

## **AValiação DO IMPACTO DAS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS SOBRE A PRODUÇÃO DE CASTANHA DE CAJU**

*Patrícia Verônica Pinheiro Sales<sup>1</sup>*

*Ahmad Saeed Khan<sup>2</sup>*

**RESUMO** - Este trabalho objetivou verificar a validade de modelo polinomial de defasagens distribuídas na avaliação da pesquisa agrícola e na determinação da defasagem ideal entre a adoção tecnológica e seu impacto sobre a produção. Os resultados obtidos permitiram concluir que o modelo empregado foi adequado na decomposição do efeito total das inovações tecnológicas, ou seja, os pesos das defasagens foram crescentes inicialmente, atingiram um máximo e, em seguida, decresceram; a inovação tecnológica apresentou o máximo efeito sobre a produção sete anos após a sua geração; as inovações tecnológicas tiveram influência positiva sobre a produção de castanha de caju.

**Termos de indexação:** Modelo polinomial, pesquisa, produção, castanha de caju.

## **EVALUATION OF IMPACT OF NEW TECHNOLOGIES ON CASHEW NUT PRODUCTION.**

**ABSTRACT** - *The objectives of this study are to test the appropriateness of a lagged polynomial regression model to evaluate the influence of adoption of new technology on cashew nut production. The results show that the model adjusted well to the crop considered and optimum lag between knowledge of new technology and its effect on production is of seven years. It was also observed that research has significant influence on cashew nut production.*

**Index terms:** *Polynomial lagged model, research, production, cashew nut.*

---

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, MS em Economia Rural, Prof<sup>a</sup> Substituta da Escola Superior de Agricultura de Mossoró - ESAM, Mossoró, Rio Grande do Norte.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D. Prof. Titular do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará e Bolsista do CNPq. Caixa Postal 12.168, Fortaleza, Ceará.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a pesquisa agrícola vem proporcionando o aparecimento de grande número de inovações tecnológicas. As inovações tecnológicas têm conseguido amenizar problemas como altos custos de produção e baixa oferta de alimentos, melhorando, assim, a qualidade de vida do homem, quer esteja este na zona rural, quer na zona urbana. Para um país em vias de desenvolvimento, o investimento na geração de novas tecnologias é crucial, não só para criar um excedente de produção para os consumidores, como também para financiar a modernização de outros setores da economia.

A pesquisa agrícola, no Brasil, é em grande parte financiada pelo Estado, motivo pelo qual se espera que esta gere benefícios capazes de justificar o montante de recursos alocados em seu desenvolvimento, uma vez que isto ocorre em detrimento de outros setores. À medida que aumentam os investimentos em pesquisa<sup>3</sup>, a sociedade conscientiza-se da importância de avaliá-la sob os enfoques social e econômico.

Qual a magnitude dos retornos gerados pela adoção de novas tecnologias resultantes da pesquisa? Até onde tais tecnologias diminuem custos de produção, aumentam a renda no campo e a oferta de alimentos? São perguntas complexas, mas têm sua importância e devem ser elucidadas como forma de assegurar a credibilidade e a continuidade das pesquisas.

A forma como a pesquisa afeta a produção pode ser avaliada a partir de modelos usados para mensurar o impacto das mudanças tecnológicas. Um dos primeiros trabalhos voltados para a análise da eficiência da pesquisa foi o de Griliches (1958), que utilizou o conceito de excedente econômico de Marshall, para determinar os benefícios proporcionados pela pesquisa em milho híbrido nos Estados Unidos. Outros trabalhos foram realizados com diferentes culturas, os quais utilizaram o mesmo conceito.

No Brasil, os primeiros a empregar essa metodologia foram Ayer e Schuh (1972), que estimaram o impacto da pesquisa em algodão em São Paulo. Monteiro (1975), Fonseca (1976), Ávila (1981) e Moricochi (1984) estimaram os impactos econômicos dos investimentos em pesquisa para culturas de cacau, café, arroz e citrus, respectivamente.

---

<sup>3</sup> Conforme Barbosa (1988), o volume de recursos aplicados na EMBRAPA aumentou de US\$ 23,5 milhões, em 1974, para US\$ 190,7 milhões, em 1987.

Outra abordagem empregada para verificar a existência de relações causais entre oferta de tecnologia e resultado final do processo produtivo utiliza a função de produção, em que a tecnologia é considerada como uma das variáveis independentes dos efeitos verificados sobre a produção. Griliches (1964) e Rajeev & Rati (1994) desenvolveram estudos que utilizaram uma função de produção, na qual os gastos em pesquisa na agricultura estão relacionados com produção agrícola.

Além do acréscimo na produção, outra forma de mensurar o desempenho da pesquisa é através da análise da rentabilidade dos recursos investidos, considerando-se nos benefícios gerados pelas novas tecnologias.

Khan e Sousa (1991) avaliaram a rentabilidade social dos investimentos em pesquisa feitos pelo CNPMF - EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), por meio das taxas de retorno dos investimentos em geração e difusão do sistema de plantio da mandioca em fileiras duplas. Cruz e Ávila (1983), Roessing (1984) e Ribeiro (1982) desenvolveram estudos relevantes, utilizando metodologias semelhantes.

A maioria dos estudos considera que o efeito das inovações tecnológicas sobre a produção ocorre de maneira pontual, ou seja, em um único período. Esses estudos consideram que existe uma única defasagem entre o instante em que a nova tecnologia é adotada e o seu efeito sobre a produção, defasagem esta que, geralmente, é definida sem nenhum critério científico, de acordo com a experiência do pesquisador ou análise de estudos iniciais. Uma maneira de tornar menos rude a determinação desta defasagem é mediante utilização de um número relativamente grande de defasagens, testadas em uma função de produção. A defasagem ideal é então escolhida por meio de um critério estatístico, geralmente o R2. Ayres (1985) e Mesquita (1994a) utilizaram esse procedimento para avaliar o retorno aos investimentos de soja e a casualidade entre a oferta de tecnologia e o PIB agrícola brasileiro, respectivamente.

No entanto, esta não é uma maneira desejada de se considerar a variável tempo no processo de adoção tecnológica. Segundo Roger (1983), 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, no início da disseminação da nova tecnologia, somente pequeno número de indivíduos adota a inovação. Aos poucos, mais indivíduos entram em contato com a tecnologia, e a adoção vai acontecendo mais rapidamente, até que, no período final, a proporção de adotantes começa a declinar, a curva torna-se assintótica e o processo de difu-

são e adoção é finalizado. Uma análise do impacto da inovação tecnológica sobre a produção deve então considerar que este impacto ocorre nos anos  $t, t+1, \dots, t+n$ , após a adoção tecnológica.

Este estudo utiliza um instrumental metodológico que pretende atender à restrição descrita acima e tem por objetivos :

- a) Testar o modelo polinomial de defasagens distribuídas na avaliação da pesquisa e descrição do processo de adoção tecnológica;
- b) Verificar a influência das inovações tecnológicas na produção de castanha de caju no estado do Ceará, durante o período de 1965-1994.

A cultura escolhida para a análise foi o caju, em razão de sua importância socio-econômica no estado do Ceará e ao grande estoque de tecnologias voltadas para o aumento de sua produtividade.

## METODOLOGIA

Conforme Pindick & Rubinfeld (1976), ao se construir um modelo econométrico, é importante reconhecer que existe determinado lapso de tempo para que a variável dependente possa responder aos estímulos da variável independente. Quando esse período é relativamente grande, devem-se incluir no modelo variáveis defasadas.

Quando tais variáveis distribuem-se gradualmente ao longo do tempo, ou seja, têm um impacto sobre a variável dependente que ocorre de maneira não uniforme, a série de variáveis defasadas passa por um processo de ajustamento através de um modelo de defasagens distribuídas. Este modelo distribui o impacto das variáveis defasadas sobre determinado número de períodos, e pode ser expresso da seguinte forma

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Z_{t-1} + \beta_2 Z_{t-2} + \dots + \beta_k Z_{t-k} + \beta_m X_t + \mu_t, \quad (1)$$

em que

$Y_t$  = produção no ano  $t$ ;

$Z_{t-k}$  = tecnologia disponível aos agricultores no ano  $t-k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, k$ );

$X_t$  = outras variáveis relevantes do modelo;

$\beta_0$  = intercepto;

$\beta_k$  = efeito da inovação tecnológica sobre a produção ( $k = 1, 2, 3, \dots, k$ );

$\beta_m$  = demais parâmetros da equação;

$\mu_t$  = erro aleatório no ano  $t$ .

De acordo com a teoria de Rogers, sobre o processo de adoção de tecnologia, uma inovação tecnológica tem efeito crescente e depois decrescente sobre a produção. Segundo a literatura, a função que melhor descreve a natureza do processo de adoção de tecnologia é a que apresenta a forma de “V” invertido, no qual os coeficientes estimados ( $\beta_k$ ) para a variável defasada apresentam uma distribuição supostamente normal.

Uma das maneiras de se formular esta função é através do modelo polinomial de defasagens distribuídas. Este procedimento permite reescrever a equação 1, da seguinte forma :

$$Y_t = \beta_0 + \alpha_1 (\omega_1 Z_{t-1} + \omega_2 Z_{t-2} + \dots + \omega_k Z_{t-k}) + \beta_m X_t + \mu_t, \quad (2)$$

em que

$\omega_k$  = peso de cada variável defasada sobre a produção.

O modelo polinomial de defasagens distribuídas considera que o impacto de uma variável sobre outra qualquer pode ser distribuído sobre um número de períodos (t-1, t-2, ..., t-k). Este modelo assume ainda que os pesos das defasagens distribuídas ( $\omega_k$ ) podem ser especificados por uma função polinomial contínua, que evolui ao longo do tempo.

Seja  $\omega_k$  um polinômio de grau r, tal que

$$\omega_k = b_1 k + b_2 k^2 + \dots + b_r k^r \quad (k = 1, 2, 3, \dots, k), \quad (3)$$

em que

k = cada período de defasagem;

$b_r$  = coeficiente do polinômio a ser estimado.

A escolha do grau “r” do polinômio, segundo Pindick & Rubinfeld (1976), geralmente recai sobre o terceiro ou quarto grau, pois estes oferecem um nível de certeza suficiente para a descrição da estrutura da defasagem. Porém, polinômios de grau mais elevado podem ser usados, desde que tal grau não ultrapasse o número de termos da defasagem e exista um grande número de observações disponíveis.

Substituindo-se 3 em 2:

$$Y_t = \beta_0 + \alpha_1 (b_1 + b_2 + \dots + b_r) Z_{t-1} + \alpha_1 (2b_1 + 2^2 b_2 + \dots + 2^r b_r) Z_{t-2} + \dots + \alpha_1 (k b_1 + k^2 b_2 + \dots + k^r b_r) Z_{t-k} + \beta_m X_t + \mu_t \quad (4)$$

Recombinando-se os termos:

$$Y_t = \beta_0 + \alpha_1 b_1 (Z_{t-1} + 2Z_{t-2} + \dots + kZ_{t-n}) + \alpha_1 b_2 (Z_{t-1} + 2^2 Z_{t-2} + \dots + k^2 Z_{t-n}) + \dots + \alpha_1 b_r (Z_{t-1} + 2^r Z_{t-2} + \dots + k^r Z_{t-n}) + \beta_m X_t + \mu_t \quad (5)$$

Esta equação pode ser estimada pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Se o termo de erro obedece aos pressupostos básicos de regressão (ver Hoffmann, 1987), os  $b_r$ 's estimados serão ótimas estimativas lineares. Uma vez conhecidos os  $b_r$ 's, o procedimento para calcular os pesos  $\omega_k$ 's originais é simples, sendo feito pela substituição direta em 3. Porém, as estimativas obtidas pela análise de regressão referem-se aos valores de  $\alpha_1 b_1, \alpha_1 b_2, \dots, \alpha_1 b_r$ . Para chegar aos valores dos  $b_i$  ( $i = 1, 2, \dots, r$ ), Pindick e Rubinfeld sugerem fazer  $\alpha_1 = 1$ , admitindo que os pesos estimados incorporem o efeito do verdadeiro parâmetro  $a_i$ . Uma vez conhecidos os  $b_i$ , os pesos correspondentes a cada período ( $\omega_k$ ) serão facilmente obtidos pela equação (3).

Existe considerável flexibilidade envolvida na especificação do modelo polinomial de defasagens distribuídas. Um ponto relevante, que deve ser considerado no processo, é o grau do polinômio. De acordo com Pindick & Rubinfeld, o grau do polinômio deve ser menor que o número de termos da defasagem distribuída. A escolha do comprimento da defasagem depende mais da natureza do problema especificado. Na prática, os pesquisadores costumam variar o grau do polinômio e o comprimento das defasagens. Tal procedimento é, no entanto, pouco adequado, porque um bom ajustamento da equação, neste caso, é observado por um alto  $R^2$ , que nem sempre é condição suficiente para prever determinado fenômeno.

Neste trabalho foram testados polinômios de terceiro e quarto graus com até doze defasagens. A escolha do grau do polinômio e do número de defasagens usados no modelo foi determinada a partir da capacidade da equação em representar, com maior fidelidade, o comportamento da variável tecnologia de acordo com seu efeito sobre a produção ao longo do tempo e do critério do  $R^2$  ajustado. O período de análise foi compreendido entre 1965 e 1994.

O efeito total de mudança tecnológica, incorporando os pesos das defasagens, pode ser escrito por:

$$Z_t = \omega_1 Z_{t-1} + \omega_2 Z_{t-2} + \dots + \omega_{12} Z_{t-12} \quad (6)$$

Para analisar o efeito da inovação tecnológica sobre a produção, a equação (1) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Z_t + \phi_2 A_t + \phi_3 P_{t-1} + \phi_4 D_t + \mu_t \quad (7)$$

Definição das variáveis:

Produção ( $Y_t$ ) - Quantidade anual de amêndoa de caju colhida durante o período analisado, de acordo com o Anuário Estatístico do Brasil, IBGE. Foi expressa em toneladas.

Tecnologia ( $Z_t$ ) - Número de artigos científicos relacionados com o aumento da produtividade da cultura de caju, publicados nos principais periódicos nacionais.

Segundo Silva (1980), existe estreita relação entre volume de pesquisa (no caso, o número de artigos científicos publicados) e ganhos de produtividade obtidos no estado de São Paulo.

Os artigos considerados para análise foram selecionados de acordo com o tipo de pesquisa, sendo eliminados aqueles sem um possível impacto direto sobre a produção. No entanto, existem limitações nesta escolha, por não se saber ao certo a importância de cada artigo sobre a produção e considerar-se que cada artigo tenha igual impacto sobre ela.

Outro indicador da disponibilidade de novas tecnologias seria o volume de recursos investidos em pesquisa específica para determinado produto. Este artifício, porém, de acordo com Mesquita (1994b), apresenta limitações mais sérias que o primeiro: além de não refletir o impacto real das tecnologias sobre a produção, pode-se afirmar que não existe relação linear entre gastos com pesquisa e número de tecnologias ofertadas.

Como foram utilizadas doze defasagens na especificação do modelo, o levantamento dos trabalhos publicados foi feito a partir de 1953.

Área colhida ( $A_t$ ) - Área colhida de amêndoa de caju, no ano  $t$ , expressa em 1000 ha. A fonte dos dados foi o Anuário Estatístico do Brasil, IBGE.

Preço ( $P_{t-1}$ ) - Preço corrigido, defasado em um ano, expresso em R\$/Kg de castanha. Foram utilizados preços constantes de janeiro de 95, corrigidos pelo IGP-DI/FGV.

Precipitação pluviométrica ( $D_t$ ) - De acordo com Lima (1988), a cultura do caju tem como quantidade ideal de água para sua frutificação, de 800 a 1500 mm anuais. Desta forma, neste trabalho foram consideradas as precipitações médias nos seis primeiros meses do ano que antecedem a frutificação, nos municípios de Aracati, Beberibe, Cascavel, Caucaia, Pacajus, Russas e Trairi,

principais produtores estaduais da cultura.

Utilizou-se uma variável “dummy”, em que ano normal correspondeu a um e ano anormal, a zero. Esta normalidade foi definida a partir da necessidade de água, definida por Lima, ou seja, anos normais são aqueles cuja precipitação se situou na faixa entre 800 e 1500mm, enquanto anos anormais, os demais.

Os dados referentes à precipitação pluviométrica foram obtidos da FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia).

## RESULTADOS

### Seleção de modelo polinomial com defasagens distribuídas

A especificação do modelo que melhor descreveu o comportamento do processo de adoção tecnológica, permitindo a determinação da defasagem ideal, foi feita por duas etapas preliminares: a estimação das regressões que permitiram encontrar os coeficientes do polinômio ( $\beta_t$ 's) e a determinação dos pesos ( $\omega_k$ 's) correspondentes a cada variável defasada.

Os coeficientes estimados para polinômio de graus três e quatro estão mostrados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Valores estimados dos coeficientes  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  na equação da regressão obtida pela função polinomial de terceiro grau

Defasagem	$b_1$	$b_2$	$b_3$
1	-	-	-
2	159.75	704.24	-442.76
3	-166.42	-385.41	188.28
4	-338.81	191.43	-17.07
5	-273.84	162.08	-18.25
6	-260.63	133.58	-13.08
7	-84.1	22.77	0.98
8	-252.51	113.73	-10.19
9	-30.73	29.86	-2.65
10	-30.59	24.12	-1.94
11	6.07	1.36	0.11
12	-26.752	24.01	-2.01

Fonte: Dados da pesquisa.



Tabela 2 - Valores estimados dos coeficientes  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  e  $b_4$  na equação de regressão obtida pela função polinomial de quarto grau

Defasagem	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$
1	-	-	-	-
2	-25.18	248.61	836.04	-508.1700
3	-222.01	2072.50	-2012.80	460.5300
4	-844.64	318.16	142.78	-41.9900
5	-516.84	178.50	47.68	-12.3000
6	-369.85	122.91	16.54	-4.3300
7	-59.45	25.71	4.45	0.6600
8	-249.13	72.40	4.72	-1.2500
9	-28.17	6.20	5.14	-0.6100
10	-30.88	24.12	-1.92	-0.0020
11	-2.42	1.30	0.96	-0.0800
12	-27.60	24.65	-2.09	0.0031

Fonte: Dados da pesquisa.

Esses coeficientes foram usados na quantificação dos pesos individuais das variáveis defasadas. Os modelos polinomiais, com apenas uma defasagem, não foram estimados porque os dados utilizados levaram a uma matriz definida negativa.

As Tabelas 3 e 4 apresentam pesos individuais das variáveis defasadas, obtidos a partir da equação 3, considerando que esses pesos representam o potencial da tecnologia que afeta a produção, a distribuição temporal desses pesos mostra como o efeito da mudança tecnológica se distribui ao longo dos períodos de defasagens considerados.

A escolha do grau do polinômio e do número de defasagem a serem usados no modelo foi feita por dois critérios principais: o de maior coeficiente de determinação ajustado  $R^2$  e da distribuição temporal dos pesos das variáveis defasadas.

A partir da análise desses dois critérios, escolheu-se o modelo polinomial de terceiro grau, com doze defasagens. Essa combinação apresenta o formato aproximado de uma curva normal. A evolução dos pesos foi expressa mediante Figura 3, colocando-se as defasagens (anos) no eixo horizontal e os pesos no eixo vertical.

Tabela 3 - Pesos referentes a cada período de defasagem, considerando a função polinomial de terceiro grau

Def.	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$	$\omega_5$	$\omega_6$	$\omega_7$	$\omega_8$	$\omega_9$	$\omega_{10}$	$\omega_{11}$	$\omega_{12}$
1	-											
2	421,2	-405,6										
3	-366,6	-368,2	1115,6									
4	-164,4	-728,9	245,7	615,2								
5	-130,0	-45,4	144,4	329,8	401,4							
6	-140,1	-91,53	67,2	401,4	419,9	255,6						
7	-60,4	-68,3	-20,9	90,6	291,3	526,8	863,1					
8	-148,8	-130,3	-4,5	168,4	328,2	414,9	368,3	128,4				
9	-3,5	36,9	105,0	185,2	261,6	318,2	339,1	308,4	210,2			
10	-8,4	19,8	72,9	139,4	207,6	265,7	302,3	305,7	264,2	166,1		
11	7,5	21,1	33,4	53,1	78,1	109,1	146,9	191,9	245,0	306,7	377,7	
12	-4,7	26,5	81,6	150,0	217,5	272,0	304,3	297,1	242,9	128,1	-59,4	-323,9

Fonte: Dados de pesquisa.

Tabela 4 - Pesos referentes a cada período de defasagem, considerando a função polinomial de quarto grau

Def.	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$	$\omega_5$	$\omega_6$	$\omega_7$	$\omega_8$	$\omega_9$	$\omega_{10}$	$\omega_{11}$	$\omega_{12}$
1	-											
2	551,3	-498,3										
3	298,2	-7812,4	-36359									
4	-425,3	53,8	783,4	100,5								
5	-303,0	184,6	347,0	691,4	150,8							
6	-234,7	-185,0	92,5	437,2	585,0	166,6						
7	-37,5	-41,1	-13,7	59,9	201,8	463,0	902,0					
8	-170,3	-184,9	-60,6	156,0	388,1	529,1	442,4	-38,8				
9	-17,4	1,9	60,9	160,0	276,7	376,0	408,5	356,0	66,4			
10	-8,7	19,3	72,6	139,1	207,5	266,0	302,8	306,2	264,3	165,2		
11	-0,3	6,7	23,5	60,5	87,3	144,0	172,0	207,6	225,7	215,8	164,0	
12	-5,0	26,7	82,9	151,0	218,9	274,4	305,2	299,4	245,0	130,0	-57,4	-328,8

Fonte: Dados de pesquisa.

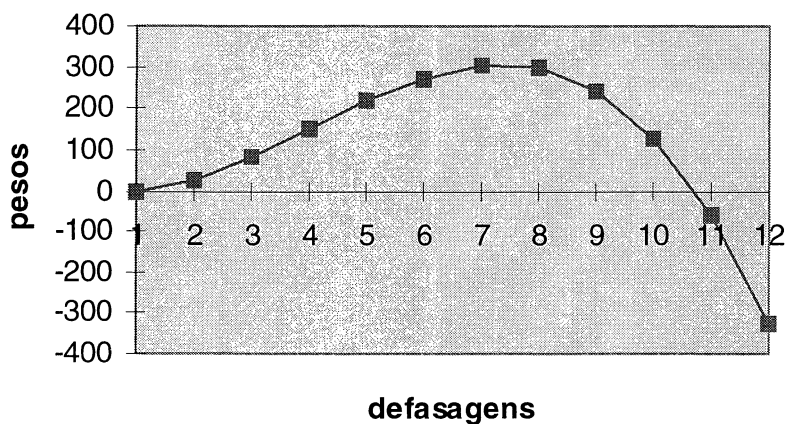


Figura 3 - Distribuição dos pesos das variáveis defasadas - modelo polinomial de grau três com doze defasagens.

O efeito da mudança tecnológica sobre a produção de castanha de caju cresce até o 7<sup>o</sup> ano 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  $t-2$  até  $t-7$ . Convém lembrar, entretanto, que o efeito total desta variável sobre a produção se estende aos demais anos, apesar de ser menor do que o observado em  $t-7$ ; é positiva desde  $t-2$  até entre  $t-10$  e  $t-11$  anos.

#### **Avaliação do impacto das inovações tecnológicas sobre a produção da castanha de caju.**

A mensuração da variável tecnologia na qual se incorporam os pesos das defasagens foi feita mediante equação 6. Este modelo forneceu valores que foram utilizados na estimação da equação 7.

A Tabela 5 mostra os resultados encontrados, os quais serviram para avaliar o impacto das variáveis independentes na produção.

Tabela 5 - Equação estimada da relação estrutural da produção de castanha de caju, 1965-1994

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	"t"	Significância
Tecnologia	0,951	0,249	3,809	0,001
Área colhida	0,108	0,019	5,490	0,000
Preço	5596,000	3172,000	1,764	0,090
Prec. Pluviom.	12349,000	5010,000	2,465	0,020
Constante	-2037,200	7343,000	-0,277	0,784
	$R^2 = 0,605$	$F = 12,11$	$d = 2,08$	$n = 30$

Fonte: Dados da pesquisa.

Os sinais dos coeficientes estimados são coerentes com a teoria econômica. Como os dados originais empregados no estudo pertencem a uma série temporal, foi realizado o teste Durbin-Watson, para verificar a existência ou não de autocorrelação entre os resíduos. A estatística "d" encontrada deixou dúvida quanto à existência dessa autocorrelação. Para impedir os possíveis vieses causados pela quebra do pressuposto  $E(e_t, e_{t-s}) = 0$ , realizou-se o ajustamento da regressão através do método iterativo de Cochrane e Orcutt. O novo valor da estatística de Durbin-Watson ( $d = 2,08$ ) assegurou a ausência de auto-regressão entre os resíduos.

A matriz de correlação mostrou a inexistência de multicolinearidade entre as variáveis independentes.

A estatística "t" de Student comprovou a hipótese de que os coeficientes associados com as variáveis tecnologia, área colhida e precipitação pluviométrica são estatisticamente diferentes de zero, a 2% de significância. A variável preço mostrou, estatisticamente, uma influência menor sobre a quantidade produzida de castanha-de-caju, do que as demais variáveis.

O coeficiente da variável tecnologia, próximo a um, confirmou que os pesos estimados representam o efeito de cada variável defasada sobre a produção, e que a defasagem de doze anos engloba realmente o efeito total dessa variável, não havendo necessidade de testar novos modelos com um número maior de defasagens.

O coeficiente de determinação  $R^2 = 0,605$  indicou que mais de 60% da variação na quantidade produzida de castanha-de-caju pode ser explicada pela variação nas variáveis tecnologia, área colhida, preço e precipitação pluviométrica.

## CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitiram chegar às seguintes conclusões:

O modelo polinomial, com defasagens distribuídas, mostrou-se adequado para avaliar o efeito da tecnologia sobre a produção de castanha-de-caju, atendendo ao pressuposto que este efeito é normalmente distribuído no tempo. A combinação do polinômio de terceiro grau, com doze defasagens, foi a mais eficaz na descrição do processo tecnológico. O sétimo ano de defasagens representou o período de maior influência da tecnologia, o que quer dizer que são necessários sete anos para que nova tecnologia alcance o seu máximo efeito sobre a produção.

As inovações tecnológicas associadas a outros fatores têm influenciado, positivamente, a produção de castanha-de-caju no estado do Ceará, contribuindo, assim, para o desenvolvimento do Estado, que tem neste produto uma importante fonte de divisas. Isto justifica a importância dos investimentos feitos em pesquisa voltada para o aumento da produtividade dos cajuzais e a eficiência técnica das indústrias de processamento.

Sugere-se que o modelo polinomial de defasagens distribuídas seja empregado em estudos voltados para a análise de eficiência da pesquisa em outras culturas, com o objetivo de confirmar a sua validade. Outras variáveis explicativas (crédito agrícola, uso de insumos e mecanização) podem ser utilizadas para tentar aumentar o poder de explicação do modelo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁVILA, A. F. D. *Evaluation de la recherche agronomique au Bresil: le cas de la recherche rizicole de l'IRGA au Rio Grande do Sul*. Montpellier, Faculté de Droit et des Sciences Sociales et Economics, 1981. Tese de Doutorado.
- AYRES, C.S. *The contribution of agricultural research to soybean productivity in Brazil*. St. Paul. Minnesota University, 1985. PhD. Thesis.
- AYER, H. W. e 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 e SCHUH, G. E. *Desenvolvimento da Agricultura, Educação, Pesquisa e Assistência Técnica*.- São Paulo: Pioneira, 1975, p. 117-138.

- BARBOSA, M. M. T. L...; CRUZ, E. R. da. e ÁVILA, A. F. D. Benefícios sociais e econômicos da pesquisa da EMBRAPA: uma reavaliação. *Congresso Brasileiro de Economia Rural*, 26 (anais).- Brasília: SOBER, 1988, p. 760-778.
- CRUZ, E. R. DA PALMA, V. e ÁVILA A. F. D. *Taxas de retorno dos investimentos da EMBRAPA*.- Brasília: EMBRAPA - DID, 1982. 47p.
- CRUZ, E. R. e ÁVILA, A. F. D. *Retorno dos investimentos da EMBRAPA na área de abrangência do BIRD I*.- Brasília: EMBRAPA - DDM, 1983, 19 p.
- FONSECA, M. A. S. *Retorno social aos investimentos em pesquisa na cultura do café*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1976. Dissertação de Mestrado.
- GRILICHES, Z. Rsearch costs and social returns: hybrid corn and related innovations. *The Journal of Political Economy*, 56(5):419-431 oct. 1958.
- \_\_\_\_\_. Research expenditures, education and the aggregate agricultural production function. *The American Economic Review*, 54( 6 ): 961-974, dec. 1964.
- HOFFMANN, R. & VIEIRA, S . *Análise de regressão: uma introdução à Econometria*. 2.Ed.- São Paulo: HUCITEC, 1987. 379 p.
- KHAN, A. S. e SOUZA, J.S. Taxa de retorno social do investimento em pesquisa na cultural da mandioca no Nordeste. *R. Econ. Sociol. Rural*. 29(4):411-426. Out./dez/1991.
- LIMA, V. P. M. S. *A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil: origem e distribuição geográfica*.- Fortaleza: BNB/ETENE, 1988.
- MESQUITA, T. C. *Desempenho da agricultura brasileira e sua relação com alguns instrumentos de política econômica - 1970/1990*.- São Paulo: FEA/ USP, 1994a. Tese de Doutorado.
- \_\_\_\_\_. *Impacto da mudança tecnológica sobre a produção agrícola: aproximação de uma análise dinâmica*.- Fortaleza: UFC/DEA. 1994b. 60p.

- MONTEIRO, A. *Avaliação econômica da pesquisa e extensão agrícola: o caso do cacau no Brasil*.- Viçosa: UFV, 1975. Dissertação de Mestrado.
- MORICOCCHI, L. *Pesquisa e assistência técnica na citricultura: custos e retornos sociais*.- Piracicaba: ESALQ/USP, 1980. Dissertação de Mestrado.
- PINDICK, R. S. e RUBINFELD, D. L. *Econometrics models and economic forecasts*.- New York: Mc Grow-Hill, 1976. 580p.
- RAJEEV, K. G. e RATI, R. Research and development expenditures and economic growth: a cross - country study. *Economic development and cultural change*. 42(2), jan. 1994.
- RIBEIRO, J. L. Retorno aos investimentos em pesquisa agropecuária. *Informe Agropecuário*, 8(93):39-44, set. 1982 .
- ROESSING, A. C. *Taxa interna de retorno dos investimentos em pesquisa de soja*.- Londrina: EMBRAPA - CNPS, 1984. 37p. (EMBRAPA - CNPS) Documentos, 6.
- ROGERS, E. M. *Diffusion of innovations*. 3nd. Ed., London: Free Press, 1983. 453p.
- SILVA, G. L. S. *et al.* Os rumos da pesquisa agrícola e o problema da produção de alimentos; algumas evidências no caso de São Paulo. *Revista de Economia Rural*, 18(1): 37-59, jan/mar. 1980.