontos que podem ter sido limitantes para a obtenção de resultados mais confiáveis, sugerindo-se possíveis alternativas para superar tais limitações em futuras pesquisas:

- a) Uma implicação importante da utilização do número de artigos científicos como “proxy” para a mudança tecnológica é que, como se considera que cada artigo corresponde a uma tecnologia, não se leva em conta o aspecto qualitativo das diferentes tecnologias ofertadas, ou seja, admite-se que todas elas têm o mesmo potencial para afetar a produção. Em razão do forte viés que isto pode provocar nos resultados, sugere-se que a análise, além de ser feita por produto, como no presente caso, seja feita também por tipo de tecnologia;
- b) Devem ser testadas outras formas de operacionalização das variáveis e outras especificações dos modelos, podendo-se relacionar, por exemplo,

os gastos em geração e difusão de uma dada tecnologia com o valor da produção associada a essa tecnologia durante um certo período; outra sugestão de pesquisa poderia ser a verificação do comportamento de modelos incluindo outras variáveis explicativas, como preços dos produtos, variações climáticas, instrumentos de política, etc.

REFERÊNCIAS

- ÁVILA A. F. Dias. **Evaluation de la recherche agronomique au Brésil**; le cas de la recherche rizicole de l'IRGA au Rio Grande do Sul. Montpellier: Faculté de Droit et des Sciences Sociales et Economiques, 1981. Tese de Doutorado.
- AYER, H.W.; SCHUH, G.E. Taxas de retorno social e outros aspectos da pesquisa agrícola: o caso da pesquisa de algodão em São Paulo, Brasil. In: ARAÚJO, P.F.C. de; SCHUH, G.E. (Coords.). **Desenvolvimento da Agricultura**; educação, pesquisa e assistência técnica. São Paulo: Pioneira, 1975. p.117-138 (artigo original: 1972).
- CRUZ, E.R. da; PALMA VALDERRAMA, V.F. ÁVILA, A.F.D. **Taxa de retorno aos investimentos da EMBRAPA**; investimentos totais e físicos. Brasília: EMBRAPA-DID, 1982. 47p. (EMBRAPA-DDM. Documentos, 1).
- FONSECA, M.A.S. **Retorno social aos investimentos em pesquisa na cultura do café**. Piracicaba: ESALQ, 1976. 149p. Dissertação de Mestrado.
- GRILICHES, C.W. Research expenditures, education and the aggregate agricultural production function. **The American Economic Review**, v.54, n.6, p.961-974, Dec. 1964.
- GRILICHES, C.W. Research costs and social returns: hybrid corn and related innovations. **The Journal of Political Economy**, v.56, n.5, p.419-431, Oct. 1958.
- HOMEM DE MELO, F. Disponibilidade de tecnologia entre produtos na agricultura brasileira. **Revista de Economia Rural**, v.18, n.2, p.221-249, abr./jun. 1980.
- HOMEM DE MELO, F. **O problema alimentar no Brasil**; a importância dos desequilíbrios tecnológicos. São Paulo: Paz e Terra, 1983. 226 p.
- KMENTA, J. **Elementos de econometria**. São Paulo: Atlas, 1978. 670 p.
- KOUTSOYANNIS, A. **Theory of econometrics**. 2nd.ed. Lancaster: Harper & Row, 1977. 681 p.
- MESQUITA, Teobaldo C. **Desempenho da agricultura brasileira e sua relação com alguns instrumentos de política econômica, 1970/1990**. São Paulo: FEA/USP, 1994. Tese de Doutorado.

Impacto da mudança tecnológica na produção agrícola

- MONTEIRO, A. **Avaliação econômica da pesquisa e extensão agrícola**; o caso do cacau no Brasil. Viçosa, UFV, 1975. Dissertação de Mestrado.
- MORICOCHI, L. **Pesquisa e assistência técnica na citricultura**; custos e retornos sociais. Piracicaba: ESALQ, 1980. Dissertação de Mestrado.
- SILVA, G.L.S.P da; FONSECA, M.A.S. da; MARTIN, N.B. Os rumos da pesquisa agrícola e o problema da produção de alimentos: algumas evidências no caso de São Paulo. **Revista de Economia Rural**, v.18, n.1, p.37-59, jan./mar. 1980.
- PINDICK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Econometric models and economic forecasts**. New York: McGraw-Hill, 1976. 580 p.
- RIBEIRO, J.L. Retorno a investimentos em pesquisa agropecuária. **Informe Agropecuário**, v.8, n.93, p.39-44, set. 1982.
- ROESSING, A.C. **Taxa interna de retorno dos investimentos em pesquisa de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPS, 1984.
- ROGERS, Everett M. **Diffusion of innovations**. 2nd.ed. London: Free Press, 1983. 453 p.