

# ROTAÇÃO DE CULTURAS: ANÁLISE ESTATÍSTICA DE UM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO EM CAMPINAS (SP)<sup>(1)</sup>

FRANCISCO LOMBARDI-NETO<sup>(2)</sup>; SONIA CARMELA FALCI DECHEN<sup>(3)</sup>;  
ARMANDO CONAGIN<sup>(2)</sup>; JOSÉ BERTONI<sup>(4)</sup>

## RESUMO

Com o objetivo de determinar o efeito da rotação no rendimento das culturas de algodão, amendoim, arroz, cana-de-açúcar e milho, instalou-se em Campinas, São Paulo, Brasil, um experimento avaliado durante 11 anos (1963/64 a 1974/75), seguido de análise do efeito residual dessa prática (1975/76), tomando, como indicador da fertilidade do solo, o rendimento de grãos de milho, semeado em todas as parcelas. No planejamento do experimento, em blocos casualizados com vinte tratamentos e quatro repetições, considerou-se que todos os tratamentos devem estar presentes em todos os anos, a fim de avaliar com eficiência e maior rapidez o efeito da rotação. Os resultados evidenciaram que as culturas contínuas, apenas com adubação mineral, levaram à redução significativa da produção no decorrer dos anos. Os tratamentos com calagem inicial e adubação mineral anual mantiveram a produtividade média, apesar das grandes oscilações anuais da produção. O efeito da rotação, quando praticada com calagem inicial e adubação mineral anual, levou a uma produtividade satisfatória ao longo dos anos, bem superior à do cultivo contínuo de cada uma das culturas, principalmente quando as culturas anuais não receberam a calagem inicial. **Palavras-chave:** rotação de culturas, experimentos de longa duração, Latossolo Vermelho, algodão, amendoim, arroz, cana-de-açúcar, milho.

## ABSTRACT

CROP ROTATION: A STATISTICAL ANALYSIS OF AN ELEVEN YEARS EXPERIMENT IN CAMPINAS, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

With the goal of determining the crop rotation effects on cotton, peanut, rice, sugar cane and maize yields, a rotation experiment was established in Campinas, State of São Paulo, Brazil, for eleven years (1963/64 to 1974/75). The residual effect was determined by planting maize on all experimental plots in the following year (1975/76). The experimental design was randomized blocks with twenty treatments and four replications, spanning all treatments in all years in order to have an efficient and faster evaluation of the crop rotation effects. The results showed that the continuous cropping with mineral fertilizer applied annually led to a significant decrease of crop yield. However, when this continuous cropping received an initial liming, the average crop yield was maintained throughout the years. The crop rotation effect, with initial liming and mineral fertilization resulted in a significant increase in crop yields when compared with the individual crop that received only mineral fertilization.

**Key words:** crop rotation, long term experiments, dark red latosol, cotton, pea nut, rice, sugar cane, maize.

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 6 de julho de 2000 e aceito em 5 de agosto de 2002.

<sup>(2)</sup> Pesquisador Científico associado ao Instituto Agrônomo.

<sup>(3)</sup> Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, Instituto Agrônomo Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

<sup>(4)</sup> Pesquisador Científico, ex-chefe da Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo. *In memoriam*.

## 1. INTRODUÇÃO

Rotação de culturas é o sistema de alternar, em um mesmo terreno e na mesma época do ano, diferentes culturas em seqüência, de acordo com um plano definido. O cultivo sucessivo de uma única cultura causa a perda de produtividade do solo devido a fatores como erosão, infestação do terreno por determinadas pragas e moléstias específicas da cultura, aumento da deficiência em nutrientes, etc.

O estudo de culturas em rotação procura determinar o efeito dessa prática na produtividade de cada cultura, estabelecendo, se possível, a melhor combinação vegetal. No Estado de São Paulo, a Seção de Algodão do Instituto Agrônomo, já divulgava, em 1948, os resultados de estudos de rotação com essa cultura iniciados em 1936 (MIYASAKA et al., 1983). A Seção de Conservação do Solo, também do Instituto Agrônomo, demonstrou a importância dessa prática não só para a produtividade das culturas como também no controle da erosão (BERTONI et al., 1972; DECHEN et al., 1981). MIYASAKA et al. (1983) apresentaram no Primeiro Encontro Nacional sobre Adubação Verde, realizado no Rio de Janeiro, minucioso histórico sobre adubação verde, leguminosas viáveis e suas características, pelo qual se comprovou a ênfase dada a essa prática, ao longo dos anos, no Instituto Agrônomo.

Objetiva-se com a rotação de culturas: organizar a distribuição das culturas na propriedade; economizar trabalho; efetuar melhor controle das plantas infestantes, insetos e pragas; ajudar a manter o nitrogênio e a matéria orgânica do solo; aumentar as produções e diminuir as perdas por erosão. Assim, a rotação de culturas é praticada tendo-se em vista a conservação da produtividade do solo e a garantia de maior produção e boas colheitas e da sustentabilidade ambiental oriunda da reciclagem de nutrientes, entre outros efeitos (BERTONI e LOMBARDI-NETO, 1990).

Dados obtidos durante 13 anos pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo (BERTONI et al., 1972), nas Estações Experimentais de Pindorama, Mococa e Ribeirão Preto, representativas, respectivamente, de Argissolos e Latossolos (OLIVEIRA et al., 1999), mostraram que a rotação trienal milho-algodão-soja apresentou os resultados médios seguintes: a) as produções das três culturas, quando em rotação, foram mais elevadas que aquelas semeadas continuamente; b) a soja em rotação produziu 51% mais que a em plantio contínuo. A rotação proporcionou 60% de aumento na produção de milho e, para o algodão, o aumento verificado foi

de 4%. DECHEN et al. (1990), em experimento de longa duração, envolvendo milho e amendoim em sistema de rotação de culturas, verificaram que, tanto para o milho quanto para o amendoim, o tratamento em rotação com amendoim "das águas" e mucuna-preta "da seca" foi estatisticamente superior aos tratamentos contínuos.

DE MARIA et al. (1999), em experimento de longa duração em Campinas (SP), não encontraram diferenças de rendimento nas culturas de soja e milho em sistemas de preparo convencional, com escarificador e em plantio direto. Observaram, contudo, que as culturas em rotação apresentaram tendência de valores mais elevados para os rendimentos do que as culturas contínuas.

WUTKE et al. (1998) avaliaram o efeito residual de culturas graníferas e adubos verdes no rendimento do feijoeiro irrigado, cultivar IAC-Carioca, em experimento instalado em Latossolo Roxo Distrófico, na Estação Experimental de Ribeirão Preto (IAC), de maio de 1992 a janeiro de 1996. Os esquemas de rotação compreenderam o cultivo do feijoeiro, de julho a dezembro, seguido por milho de ciclo curto, híbrido C-701, de dezembro a abril e, posteriormente, por pousio, pelas culturas graníferas milho e aveia-preta e pelas leguminosas para adubação verde, crotalaria júncea, guandu e mucuna-preta, de março a agosto. Concluíram que a utilização da mucuna-preta, da crotalaria júncea e do milho é viável na rotação com o feijoeiro e com milho de ciclo curto. Como efeito das rotações ao longo dos anos, em relação ao pousio, a inclusão da mucuna-preta, no período não convencional de outono-inverno, após a seqüência feijoeiro irrigado/milho de ciclo curto, contribuiu para o aumento nos rendimentos do feijoeiro.

CAMPOS et al. (1995) constataram o efeito benéfico da rotação de culturas no rendimento das culturas envolvidas, quando comparado ao da sucessão trigo/soja.

ARF et al. (1999), no experimento realizado em Selvíria (MS), em Latossolo Vermelho-Escuro, Epieutrófico álico, textura argilosa, avaliaram os efeitos, na cultura do trigo e nas propriedades físicas e químicas do solo, da incorporação da fitomassa proveniente de milho, lablabe e mucuna-preta em cultura solteira e intercalada ao milho, na presença e na ausência de adubação nitrogenada (35 kg.ha<sup>-1</sup>). Observaram resposta positiva do trigo aos adubos verdes, principalmente do lablabe e da mucuna-preta em cultura solteira, e não se obteve resposta à adubação nitrogenada em adição à incorporação da fitomassa dessas culturas, assim como não puderam caracterizar efeito nas propriedades físicas e químicas do solo.

Atualmente, o estudo das culturas em rotação tem crescido em importância, diante do aumento do interesse em adotar o plantio direto, o qual é dificilmente estabelecido sem a escolha do sistema de culturas em rotação.

Um dos desafios na análise dos experimentos de rotação de culturas, normalmente desenvolvidos durante vários anos, é o delineamento estatístico e a interpretação segura da análise estatística. YATES (1952), analisando experimento da Seção de Algodão do Instituto Agronômico, com oito anos de rotação, utilizou o método dos quadrados mínimos porque as rotações não possuíam todas as fases em todos os anos. O autor procurou avaliar a redução da produção de algodão e do milho dos tratamentos contínuos aplicando uma regressão polinomial. Procurou, ainda, analisar os componentes do erro de forma a contornar os defeitos decorrentes da existência de rotações não balanceadas, visto que não possuíam todas as séries necessárias para assegurar melhor ortogonalidade. Apesar da complexidade da análise, as conclusões evidenciaram efeitos benéficos da rotação, tendo, ainda, constatado redução maior da cultura do milho contínuo e, em menor escala, redução para a cultura do algodão contínuo.

O objetivo primordial deste experimento, iniciado no ano agrícola de 1963/64 e encerrado em 1974/75, foi estudar a combinação de culturas em rotação, em Latossolo Vermelho Distrófico em Campinas (SP), analisando a produtividade apresentada pelas culturas envolvidas. Embora as técnicas de produção de culturas e variedades tenham sofrido mudanças consideráveis nesse período, a publicação desses dados é importante, pois evidenciou o efeito da calagem e da adubação, bem como a redução da produção nas culturas contínuas. Além disso, objetiva-se difundir um método de implantação de experimentos de rotação no campo e uma análise estatística que permite a correta e segura interpretação dos resultados. Esse método de instalação das culturas em rotação permite abreviar o tempo de duração de um experimento no campo – um dos entraves dos experimentos em rotação – visto que, em todos os anos, comparam-se os tratamentos com a cultura contínua correspondente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização do meio físico

O experimento foi instalado no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico, em Campinas, Estado de São Paulo, Brasil, em 47°04' de longitude e 22°15' de latitude sul e 600 - 700 m de altitude.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é Cwa, com estação quente e úmida de outubro a março e temperatura média de 23 °C e total de precipitação pluvial de 1.060 mm. A estação seca ocorre de abril a setembro, com temperatura média de 20 °C e total de precipitação de 325 mm (ORTOLANI et al., 1995).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (OLIVEIRA et al., 1999), apresentou pH = 4,8 e 400 g.kg<sup>-1</sup> de argila, 30 g.kg<sup>-1</sup> de silte, 210 g.kg<sup>-1</sup> de areia fina e 360 g.kg<sup>-1</sup> de areia grossa na camada de 0-20 cm.

### 2.2. Tratamentos

O quadro 1 mostra o esquema adotado para o experimento, iniciado no ano agrícola de 1963/64 e encerrado em 1974/75, abrangendo as culturas de algodão (Al - *Gossypium hirsutum* L., variedade IAC 12), amendoim (Am - *Arachis hipogaea* L., variedade Tatu), arroz (Ar - *Oryza sativa* L., variedade Dourado precoce), cana-de-açúcar (C - *Saccharum spp.* L., variedade CB 4176), feijão (F - *Phaseolus vulgaris* L., variedade Creme), lablabe (L - *Dolichus lablab* L., variedade IAC 697), milho (M - *Zea mays* L., variedade H 7974) e pasto de capim Napier (P - *Pennisetum purpureum* Schumacher).

As culturas correspondentes aos tratamentos de número 3, 4, 6, 8 a 12, 14 e 16 a 20 receberam, apenas no primeiro ano, além da adubação anual de fórmula 40:80:40 com sulfato de amônio (20% de N), superfosfato simples (20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O), uma calagem de quatro toneladas de calcário por hectare. Aplicou-se 1/3 do nitrogênio no plantio e 2/3 em cobertura. A cultura de milho recebeu adubação em cobertura aos 40 dias da semeadura; a de algodão, logo após o desbaste; as de amendoim e feijão, logo após a germinação e a de arroz, aos 20-30 dias da semeadura. Utilizou-se a mesma adubação para todas as culturas anuais a fim de dissociar os efeitos de adubação e de rotação.

O manejo do solo para a implantação das culturas anuais foi o convencional, consistindo de aração e duas gradagens. Esse mesmo manejo foi aplicado no primeiro ano nos tratamentos que incluíram pastagem e cana-de-açúcar.

Os tratamentos 1 a 8 e 18 representam as culturas contínuas com as quais serão avaliados os efeitos da rotação. O tratamento 1 corresponde ao milho semeado todos os anos, sem a calagem inicial e sem adubação. O tratamento 2 corresponde ao milho semeado continuamente, adubado todos os anos e sem calagem inicial; o tratamento 3 corresponde ao milho

semeado continuamente, adubado todos os anos e que recebeu, no primeiro ano, a mesma dose de calcário que as outras culturas. Introduziu-se o tratamento 1 a fim de comparar o efeito da calagem e da adubação com o das rotações. Assim, a comparação dos tratamentos 2 e 1 permitiu avaliar a influência da adubação, enquanto a do 3 com o 1 mostrou o efeito conjunto da adubação e da calagem. Já a comparação dos tratamentos 4 e 3 mostra a influência do cultivo intercalar de uma leguminosa (lablabe) no rendimento da cultura do milho. A comparação do tratamento 10 com o 3 proporciona avaliação da melhoria ocorrida no rendimento da cultura de milho como fruto da rotação.

O tratamento de amendoim contínuo sem calagem (5) e o de amendoim contínuo com calagem (6) permitiram avaliar os efeitos da adubação mais calagem, no amendoim, em relação ao anualmente adubado.

Os tratamentos 7 e 8 permitiram avaliar os efeitos da adubação e da adubação mais calagem para o algodão.

Os tratamentos 9, 10 e 11 correspondem à rotação trienal de milho mais leguminosa, algodão e amendoim. No tratamento 9, a seqüência iniciou com o algodão seguido pelo amendoim e milho mais lablabe. No tratamento 10 a seqüência teve início com o amendoim, ao qual se seguiu o milho mais lablabe e o algodão. Iniciou-se tratamento 11 com o cultivo de milho mais lablabe, seguido de algodão e este do amendoim. Essas seqüências se repetiram, na ordem, até o fim do ensaio e permitiram avaliar a rotação trienal em relação aos tratamentos contínuos.

Os tratamentos 12 e 13 introduziram três anos de pastagem (sem carga animal, o capim era cortado para avaliação da produção de massa seca) entre os ciclos da rotação trienal de milho mais lablabe, algodão e amendoim, enquanto os tratamentos 14 e 15 inseriram três anos de cultivo de uma leguminosa entre os ciclos dessa mesma rotação. Permitiram avaliar o efeito da pastagem, seja em sua implantação inicial (anos 1, 2 e 3) seja no segundo ciclo da rotação (anos 4, 5 e 6), em relação aos tratamentos correspondentes (6, 8 ou 4) e em relação à seqüência trienal (tratamento 11). No caso dos tratamentos 14 e 15, as comparações 13 x 15 e 12 x 14 permitiram avaliar o benefício do pasto e das leguminosas.

Introduziu-se no tratamento 16, em esquema de rotação milho-amendoim-algodão, a cultura de feijão em sucessão às de amendoim e de milho.

O tratamento 17 analisa os efeitos da rotação trienal de arroz, milho mais leguminosa e algodão; o 19, os da rotação bienal da sucessão de feijão e de arroz ao amendoim, e o 20, o efeito da introdução de uma leguminosa (lablabe) após a segunda soca de cana-de-açúcar, quando, então, o ciclo se reiniciava.

O plantio foi feito com a cana deitada, cruzando pé com ponta e cortando toletes de 25 a 30 cm (duas gemas).

### 2.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental constou de 20 tratamentos que corresponderam às parcelas dispostas em blocos casualizados, com quatro repetições. A área experimental perfez um total de 12.800 m<sup>2</sup> e a total 19.000 m<sup>2</sup>, sendo de 160 m<sup>2</sup> (16 x 10 m) a área total de cada parcela e de 60 m<sup>2</sup> (10 x 6 m) a área útil. O plantio do arroz e da cana-de-açúcar, fora do esquema de rotação, permitiu avaliar o comportamento dessas culturas em plantio contínuo.

O amendoim foi incluído na rotação por sua importância econômica no Estado de São Paulo, à época do planejamento do experimento, quando era mais importante que a soja.

O experimento teve início em 1963/64 e encerrado em 1974/75; no ano de 1975/76 todas as parcelas foram semeadas com milho para avaliar o efeito diferencial dos tratamentos e das rotações.

Um dos objetivos deste trabalho é divulgar o método proposto por STEVENS (1951) de implantação de experimentos de rotação no campo e uma análise estatística que permita a correta e segura interpretação dos resultados obtidos; por isso, algumas considerações desse autor se fazem necessárias. Segundo ele, para a escolha do delineamento de um experimento de rotação de culturas deve-se considerar uma série de pré-requisitos. O emprego de culturas anuais facilita a realização do experimento. A introdução de duas culturas na mesma parcela, plantio de milho das águas e amendoim da seca, por exemplo, é perfeitamente possível, apesar de poder criar problema de incompatibilidade, visto que é preciso assegurar a melhor época de plantio de cada uma das culturas. A seguir, relatam-se as operações e tecnologias adotadas nesse tipo de pesquisa:

**Período de rotação:** é o tempo que decorre para que todas as parcelas voltem a ter a mesma cultura. No caso da rotação ABCDABCDABCD..., em que as quatro culturas são anuais, o período de rotação é de quatro anos.

**Fase de rotação:** é simplesmente a indicação do estágio em que se encontra a rotação, marcada por um número. O número de fases é, necessariamente, igual ao período da rotação em anos. Assim, na rotação supra, A será a fase 1, B a fase 2, etc. O número de fases pode ser maior que o de culturas. A rotação LMMLMMLMM..., por exemplo, possui três fases e duas culturas, L e M.

Quadro 1. Esquema de rotação adotado em experimento em Campinas (SP)

Tratamentos	1963/64	1964/65	1965/66	1966/67	1967/68	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1973/74	1974/75
1. Milho contínuo, sem adubo, sem calagem	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
2. Milho contínuo, adubado, sem calagem	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*
3. Milho contínuo, adubado, com calagem	M <sup>(*)</sup>	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*	M*
4. Milho + leguminosa contínuos	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	M <sup>(*)+L</sup>
5. Amendoim contínuo, sem calagem	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*
6. Amendoim contínuo, com calagem	Am <sup>(*)</sup>	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*	Am*
7. Algodão contínuo, sem calagem	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*
8. Algodão contínuo, com calagem	Al <sup>(*)</sup>	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*	Al*
9. Rotação algodão-amendoim-milho+lابلabe	Al <sup>(*)</sup>	Am*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	M <sup>(*)+L</sup>
10. Rotação amendoim-milho+lابلabe-algodão	Am <sup>(*)</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*
11. Rotação milho+lابلabe-algodão-amendoim	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*
12. Rotação milho+lابلabe-algodão-amendoim-pasto	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	P	P	P	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	P	P	P
13. Rotação pasto-milho+lابلabe-algodão-amendoim	P	P	P	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	P	P	P	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*
14. Rotação milho+lابلabe-algodão-amendoim-lابلabe	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	L	L	L	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	L	L	L
15. Rotação lابلabe-milho+lابلabe-algodão-amendoim	L	L	L	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*	L	L	L	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Am*
16. Rotação algodão-feijão/amendoim-milho/feijão	Al <sup>(*)</sup>	F*/Am	M*/F	Al*	F*/Am	M*/F	Al*	F*/Am	M*/F	Al*	F*/Am	M*/F
17. Rotação arroz-milho+lابلabe-algodão	Ar <sup>(*)</sup>	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Ar*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Ar*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*	Ar*	M <sup>(*)+L</sup>	Al*
18. Arroz contínuo	Ar <sup>(*)</sup>	Ar*	Ar*	Ar*	Ar*	Ar*	Ar*	Ar*	Ar*	Ar*	Ar*	Ar*
19. Rotação feijão/amendoim-arroz/amendoim	F <sup>(*)/Am</sup>	Ar*/Am	F*/Am	Ar*/Am	F*/Am	Ar*/Am	F*/Am	Ar*/Am	F*/Am	Ar*/Am	F*/Am	Ar*/Am
20. Cana-de-açúcar+lابلabe	C <sup>(*)</sup>	C*	C*+L	C*	C*	C*+L	C*	C*	C*+L	C*	C*	C*+L

\*: adubado; (\*): adubado e com calagem no primeiro ano.

**Princípios de planejamento:** no caso de rotações são necessárias várias repetições do período de rotação para que o efeito benéfico cumulativo possa aparecer com o tempo. Assim, deve-se ter  $A_1B_1C_1D_1A_2B_2C_2D_2 \dots A_kB_kC_kD_k$  ao fim de 4 vezes k anos.

Para se obter maior precisão e maior eficiência em ensaios de rotação, reduzindo a duração do experimento, deve-se fazer com que todas as fases da rotação estejam presentes em todos os anos (STEVENS, 1951; FINNEY, 1961)

Por exemplo, no caso da rotação trienal de amendoim (Am) - milho (M) - algodão (Al) deve-se ter:

Série	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Série I	Am	M	Al	Am	M
Série II	M	Al	Am	M	Al
Série III	Al	Am	M	Al	Am

Série	6º ano	7º ano	8º ano	9º ano	...
Série I	Al	Am	M	Al	...
Série II	Am	M	Al	Am	...
Série III	M	Al	Am	M	...

No estudo das comparações das produções, deve-se ressaltar que não é possível comparar as produções de duas culturas diferentes e que não adianta comparar as produções da mesma cultura em anos diferentes, pois, nesse confronto poder-se-á confundir o efeito da rotação com o efeito de anos.

O autor recomendou, enfaticamente, que as únicas comparações permissíveis são as efetuadas dentro da mesma cultura, no mesmo ano. O delineamento em blocos casualizados facilita a comparação dos dados de uma mesma cultura no ano, visto que todos os tratamentos correspondentes à cultura considerada estão representados em cada um dos blocos. Assim, cada uma das culturas pode, no mesmo ano, ser analisada como se cada uma delas pertencesse a um delineamento em blocos ao acaso em que os tratamentos são os correspondentes à cultura considerada. É fundamental que, além das rotações, sejam plantadas as culturas contínuas para avaliar o ganho devido às rotações (livres do efeito de anos).

#### 2.4. Análise estatística

As produções representam a média das quatro repetições dos tratamentos que mostram as culturas em comum no ano, de modo que a análise da variância e da comparação de médias puderam ser feitas, pois se obtiveram, para cada cultura, os valores de F entre tratamentos, o valor do erro experimental

do ano, as médias dos tratamentos, o teste de t. A fim de se obter uma informação global realizou-se o teste de Fisher de combinação de probabilidades (FISHER, 1934) - teste bastante robusto já que é independente dos efeitos de ano, das interações e da heterogeneidade das variâncias, se existirem.

O teste de t e o de F são de uso comum (GOMES, 1990); o teste de combinação de probabilidades é feito como descrito a seguir. Da análise da variância, feita anualmente, cultura por cultura, obtêm-se os valores de F, as médias dos tratamentos, o desvio-padrão (resíduo),  $S_E$  os erros da diferença entre duas médias e os valores de t do tipo  $t = (\bar{X}_A - \bar{X}_B) / \sqrt{S_E^2 (1/4 + 1/4)}$ . A partir do valor de t, estima-se a probabilidade P(t) de se obter um valor de t maior que o obtido (teste unilateral de cauda à direita). Calcula-se, então,  $-2 \log_e$  de P(t) que corresponde a um  $\chi^2$  com 2 graus de liberdade. O teste conjunto, para k anos é feito  $\chi^2_{(total)} = \sum \chi^2_{(anual)}$ , com valor crítico correspondente a 2 k graus de liberdade. Detalhes do processo encontram-se em FISHER (1934), STEEL e TORRIE (1980) e CONAGIN et al. (1993).

Realizou-se a análise da variância e calcularam-se: as diferenças especificadas; o erro da diferença; o teste de t de cada comparação; a probabilidade unilateral desse teste P (t) e  $-2 \log_e$  P(t) =  $\chi^2_{[2]}$  para todos os anos (FISHER, 1934; STEEL e TORRIE, 1980 e CONAGIN et al., 1993).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Alterações nos parâmetros químicos do solo

Os resultados apresentados no quadro 2 mostram as análises químicas realizadas em 1969 e 1972, nas parcelas de milho contínuo, sem adubação. No ano de 1973, realizou-se nova amostragem de solo e a análise química de alguns dos tratamentos apresentou os resultados constantes do quadro 3.

Pelo quadro 3 nota-se que os tratamentos pouco influenciaram os valores do pH, do  $K^+$ , do  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ , independentemente de ser aquele em que o milho recebeu ou não adubação anual. Houve aumento no carbono orgânico e diminuição de  $Al^{3+}$ . Em média, houve aumento do teor de  $PO_4^{3-}$  nas parcelas adubadas e sua manutenção nas plantadas sem adubação.

A rotação Am\*-M\*+L-Al\* nos tratamentos 10 e 11 mostraram nítido efeito, quase 10 anos depois, da calagem feita no primeiro ano, elevando o pH, a porcentagem de carbono, os teores de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  e diminuindo o  $Al^{3+}$ , pouco alterando os teores de  $K^+$  e  $PO_4^{3-}$ .

**Quadro 2.** Resultados das análises químicas realizadas em 1969 e 1972, nas parcelas do tratamento milho contínuo, sem adubo e sem calagem

Ano	pH <sub>água</sub>	pH <sub>KCl</sub>	C	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
			%						
						cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>			μg.cm <sup>-3</sup>
1969	5,1	4,50	0,85	0,40	0,20	1,20	3,80	0,05	0,01
1972	4,7	4,40	0,90	0,30	0,06	1,30	3,30	0,08	0,02

**Quadro 3.** Resultados da análise química do solo, em 1973, nas parcelas dos tratamentos milho contínuo, sem adubo e sem calagem (M), milho contínuo sem adubo e com calagem (M\*) e rotação milho+lablabe-algodão-amendoim

Tratamento	pH <sub>água</sub>	Carbono	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
		%	μg.cm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	
M	4,7	1,8	0,02	0,05	0,40	0,96
M*	4,4	1,9	0,08	0,08	0,37	1,15
M <sup>(*)</sup> +L-Al*-Am*	5,5	3,3	0,02	0,13	2,25	0,41

\*: adubado; (\*): adubado e com calagem no primeiro ano.

Pelo exame da composição química dos solos e pela comparação das análises obtidas no início do experimento (1969) e as obtidas após alguns anos (1973) verificou-se, nos tratamentos com calagem inicial e adubação anual, aumento do valor do pH, do teor em cálcio e do magnésio e, ainda, do teor de carbono do solo, e diminuição do teor de alumínio, provavelmente decorrente da aplicação de calcário e do efeito da rotação das culturas.

Houve redução altamente significativa da fertilidade, evidenciada pela produção contínua do milho, quando foi plantado no mesmo local e sem adubação.

### 3.2. Alterações no rendimento das culturas

As análises que permitiram avaliar com segurança a influência de cada fator serão apresentadas, separadamente, para o milho, para o algodão e para o amendoim. Os tratamentos 16, 17, 18, 19 e 20 não foram analisados porque não foi possível avaliar o efeito das rotações utilizadas; seus resultados também serão apresentados separadamente.

#### 3.2.1. Milho

As produções anuais médias de milho correspondentes aos tratamentos 1, 2, 3, 4 e R designando a produção da fase milho das rotações correspondentes aos tratamentos 9, 10 e 11, conforme o ano considerado, encontram-se no quadro 4.

As comparações estudadas foram:  $\bar{X}_{M2} - \bar{X}_{M1} = C_1$ ;  $\bar{X}_{M3} - \bar{X}_{M2} = C_2$ ,  $\bar{X}_{M4} - \bar{X}_{M3} = C_3$  e  $\bar{X}_{MR} - \bar{X}_{M3} = C_4$ , em que  $\bar{X}_{M1}$  é a média do tratamento 1;  $\bar{X}_{M2}$  é a média do tratamento 2;  $\bar{X}_{M3}$  é a média do tratamento 3;  $\bar{X}_{M4}$  é a média do tratamento 4;  $\bar{X}_{MR}$  é a média do tratamento de rotação. Os  $\chi^2$  correspondentes a essas comparações encontram-se no quadro 5.

O valor 18,42 para  $\chi^2$ , resultante de comparações do tipo  $C_2$  e que aparece em vários anos no quadro 5, é decorrente da probabilidade de P(t) ser menor que  $P = 0,0001$ .

Os valores críticos anuais são: no nível de 0,05, (com 2 graus de liberdade),  $\chi_c^2 = 5,99$  e no nível de 0,01,  $\chi_c^2 = 9,21$ . Os valores críticos correspondentes aos totais de 12 anos são: no nível de 0,05 para 24 graus de liberdade  $\chi_c^2 = 36,4$  e no nível de 0,01 é  $\chi_c^2 = 43,0$ .

Obteve-se, portanto, para os totais de 12 anos, diferença altamente significativa para a comparação  $X_{M2} - X_{M1} = \bar{C}_1$ , ou seja, efeito positivo da adubação mineral no milho quando comparado com o do tratamento não adubado. Houve efeito altamente significativo da diferença  $X_{M3} - X_{M2} = \bar{C}_2$  o que indica efeito muito favorável à calagem e adubação em relação à adubação somente.

Não houve efeito significativo para a comparação  $\bar{X}_{M4} - \bar{X}_{M3} = C_3$ , indicando que o cultivo intercalar de leguminosas na cultura do milho não acarretou aumento significativo da produção. Dados semelhantes foram também encontrados por DECHEN et al. (1990).

Finalmente, a comparação  $C_4$  foi altamente significativa, o que indica um efeito benéfico médio da rotação sobre o cultivo contínuo do milho adubado (com calagem inicial).

Para melhor visualização transcreve-se, no quadro 6, a produção percentual do milho dos vários

tratamentos nos diferentes anos em relação à produção do primeiro ano do milho, sem adubo, o qual é tomado como indicativo da fertilidade inicial do solo.

Os dados de cada ano agrícola representam as porcentagens obtidas a partir das médias das quatro repetições dos tratamentos, dados em porcentagem do tratamento 1, inicial.

Como esperado, ao longo dos anos houve perda de rendimento do milho quando cultivado no sistema contínuo, ainda que com adubação e calagem inicial. Os tratamentos 3 e 4, isto é, milho cultivado anualmente com adubação e com calagem inicial e o com leguminosa intercalar, mantiveram a produtividade inicial e se revelaram bem mais superiores ao plantio do milho contínuo, com adubação anual.

Considerando-se 100 a produção média do tratamento 2 (milho contínuo, com adubação), o tratamento 3 (milho contínuo com adubação e calagem inicial) apresentou valor médio em relação ao tratamento 2, de 228; o tratamento 4 (milho contínuo, com adubação e com calagem no primeiro ano e plantio intercalar de lablabe) apresentou o valor relativo de 218; o tratamento R, que é idêntico ao tratamento 3, porém pertencente ao esquema de rotação, mostrou o valor relativo de 255. O tratamento milho contínuo, sem adubação, proporcionou valor médio de 54, isto é, praticamente a metade do tratamento com adubação.

Esses resultados demonstram a persistência do efeito da calagem durante o experimento, além, evidentemente, da importância da adubação anual e da calagem inicial. O plantio intercalar de lablabe no milho adubado e com calagem inicial, mostrou que, em relação ao tratamento 3, não houve diferença e, portanto, o cultivo intercalar de lablabe não foi eficiente.

A rotação M\*-Al\*-Am\* (tratamentos 9, 10 e 11) revelou efeito idêntico (nos primeiros anos), porém, gradualmente superior aos tratamentos 3 e 4 (Quadro 4) e, nitidamente superior ao cultivo contínuo do milho não adubado e adubado (Quadro 6).

A rotação M\*-Al\*-Am\*-P-P-P proporcionou pouca possibilidade de comparação com os tratamentos 1, 2, 3 e 4 (cultivo contínuo do milho não adubado, adubado, adubado com calagem inicial, adubado com calagem inicial e plantio intercalar de leguminosa). Parece, entretanto, que essa rotação não contribuiu para o aumento da produção do milho em relação aos tratamentos 3 e 4, sendo, porém, superior aos tratamentos 1 e 2. Essa rotação, em que o pasto não foi adubado, fez com que as rotações adubadas anualmente tenham recebido maior

**Quadro 4.** Produções anuais médias de milho

Tratamento	Produção de milho											
	1964/65	1965/66	1966/67	1967/68	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76
1. M	1.425	1.313	1.950	1.028	945	950	583	800	698	504	279	207
2. M*	2.880	2.275	3.503	2.242	528	2.312	767	1.678	1.622	1.075	900	662
3. M <sup>(*)</sup>	4.230	3.938	5.358	5.470	3.075	4.600	2.753	3.907	4.275	3.645	3.325	2.250
4. M <sup>(*)</sup> +L	3.980	2.430	5.025	5.120	3.337	4.907	2.308	3.623	4.128	3.517	3.453	2.653
9-11. Rotação Al*-Am*-M*+L	5.425	3.455	4.812	5.350	3.150	5.298	2.528	4.362	4.738	5.500	5.792	1.933

\*: adubado; (\*): adubado e com calagem no primeiro ano.



**Quadro 5.** Valores de  $\chi^2$  correspondentes às comparações nos anos do experimento

Comparação	Ano agrícola										$\Sigma\chi^2$	
	1964/65	1965/66	1966/67	1967/68	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73	1973/74		1974/75
C <sub>1</sub>	9,42**	8,69*	13,82*	18,42**	0,12	9,92**	2,94					
C <sub>2</sub>	8,85*	18,42**	18,42**	18,42**	18,42**	18,42**	18,42**					
C <sub>3</sub>	0,78	0,00	0,42	0,21	3,70	2,64	0,09					
C <sub>4</sub>	7,73*	0,24	0,18	0,95	1,91	4,93	0,40					
Comparação	Ano agrícola										$\Sigma\chi^2$	
	1970/71	1971/72	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76						
C <sub>1</sub>	2,94	9,02*	13,82**	3,89	4,55	4,33	98,93**					
C <sub>2</sub>	18,42**	18,42**	18,42**	18,42**	18,42**	18,42**	211,47**					
C <sub>3</sub>	0,09	0,47	0,63	0,84	2,14	3,89	15,81					
C <sub>4</sub>	0,40	4,61	6,54*	18,42**	18,42**	0,44	64,77**					

\*: Significativo ao nível de 5%; \*\*: Significativo ao nível de 1%.

**Quadro 6.** Produção percentual do milho em relação à produção do milho no primeiro ano, sem adubação

Tratamentos	Ano agrícola														
	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75				
1. M	100	92	137	72	66	68	41	56	49	35	20				
2. M*	202	160	246	157	37	162	54	118	114	75	63				
3. M <sup>(*)</sup>	297	276	376	380	216	323	193	274	300	256	233				
4. M <sup>(*)</sup> +L	279	170	353	359	234	344	162	254	290	247	242				
9-11. Rotação AI*-Am*-M*+L	381	242	338	375	221	372	177	306	333	386	406				
12-13. Rotação M*+L-AI*-Am*-P	-	-	283	-	-	252	-	-	283	-	-				
14-15. Rotação M*+L-AI*-Am*-L	-	-	433	-	-	426	-	-	351	-	-				

\*: adubado; (\*): adubado e com calagem no primeiro ano.

quantidade de adubação total que a considerada e pôde ser, em parte, responsável pela sua menor produção em relação a rotações trienais.

Já a rotação M\*+L-Al\*-Am\*-L-L-L, apesar da pouca informação oferecida, evidenciou as maiores produções em relação a todos os outros tratamentos (nos anos de coincidência). Em termos econômicos, esta última rotação deixa de proporcionar renda ao agricultor nos três anos de plantio de leguminosa, o que não se dá com os demais tratamentos, porque até na rotação anterior, com pasto, haveria possibilidade de a renda ser feita pela exploração animal durante os três anos de pasto.

O milho foi escolhido para caracterizar o estado de fertilidade do solo, tendo sido plantado para encerrar a pesquisa em todas as parcelas do ensaio no ano de 1975/76.

A análise da variância das 60 parcelas existentes, correspondentes aos 15 primeiros tratamentos do quadro 1, mostrou  $F = QM \text{ tratamentos} / QM \text{ resíduo} = 24.013^{**}$ , altamente significativo, evidenciando a existência de grandes diferenças entre tratamentos.

As médias obtidas foram:  $\bar{X}_{M1} = 207 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M2} = 663 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M3} = 2.250 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M4} = 2.655 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M5} = 725 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M6} = 3.067 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M7} = 308 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M8} = 4.292 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M9} = 3.983 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M10} = 3.970 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M11} = 1.933 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M12} = 1.525 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M13} = 2.212 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M14} = 5.535 \text{ kg.ha}^{-1}$ ;  $\bar{X}_{M15} = 3.428 \text{ kg.ha}^{-1}$ .

Com o  $s^2_E = 425.850$  com 42 graus de liberdade tem-se que o erro das diferenças de duas médias, adotando-se o tipo de erro por comparação ("wise comparison"), é dado por:

$$\sqrt{s^2_E \left( \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)} = \sqrt{425.850 \left( \frac{2}{4} \right)} = 461$$

A diferença mínima significativa pelo teste de t de Student a 5%, com  $t_c = 1,683$  (teste unilateral), é:  $dms = 1,683(461) = 776$ . As comparações seguintes têm significado de interesse agrônomo:

- $\bar{X}_{M2} - \bar{X}_{M1} = 663 - 207 = 456$
- $\bar{X}_{M3} - \bar{X}_{M2} = 2.250 - 663 = 1.587^{**}$ ;
- $\bar{X}_{M4} - \bar{X}_{M3} = 2.655 - 2.250 = 405$ ;
- $\bar{X}_{M6} - \bar{X}_{M5} = 3.067 - 725 = 2.342^{**}$ ;
- $\bar{X}_{M8} - \bar{X}_{M7} = 4.292 - 308 = 3.984^{**}$ .

A comparação (a) avalia o efeito residual dos tratamentos 2 e 1. Observa-se que áreas plantadas com milho adubado anualmente mostraram, após anos de cultivo contínuo, superioridade, porém não

significativa estatisticamente em relação à área plantada com milho contínuo por 11 anos, não adubada, indicando a possível falta de outros nutrientes, além de NPK.

A comparação (b) mostra que a produção após 11 anos de plantio de milho adubado anualmente, que recebeu calagem no primeiro ano, é superior, estatisticamente, ao milho obtido após 11 anos do tratamento 2, revelando que a adição de calcário contribuiu para manter o solo com maior capacidade de produção. O efeito do calcário, mesmo aplicado uma única vez, foi evidente.

A comparação (c) indica que não houve melhoria devido ao plantio intercalar da leguminosa durante os 11 anos (a diferença foi não significativa).

A comparação (d) mede, em termos da produção de milho, as condições do solo, decorrentes do plantio, durante 11 anos de amendoim adubado todos os anos com calagem no primeiro ano, em relação ao amendoim adubado sem calagem inicial. Essa comparação revela uma diferença altamente significativa da produção de milho, indicando o efeito benéfico da calagem.

A comparação (e) revela, em termos da produção de milho, as condições do solo, decorrentes do plantio, durante 11 anos do algodão adubado todos os anos com calagem aplicada no primeiro ano, em relação ao algodão adubado sem calagem inicial. Apresentou uma diferença altamente significativa da produção do milho indicando, também, o efeito benéfico da calagem.

A diferença mínima significativa com relação à média rotação trienal, Al-Am-M+L é dada por:

$$dms = 1,683 \sqrt{s^2_E \left( \frac{1}{12} + \frac{1}{4} \right)} = 1,683 \sqrt{425.850 \left( \frac{1+3}{12} \right)} = 634$$

Seja  $\bar{X}_{MR}$  a média da rotação trienal, seu valor é  $m_{r3} = 3.297 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Comparando com  $\bar{X}_{M3}$ :

$$f) \bar{X}_{MR} - \bar{X}_{M3} = 3.297 - 2.250 = 1.047^{**}$$

O resultado indica melhora significativa da fertilidade do solo das parcelas da rotação trienal, em relação ao tratamento 3 - plantio contínuo de milho adubado que recebeu calagem inicial.

Seja  $\bar{X}_{MP}$  a produção média do milho obtida em 1975/76, que foi plantado nas parcelas da rotação com pasto, seu valor é 1.868. A média do milho obtida no mesmo período das parcelas do tratamento 3, cultivado por 11 anos com milho, foi de 2.250. Assim, a comparação é a seguinte:

$$g) \bar{X}_{MP} - \bar{X}_{M3} = 1.868 - 2.250 = -382$$

$$dms = 1,683 \sqrt{425.850 \left( \frac{1}{8} + \frac{1}{4} \right)} = 673$$

O resultado é não significativo e o milho plantado nas parcelas no tratamento 3 apresentou produção maior que o correspondente à rotação com pasto. Há, por isso, indicação de que a rotação com pasto não foi eficiente.

Seja  $\bar{X}_{ML}$  a produção média do milho obtida em 1975/76 nas parcelas da rotação com leguminosas, o valor é  $\bar{X}_{ML} = 4.483 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

A comparação com o milho de 1975/76 correspondente ao tratamento 3 é:

$$h) \bar{X}_{MP} - \bar{X}_{M3} = 4.483 - 2.250 = 2.233^{**}$$

Sendo  $dms = 673$ , o resultado foi significativo, indicando que a rotação com lablabe contribuiu fortemente para a melhoria da fertilidade do solo nas parcelas. Nesse caso, torna-se evidente que a produção média do milho nas parcelas em rotação foi altamente beneficiada por ela.

Em resumo, pode-se dizer: a) a adubação mineral anual sem o emprego de calagem não conseguiu manter os níveis de produtividade da cultura, sendo as perdas estatisticamente significativas; b) a prática da calagem inicial em adição à adubação mineral elevou a produção da cultura em alguns anos e a manteve em níveis satisfatórios em outros; estatisticamente, porém, as diferenças não foram significativas; c) a produtividade do milho, decorrente da rotação, foi ligeiramente superior à do milho com adubação e calagem; mesmo que essa diferença tenha se acentuado nos últimos anos, não chegou a ser significativa.

### 3.2.2. Algodão

São apresentadas, no quadro 7, as médias anuais de algodão, correspondentes aos tratamentos 7 e 8, sendo  $\bar{X}_{AIR}$  o valor médio dos tratamentos 9, 10 e 11, com rotação tripla.

Com os dados de algodão de cada ano, efetuaram-se as análises da variância e determinaram-se a variância do erro e o erro da diferença entre as médias; calcularam-se as diferenças  $D_1 = \bar{X}_{A18} - \bar{X}_{A17}$  e,  $D_2 = \bar{X}_{AIR} - \bar{X}_{A18}$ , os testes de Student correspondentes, e determinaram-se o  $P(t)$  e o produto de  $\chi^2_{[2]} = -2\log_e P(t)$ . Os resultados encontram-se no quadro 8.

Os valores críticos para os resultados anuais com dois graus de liberdade são  $\chi^2_c = 5,99$  (0,05) e  $\chi^2_c = 9,21$  (0,01).

O  $\Sigma\chi^2$  para  $D_1$  foi  $\Sigma\chi^2 = 128,96^{**}$  e para  $D_2$   $\Sigma\chi^2 = 46,08^{**}$ , sendo os valores críticos de  $\chi^2$ , 31,4 (0,05) e 37,6 (0,01).

Verifica-se que as diferenças  $D_1$ , anuais, são todas significativas ao nível de 5%, exceto para os dois

últimos anos, e  $\Sigma D_1$  foi altamente significativo, evidenciando um incremento médio para a produção do algodão, quando adubado anualmente e com calagem inicial.

Com relação às produções de algodão da rotação tripla, as diferenças  $D_2$  do tipo  $\bar{X}_{AIR} - \bar{X}_{A18}$  anuais, foram sempre positivas, mostrando-se significativas em três dos dez anos. O  $\chi^2$  conjunto foi altamente significativo, decorrente das diferenças positivas anuais, que se acumularam. Tal fato se deve a um efeito médio, altamente significativo, em virtude do acúmulo das diferenças e do aumento de precisão decorrentes da reunião dos resultados de dez anos.

O quadro 9 apresenta as produções em porcentagem, tomando-se por base a produção do primeiro ano (1965/66) do tratamento 7, realizado igualmente a 100%.

Verificou-se a existência de anos desfavoráveis à cultura, válidos para todos os tratamentos com algodão, principalmente em 1969/70, 1970/71, 1971/72, 1973/74 e 1974/75. Ainda assim, constatou-se ligeiro aumento no tratamento 7 (algodão adubado anualmente) durante os primeiros anos, seguido de grande decréscimo na produção nos últimos.

A calagem inicial contribuiu para grande aumento na produção dos primeiros anos, mas não foi suficiente para sustentar a produção até o final do experimento. A produção permaneceu, entretanto, sempre superior à do algodão adubado sem calagem.

O efeito do tratamento R (adubação, calagem e rotação) proporcionou, ao algodão da rotação, aumentos substanciais e consistentes em relação aos tratamentos 7 e 8, evidenciando a importância dessa prática para a cultura do algodão.

Quanto ao algodão, o tratamento que recebeu calagem e adubação apresentou índice de 336 em relação àquele adubado sem calagem (índice 100). Para o tratamento R (algodão da rotação, tratamentos 9, 10 e 11), o índice médio foi de 403, do algodão apenas adubado.

Concluindo: (a) observaram-se grandes diferenças de produção entre os anos; (b) houve acentuado decréscimo da produção nos últimos anos, quando o algodão foi plantado continuamente e apenas com a adubação mineral. Considerando, porém, todos os anos, a redução não foi significativa; (c) o efeito da rotação de culturas foi bem evidente, com ganho de produtividade em todos os anos, seja em relação ao algodão adubado plantado com calagem inicial, seja ainda, e, mais acentuado, em relação ao algodão adubado anualmente e sem a calagem inicial.

**Quadro 7.** Produção média anual de algodão

Tratamento	Ano agrícola									
	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75
	kg.ha <sup>-1</sup>									
7. AI*	258	562	273	1.203	20	83	37	193	20	12
8. AI <sup>(o)</sup>	1.173	1.875	908	2.582	212	378	367	1.135	185	128
9-11. Rot. AI*-Am*-M*+L	1.620	2.233	908	2.827	317	433	395	1.248	473	287

\*: adubado; (\*) : adubado e com calagem no primeiro ano.

**Quadro 8.** Valores de  $\chi^2$  correspondentes às comparações nos anos do experimento

Diferença	Ano agrícola										$\Sigma\chi^2$
	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	
D <sub>1</sub>	8,54*	18,42**	10,23**	18,42**	8,85*	18,42**	18,42**	18,42**	4,65	4,59	128,96**
D <sub>2</sub>	4,55	8,85*	1,39	3,37	5,18	3,32	2,13	3,15	8,15*	5,99*	46,08**

\*: Significativo ao nível de 5%; \*\*: Significativo ao nível de 1%.

**Quadro 9.** Produção percentual do algodão em relação à do primeiro ano, sem adubação

Tratamento	Ano agrícola									
	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75
7. AI*	100	218	106	466	8	32	15	75	8	5
8. AI <sup>(o)</sup>	454	726	352	999	82	147	142	439	72	50
Rotação	627	864	352	1094	123	168	153	483	183	111

\*: adubado; (\*) : adubado e com calagem no primeiro ano.

### 3.2.3. Amendoim

São apresentadas, no quadro 10, as produções anuais e as médias do amendoim correspondentes aos tratamentos 5, 6 e rotação (9 + 10 + 11), em virtude de pouca precisão para avaliar o efeito das duas rotações de seis anos na cultura do amendoim.

Semelhantemente às culturas do algodão e do milho, efetuaram-se as análises da variância, com os dados de cada ano do amendoim, determinaram-se a variância do resíduo, o erro da diferença entre duas médias, o teste de t; calcularam-se P(t) e os produtos  $-2\log_e P(t) = \chi^2$ . Os resultados encontram-se no quadro 11, em que  $E_1 = e_6 - e_5$ ;  $E_2 = e_R - e_6$ .

Verifica-se que a comparação do tipo  $E_1$ , apesar das diferenças consistentemente positivas, mostrou-se significativas nos anos 68/69 e 73/74. Para o conjunto de dez anos, sendo  $\chi^2_c$  para 0,05 e 20 GL,  $\chi^2_c = 31,40$ ; e para 0,01 e 20 GL,  $\chi^2_c = 37,60$ , notou-se que, no conjunto, o  $\Sigma\chi^2$  foi altamente significativo, evidenciando a importância da calagem inicial como complemento à adubação mineral.

Para  $E_2 = e_R - e_6$ , os resultados mostraram que o efeito da rotação foi altamente significativo em três anos (1965/66, 1966/67 e 1974/75) e significativo em 1970/71. Para o conjunto de dez anos, a diferença foi altamente significativa, realçando a importância da rotação para o aumento da produção do amendoim.

São apresentadas, no quadro 12, as produções em porcentagem, tomando-se por base a produção do primeiro ano do tratamento 5 (1965/66, com a fertilidade original do solo), realizado igualmente a 100%.

Os anos 1967/68, 1970/71, 1971/72, 1973/74, 1974/75 foram pouco favoráveis para o amendoim. Houve pequena resposta à calagem e melhor resposta ao amendoim da rotação.

Com relação ao amendoim, os tratamentos a serem considerados são 5, 6 e R (9, 10 e 11). Considerando 100 para o valor médio anual do tratamento 5 (amendoim adubado todos os anos), o valor médio para o tratamento 6 (amendoim adubado anualmente, com calagem no primeiro

**Quadro 10.** Produções anuais médias de amendoim

Tratamento	Produção média de amendoim									
	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75
	kg.ha <sup>-1</sup>									
5. Am*	920	1.678	602	885	1.432	47	340	642	442	498
6. Am <sup>(*)</sup>	1.022	1.962	610	1.225	1.650	68	327	898	722	653
9-11. Rot. Al*-Am*-M*+L	1.958	2.800	683	1.443	1.885	135	305	1.337	883	1.322

\*: adubado; (\*): adubado e com calagem no primeiro ano.

**Quadro 11.** Valores de  $\chi^2$  correspondentes às comparações nos anos do experimento

Comparação	Ano agrícola										$\Sigma\chi^2$
	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	
E <sub>1</sub>	2,70	5,95	1,62	6,49*	3,58	3,17	1,14	3,77	6,82*	3,46	38,70**
E <sub>2</sub>	18,42**	18,42**	4,16	4,24	3,79	8,15*	1,00	5,91	4,22	13,82**	82,13**

\*: Significativo ao nível de 5%; \*\*: Significativo ao nível de 1%.

**Quadro 12.** Produção percentual de amendoim em relação à produção do amendoim no primeiro ano, sem adubação

Tratamento	Ano agrícola									
	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75
5. Am*	100	183	65	66	156	5	37	70	48	54
6. Am <sup>(*)</sup>	110	213	66	133	179	8	35	98	78	71
Rotação	213	304	74	157	205	15	33	145	96	144

\*: adubado; (\*): adubado e com calagem no primeiro ano. O tratamento rotação corresponde à média dos tratamentos 9, 10 e 11 (algodão-amendoim-milho+lablabe).

ano ) foi de 122 e de 170 para o tratamento R (9, 10 e 11). O amendoim reagiu com o aumento médio de 22% devido à calagem inicial, apresentando aumento médio de 70% quando adubado anualmente, com calagem inicial e em rotação de cultura.

Em resumo, (a) a produção mostrou grandes oscilações entre os anos; (b) o plantio contínuo, por muitos anos, revelou tendência de redução nas produções dos últimos anos - considerando-se o período de 11 anos, a redução não foi significativa; (c) o uso da calagem inicial mais adubação foi bastante útil ao se comparar ao tratamento amendoim adubado anualmente com NPK - a redução na produção calculada para o conjunto de anos, foi não significativa; (d) para o amendoim, o efeito da rotação associado à adubação e à calagem

inicial não impediu a existência de baixas produções em alguns anos, principalmente em 1970/71 e 1971/72. A redução da produção não foi, porém, estatisticamente significativa.

#### 3.2.4. Arroz e cana-de-açúcar

Para a cultura do arroz contínuo com calagem inicial e adubação anual (tratamento 18), verificou-se, ao longo dos anos, redução da produção altamente significativa ( $p = 0,01$ ). Os quadros 13 e 14 apresentam as produções médias de arroz e de cana-de-açúcar.

Para o tratamento cana-de-açúcar contínua, adubada anualmente, com calagem inicial e plantio de leguminosas a cada três anos (tratamento 20), verificou-se redução da produção ( $p = 0,06$ ).

**Quadro 13.** Produção média de arroz e a produção percentual de arroz em relação à produção no primeiro ano, sem adubação

Tratamento	Ano agrícola								
	64/65	65/66	66/67	67/68	69/70	70/71	71/72	72/73	74/75
Produção média de arroz, kg.ha <sup>-1</sup>									
18. Ar*	1.635	787	2.108	437	1.039	354	927	145	386
17. Rotação Ar*-M+L-Al	-	-	2.633	-	1.029	-	-	737	-
19. Rotação F*/Am-Ar*/Am	1.598	-	2.863	-	-	487	-	387	475
Produção percentual									
18. Ar*	100	48	129	27	64	22	57	9	24

\*: adubado.

**Quadro 14.** Produção média de cana-de-açúcar e a produção percentual de cana-de-açúcar em relação à produção no primeiro ano, sem adubação

Tratamento	Ano agrícola										
	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75
Produção média de cana-de-açúcar, kg.ha <sup>-1</sup>											
20. C*+L	106.692	54.477	47.156	34391	48.831	44.970	61.404	55.879	54.312	39.725	24.095
Produção percentual											
20. C*+L	100	51	44	32	45	42	57	52	51	37	22

\*: adubado.

## 5. CONCLUSÕES

1. O delineamento experimental proposto, em que todas as culturas estão presentes todos os anos, é uma maneira apropriada e eficiente de analisar experimentos de longa duração que envolvam rotação de culturas.

2. Calagem inicial e diferentes seqüências de rotação alteraram o rendimento de grãos das culturas de milho, algodão e amendoim.

3. As culturas contínuas levaram à redução significativa da produção no decorrer dos anos.

4. A rotação de culturas, quando praticada com calagem inicial e adubação mineral anual, levou à produtividade satisfatória ao longo dos anos, superior à do cultivo contínuo de cada uma das culturas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARF, O.; SILVA, L.S.; BUZZETTI, S.; ALVES, M.C.; SÁ, M.E.; RODRIGUES, R.A.F.; HERNANDEZ, F.B.T. Efeitos na cultura do trigo da rotação com milho e adubos verdes, na presença e na ausência de adubação nitrogenada. *Bragantia*, Campinas, v.58, n.2, p.323-334, 1999.

BERTONI, J.; LOMBARDI-NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 1990. 368p.

BERTONI, J.; PASTANA, F.I.; LOMBARDI-NETO, F.; BENATTI-JÚNIOR, R. Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agrônomo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1972. 56p. (Circular, 20)

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, p.121-126, 1995.

CONAGIN, A.; IGUE, T.; NAGAI, V. *Teste de combinação de probabilidades em grupos de experimentos*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. 30p. (Boletim Científico, 30)

DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI-NETO, F.; CASTRO, O.M. de. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em latossolo roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.5, p.133-137, 1981.

DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R.; LOMBARDI-NETO, F.; CASTRO, O.M.; QUAGGIO, J.A.; DE MARIA, I.C. Physical characterization of a Dark-Red Latosol under crop rotation with peanut and maize. In: UNGER, P.W.; SNEED, T.V.; JORDAN, W.R.; JENSEN, R. (Eds.). *Challenges in dryland agriculture: a global perspective*. INTERNATIONAL CONFERENCE ON DRYLAND FARMING, 1988, Amarillo. *Proceedings...* Amarillo, Texas: Texas Agricultural Experiment Station, 1990. p.581-583.

- DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferrasol in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.51, n.1-2, p.69-77, 1999.
- FINNEY, D.J. *An introduction to the theory of experimental design*. Chicago/London: The University of Chicago Press, 1961. p.118-127.
- FISHER, R.A. *Statistical methods for research workers*. 4.ed. London: Oliver & Boyd, 1934. 390p.
- FUNDAÇÃO CARGILL. Adubação verde no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1983, Rio de Janeiro. Campinas Fundação Cargill, 1984. 363p.
- GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 13.ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade Estadual de São Paulo, 1990. 468p.
- MIYASAKA, S.; CAMARGO, O.A.; CAVALERI, P.A.; GODOY, I.J.; WERNER, J.C.; CURI, S.M.; LOMBARDI-NETO, F.; MEDINA, J.C.; CERVELLINI, G.S.; BULISANI, E.A. *Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo*. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 138p.
- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO, B.F. *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida*. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 64p.
- ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P.; PEDRO-JÚNIOR, M.J. *Normais climatológicas dos postos agrometeorológicos do Instituto Agronômico*: 1. Centro Experimental de Campinas. Campinas: Instituto Agronômico, 1995. 13p. (Boletim Técnico, 155)
- STEEL, G.D.; TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistical: a biometrical approach*. New York: McGraw-Hill, 1980. 475p.
- STEVENS, W.L. Experiências de rotação. *Bragantia*, Campinas, v.11, n.10-12, p.317-330, 1951.
- WUTKE, E.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; AMBROSANO, G.M.B. Rendimento do feijoeiro irrigado em rotação com culturas graníferas e adubos verdes. *Bragantia*, Campinas, v.57, n.2, p.325-338, 1998.
- YATES, F. Análise de uma experiência de rotação. *Bragantia*, Campinas, v.12, n.7-9, p.213-235, 1952.