

ISSN 0103-5797



Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical - CNPAT

**PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS DE NUTRIÇÃO
E ADUBAÇÃO COM PLANTAS PERENES ARBÓREAS**

Fortaleza, CE

1994

ISSN 0103-5797



Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical - CNPAT

**PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS DE NUTRIÇÃO
E ADUBAÇÃO COM PLANTAS PERENES ARBÓREAS**

Adroaldo Guimarães Rossetti

Fortaleza, CE

1994

Copyright © EMBRAPA-CNPAT - 1994

EMBRAPA-CNPAT. Documentos. 13

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à
EMBRAPA-CNPAT

Rua dos Tabajaras, 11 - Praia de Iracema

Telefone: (085) 231.7655 Fax: (085) 231.7762 Telex: (85) 1797

Caixa Postal: 3761

60060-510 Fortaleza, CE

Tiragem: 700 exemplares

Comitê de Publicações

Presidente: Clódion Torres Bandeira

Secretária: Germana Tabosa Braga Pontes

Membros: Valderi Vieira da Silva

Álfio Celestino Rivera Carbajal

Ervino Bleicher

Levi de Moura Barros

Maria Pinheiro Fernandes Correa

Antônio Renes Lins de Aquino

Coordenação Editorial: Valderi Vieira da Silva

Revisão: Mary Coeli Grangeiro Férrer

Normalização Bibliográfica: Rita de Cassia Costa Cid

Digitação: José Carlos Rodrigues de Sousa

Diagramação: Nicodemos Moreira dos Santos Junior

ROSSETTI, A.G. Planejamento de experimentos de nutrição e adubação com plantas perenes arbóreas. Fortaleza : EMBRAPA-CNPAT, 1994. 50p. (EMBRAPA-CNPAT. Documentos. 13).

1. Experimento - Planejamento - Adubação.
2. Estatística experimental. 3. Nutrição de plantas - Experimento. I. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (Fortaleza-CE). II. Título. III. Série.

CDD 001.434

SUMÁRIO

	Pág.
INTRODUÇÃO.....	05
METODOLOGIA.....	07
Aspectos a considerar no planejamento experimental.....	07
Seleção do material experimental.....	07
Escolha da área experimental.....	08
Áreas novas.....	09
Áreas a serem reutilizadas.....	09
Áreas implantadas com a cultura de interesse.....	10
SELEÇÃO DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	10
SELEÇÃO E NÚMERO DE TRATAMENTOS.....	14
SELEÇÃO E TAMANHO DA UNIDADE EXPERIMENTAL.....	15
Tamanho ótimo de parcela experimental.....	15
Bordadura.....	20
EXPRESSÃO DE RESPOSTAS NOS EXPERIMENTOS DE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO.....	21
DELINEAMENTOS PARA EXPERIMENTOS DE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO.....	25
Delineamentos fatoriais completos.....	25
Delineamentos fatoriais fracionários.....	31
Delineamentos centrais compostos.....	34
Delineamentos axiais.....	35
EXPERIMENTOS DE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO.....	36
Exploração de deficiências nutritivas.....	36
Comparação de fontes de nutrientes.....	37
Determinação de época de aplicação de nutrientes.....	40
Determinação de modos de aplicação de nutrientes.....	42
Avaliação de efeito residual.....	42
Experimentos mistos.....	43
Estudo de níveis e combinação de fertilizantes.....	45
CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	46
REFERÊNCIAS.....	48

PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS DE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO COM PLANTAS PERENES ARBÓREAS

Adroaldo Guimarães Rossetti¹

INTRODUÇÃO

Um dos problemas da pesquisa de campo com plantas perenes arbóreas é o tamanho da área experimental, pois essas culturas apresentam, quase sempre, amplos espaçamentos que resultam em baixas densidades de árvores por unidade de área. Como exemplo, considere-se a cultura do cajueiro, *Anacardium occidentale* L., cujo plantio do cajueiro-anão-precoce é feito, geralmente, em espaçamento de 7,0m x 7,0m, com 204 plantas por hectare, e o plantio do cajueiro-comum, em espaçamento de 10,0m x 10,0m, com apenas 100 plantas por hectare. Observa-se, neste caso, que num experimento onde se desejasse testar a ação de três níveis de N, P, K, por exemplo, usando um experimento de blocos ao acaso com quatro repetições, com arranjo fatorial completo e meia bordadura entre as parcelas de nove plantas úteis, seria necessária, para o cajueiro-anão-precoce, uma área não inferior a 9,40 ha e para o cajueiro-comum, 19,20 ha. Experimentos dessa magnitude são caros e, do ponto de vista de execução e manejo, são quase impraticáveis, sobretudo se o controle da produção for feito planta a planta. Por esses e outros fatores é que o planejamento dos experimentos de adubação do solo, com plantas perenes arbóreas, principalmente, quando se estuda a ação de macronutrientes, cuja parte fundamental se realiza em campo, deve merecer grande atenção. Esses experimentos são sempre instalados de acordo com **delineamentos experimentais** apropriados, que permitem determinar o efeito da ação conjunta de vários nutrientes que, via de regra, não se encontram disponíveis no solo, nas proporções exigidas pela planta. Os delineamentos mais utilizados são o **inteiramente casualizado**, o de **blocos completos casualizados**, o de **blocos**

¹ Estatístico. M.Sc. EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (CNPAT). Caixa Postal 3761, CEP 60060-510 Fortaleza, CE.

incompletos equilibrados, o de **parcelas subdivididas** e, mais raramente, o de **quadrados latinos**. O uso de um ou de outro depende dos objetivos da pesquisa e da natureza das respostas que se deseja obter. A análise estatística, em qualquer dos casos utilizados, encontra-se hoje amplamente exposta e discutida por vários autores, como Cochran & Cox (1957), Finney (1976) e Pimentel Gomes (1985), entre outros.

A expressão **delineamento experimental** tem, na experimentação moderna, dois sentidos distintos, enfatizados por Pimentel Gomes & Conagin (1987), referindo-se, por um lado, ao **modo de dispor as parcelas** num experimento, conforme estas sejam **completamente casualizadas, em blocos ao acaso, em quadrados latinos** etc. Por outro lado, refere-se à **estrutura dos tratamentos** no experimento, que pode ser **fatorial completo** ou **fracionário, axial** etc. Sob esta ótica são desenvolvidos, nessa área, experimentos de crescente complexidade na avaliação dos resultados, conforme o número de **nutrientes** e respectivas interações de interesse, cujos efeitos se pretenda conhecer. Neste contexto, faz-se necessário que alguns postulados básicos sejam conhecidos, para que haja um planejamento eficiente da pesquisa, evitando desperdícios e outras conseqüências. Entre estes, é importante que o problema que motivou a pesquisa esteja muito bem entendido e localizado numa área específica do conhecimento, não sendo muito abrangente, de modo que os objetivos e as hipóteses possam ser formulados com precisão. Da clareza e da sintonia desses elementos depende a escolha do delineamento experimental apropriado para a obtenção das respostas a que se propõe a pesquisa. Além disso, as pesquisas com nutrição e adubação devem caminhar juntas com as diversas áreas, mas particularmente com a área de Melhoramento Genético, cuja ação conjunta pode, através de experimentos mistos (adubação x clones/variedades), avançar no período de recomendação de materiais para plantios comerciais de características desejáveis, tanto no tocante à produtividade e economicidade quanto às técnicas. Sob esse enfoque, o planejamento experimental deve levar em conta sempre a ação conjunta desses fatores, através do emprego de delineamentos fatoriais.

O objetivo deste estudo é fornecer informações básicas que sirvam de subsídios para o planejamento eficiente de experimentos de adubação, de campo, com plantas perenes arbóreas, de modo que os

dados produzidos possam ser avaliados cientificamente, e seus resultados e conclusões sejam plenamente confiáveis.

METODOLOGIA

Aspectos a considerar no planejamento experimental

A complexidade das pesquisas com nutrição e adubação de plantas de culturas perenes arbóreas, realizadas em campo, exige, segundo Rossetti (1985), que se dê a devida importância ao seu planejamento, pois, via de regra, são experimentos caros e de longa duração. Conseqüentemente, qualquer erro no planejamento experimental poderá acarretar grande prejuízo, não só de ordem econômico-financeira mas também, e sobretudo, no aumento do tempo para se ter disponíveis os resultados esperados pelos produtores. Além disso, Fisher (1931) menciona que a interpretação estatística e a qualidade dos resultados de um experimento estão ligadas à qualidade do seu planejamento experimental em função dos objetivos a que ele se propõe. Dessa forma, ao se projetar pesquisas dessa natureza, é indispensável que sejam cuidadosamente considerados os seguintes aspectos:

Seleção do material experimental

Este procedimento abrange desde a área experimental até o material genético ou botânico, bem como os aspectos que lhes são inerentes. Os objetivos do experimento e a amostra sobre a qual serão feitas as inferências devem ser considerados com bastante ênfase, critério e rigor. Dessa forma, para que um experimento responda aos seus objetivos, é necessário que as diversas fontes de variação sejam controladas, ao máximo. Assim, as mudas utilizadas no plantio devem ser o mais uniforme possível e do mesmo clone ou variedade, salvo quando este constituir tratamento. Os porta-enxertos devem ter a mesma idade e ser oriundos de único material homogêneo apropriado. Na falta deste, devem-se utilizar sementes clonais (do mesmo clone),

germinadas até certo período após a sementeira, e as plântulas devem ter desenvolvimento vegetativo homogêneo, tanto em altura como em diâmetro, como recurso para melhorar a uniformidade, pois, sabe-se que é difícil conseguir homogeneidade em plantios efetuados por sementes. Os enxertos, quando forem utilizados "garfos", devem ter, o quanto possível, o mesmo comprimento e diâmetro compatível com o diâmetro dos porta-enxertos; devem ser provenientes do mesmo tipo de ramo, tirados do mesmo material do jardim clonal e de preferência enxertados pela mesma pessoa, no menor intervalo de tempo possível. O manejo e os tratamentos culturais dados ao viveiro devem ser os mesmos, para todas as plantas a serem utilizadas no experimento.

Escolha da área experimental

As áreas experimentais têm grande influência nos resultados das pesquisas de adubação e nutrição de plantas. É desejável que estas sejam o mais uniforme possível quanto às características físicas e químicas do solo, isentas de manchas, de topografia plana ou, no máximo, com suaves ondulações e de declividade nunca superior a 3%, de tal sorte que não haja favorecimento para encharcamento de água ou erosão. Caso não haja áreas com essas características, principalmente de declividade, o uso de algumas técnicas experimentais pode controlar satisfatoriamente essas limitações. Há casos em que curvas de nível e/ou cobertura verde, associadas a tais técnicas experimentais, são utilizadas com sucesso. Vale ressaltar que a prática de cobertura verde é, em geral, necessária para a proteção do solo, manutenção de sua umidade e, em certos casos, para a fixação de nitrogênio. A alocação dos blocos, neste caso, deve ser feita, no sentido perpendicular à declividade, de modo a salvaguardar a qualidade do experimento. Após a escolha da área experimental, deve-se proceder a uma análise completa (caracterização física e química do solo), investigando-se os perfis, para avaliar as camadas inferiores, quanto a impedimentos, acumulação de sais, drenagem, transição de horizontes etc. É indispensável que a esta altura se tenha caracterizado com profunda clareza o problema a ser pesquisado, pois a sua relação com a área e suas características é de fundamental importância. Deve ser considerada, ainda, a natureza dessas áreas, tal como:

a) Áreas novas

Devem ser as preferidas, pois evitam-se efeitos incontroláveis devido ao manejo e às adubações anteriores. As áreas selecionadas devem refletir a realidade em que a cultura em questão é explorada comercialmente. Um aspecto importante a ser observado é o preparo da área, de modo a evitar certos danos às características do solo, com reflexos nos resultados da pesquisa. É necessário que estas sejam levadas em conta, pois muito contribuirão para se decidir qual o melhor método a ser utilizado nesta prática. No caso de mecanização, é interessante considerar a época, evitando que esta coincida com período chuvoso, bem como o porte das máquinas a serem utilizadas, pois, podem causar graves prejuízos às características do solo, principalmente quanto à compactação.

b) Áreas a serem reutilizadas

Para uma reutilização segura, é indispensável saber algumas informações anteriores da área, entre as quais: como e em que época ela foi preparada, o tipo e porte das máquinas utilizadas, se mecanizada; se foi queimada; quais as culturas que nela foram implantadas e o manejo usado; se a área foi utilizada com animais, o tipo de animais e o período que lá passaram; que tipos de experimentos foram nela conduzidos. Neste caso, que tratamentos foram usados, seus respectivos níveis e fontes, modo e frequência de aplicação e manejo. Esta providência é importante para se determinar eventuais efeitos residuais de tratamentos anteriores, o grau de esgotamento ou de compactação do solo, que poderão, em certas situações, mascarar totalmente os resultados do novo experimento nela instalado. É imprescindível, nessa fase, uma análise completa de solo, pois ajudará na detecção desses eventuais efeitos, indicando a necessidade ou não de uma adubação complementar em toda a área, à base de N,P,K ou outros elementos. Se porém houver dificuldades, devem ser fornecidas, pelo menos, informações quanto à fertilidade, química do solo e algumas características físicas.

c) Áreas implantadas com a cultura de interesse

É comum a utilização de áreas já implantadas com a cultura, objeto de estudo, para a instalação de alguns tipos de experimentos, entre os quais o de **nutrição de plantas**, visando definir a adubação mais econômica a ser usada. Nessa hipótese, são importantes algumas informações a respeito do que fora feito na área, principalmente, quanto aos tratos culturais (manejo) que foram e continuam sendo dados. Conhecidos esses aspectos, parte-se para a escolha das plantas, que deve ser feita com critério técnico. Estas devem ser do mesmo clone ou variedade e o mais uniforme possível quanto à idade, ao porte, à massa foliar, entre outros. Deve-se atentar para a competitividade das plantas por luz, evitando escolher aquelas eventualmente mais favorecidas nesse sentido. Outro aspecto importante a ser observado é a "expansão" do sistema radicular das plantas escolhidas, que, em geral, está associado à questão anterior. Tal escolha não é uma tarefa muito fácil, uma vez que os critérios adotados variam com o executor, mais é indispensável. Além disso, nem sempre é possível que seja aleatória, o que seria desejável. Sendo assim, os métodos de amostragem são em geral recomendados, dando bons resultados, se considerados os aspectos mencionados. Em face dessas condições, é necessário que o bom senso e o critério científico não sejam dispensados, de tal modo a evitar experimentos que jamais possam ser avaliados científica e economicamente. Vale ressaltar que a utilização de áreas já cultivadas, para experimentos de adubação e nutrição de plantas, limita bastante o planejamento experimental, uma vez que aumenta, substancialmente, os fatores de variação incontrolláveis pelo experimentador. Isso prejudica, de certa forma, a utilização de um **delineamento experimental** mais adequado, entre outras coisas, com sérios prejuízos à qualidade das respostas. Por tais fatos, essa prática não deve ser adotada, senão em casos especiais.

SELEÇÃO DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental tem estreita relação com os objetivos da pesquisa e do experimento. Conhecimentos sobre o sistema radicular da cultura de interesse, a localização dos adubos e métodos de aplicação são informações importantes que devem estar

disponíveis, pois representam economia de tempo, esforço e dinheiro, evitando desperdício, entre outras coisas. Por isso, devem ser buscadas com absoluta prioridade. Há necessidade da completa compreensão do problema, da **clareza dos objetivos** e das respostas que se pretende obter. Estes elementos, associados aos nutrientes e níveis a serem testados, constituem os fatores a serem considerados na seleção do delineamento experimental. Deve-se evitar com um só experimento procurar resolver todos os problemas. A inclusão de muitos fatores e níveis, no mesmo experimento, pode atingir um elevado grau de complexidade, exigindo, conseqüentemente, um delineamento tão sofisticado que, além de aumentar muito o experimento, causa prejuízos ao seu manejo, podendo dificultar a análise dos dados e a conseqüente interpretação dos resultados. Os delineamentos simples como o inteiramente casualizado, se se tratar de área homogênea, com um número total de parcelas não superior a 20 e que o número de graus de liberdade do resíduo não for inferior a dez, bem como o de blocos ao acaso, são, em geral, preferíveis, pois têm mais flexibilidade, apresentam grande facilidade de análise dos dados e fornecem maior precisão, assim como, em caso de qualquer problema verificado por condições climáticas adversas ou de outra ordem, oferecem consideráveis recursos para solucionar tais questões.

Considere-se um experimento de adubação N,P,K, em que os seus objetivos são formulados em função do conhecimento existente, para a cultura em estudo. Caso não se conheça nada e se deseje obter o máximo de informação de quatro níveis desses nutrientes, estes poderiam ser descritos como segue:

- a) Testar os efeitos principais e de todas as combinações dos níveis 0, 1, 2 e 3 de N,P,K e suas interações, até as de 2ª ordem, na produção da cultura.
- b) Determinar a superfície de respostas desses nutrientes.
- c) Determinar o nível ótimo, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, desses nutrientes.

Neste caso, o delineamento experimental seria o de blocos ao acaso, em arranjo fatorial completo, de 4^3 , com confundimento da interação tripla e um número adequado de repetições.

Ou então:

Caso haja interesse de se obter informações apenas sobre os nutrientes, isoladamente, para serem utilizadas em futuros experimentos, os objetivos então seriam:

- a) Testar os efeitos principais dos níveis 0, 1, 2 e 3 de N,P,K, na produção da cultura, cada um na presença de um nível constante dos demais.
- b) Determinar a curva de resposta para cada nutriente.
- c) Determinar os níveis ótimos, em cada caso, tanto técnica como economicamente.

O delineamento experimental apropriado para este caso seria o axial em blocos ao acaso, com um número adequado de repetições. Aqui se pode utilizar, caso haja interesse, alguns tratamentos adicionais.

Ou ainda:

- a) Testar os efeitos de algumas combinações (32 ou 16) dos níveis 0, 1, 2 e 3 de N,P,K, na produção da cultura.
- b) Determinar a superfície de respostas desses nutrientes.
- c) Determinar os níveis ótimos, em cada caso, tanto técnica como economicamente.

O delineamento apropriado seria o fatorial fracionário, $(1/2) 4^3$ ou $(1/4) 4^3$, em blocos ao acaso, com um número adequado de repetições.

Suponha-se, por exemplo, que se esteja diante dos seguintes problemas:

- a) A cultura é exigente em nitrogênio e fósforo; o solo é pobre quanto a esses nutrientes, principalmente no tocante ao último; o pH está em torno de 3,5; e o teor de alumínio é de 1,5 mE/100g. Observa-se que é simples definir os objetivos do experimento. Caso a calagem seja uniforme para toda a área experimental, o trabalho limita-se a testar, por exemplo, três níveis de N e P, num fatorial de 3^2 , portanto com nove tratamentos e um número adequado de repetições. Sendo a área comprovadamente homogênea, o delineamento inteiramente casualizado seria suficiente. Caso não se tenha informações seguras quanto à homogeneidade da área, o delineamento recomendado seria o de blocos casualizados, com pelo menos quatro blocos. Se o interesse for testar também vários níveis de calagem, embora aumentando um pouco o experimento, poderia ser usado um fatorial completo, em blocos ao acaso.
- b) Suponha-se que as informações disponíveis e a análise de solo dêem conta de que os teores de N,P,K, por exemplo, são baixos, e que, além disso, há necessidade de boro e cobre, por exemplo. Como se vê, os objetivos estão praticamente definidos. A utilização de um fatorial completo 3^5 (três níveis de cada nutriente) e quatro blocos, dariam um experimento cuja área se tornaria muito grande. Neste caso, alternativas entre as que se seguem poderiam ser recomendadas:
- b1) Um fatorial fracionário em blocos ao acaso, $(1/3)^{3^5} = 81$ tratamentos ou $(1/9)^{3^5} = 27$ tratamentos ou $(1/27)^{3^5} = 9$ tratamentos, selecionados entre os grupos que melhor respondam às deficiências detectadas pelas informações. Nesta hipótese, é indispensável que se tenha conhecimento sólido do possível comportamento desses tratamentos, uma vez que, em qualquer dos casos, grande número deles ficaria de fora.
- b2) Um delineamento axial com quatro níveis de cada nutriente, por exemplo, em blocos ao acaso, com repetição do ponto central quatro vezes e um número adequado de repetições. Neste caso,

obteriam-se informações para futuros experimentos, uma vez que este delineamento não permite o estudo de interações.

b3) Outra alternativa seria a utilização de um fatorial fracionário, em blocos ao acaso $(1/3)3^3 \times 2^2$. O primeiro fator corresponde a N,P,K e o segundo a dois níveis apenas de B e Cu, respectivamente.

Além dessas, outras alternativas poderiam ser estudadas. Todas, porém, requerem a disposição dos fatores básicos, enunciados anteriormente.

Convém mencionar que qualquer delineamento experimental requer a presença dos princípios básicos da experimentação (**repetição, aleatorização e controle local**), que não devem, pelo menos os dois primeiros, sob qualquer pretexto, ser abandonados. Estes, além de respaldarem a consistência dos resultados obtidos, proporcionam melhores estimativas do erro experimental, maior precisão na medida dos efeitos de tratamentos, assegurando a obtenção de estimadores não tendenciosos dos efeitos de tratamento e do erro experimental, respectivamente.

SELEÇÃO E NÚMERO DE TRATAMENTOS

Grande parte do sucesso de um experimento repousa sobre o critério na seleção dos tratamentos (níveis e fontes), que constituem, na verdade, os elementos a serem avaliados, ou os efeitos a serem medidos. Estes devem ser escolhidos em perfeita harmonia com os objetivos da pesquisa, com o conhecimento da cultura com que se trabalha e serem coerentes com a solução desejada ao problema. Embora não haja restrições formais quanto ao número de tratamentos de um experimento, estes dependem, de alguma forma, do delineamento experimental utilizado e têm certa influência na precisão das estimativas dos parâmetros, uma vez que, se muito alto (acima de 20 por bloco), pode trazer grandes dificuldades no manejo experimental e conseqüentemente na qualidade dos resultados, que, por sua vez, pode ser prejudicada, não só neste caso, mas também se

for um número muito pequeno (inferior a quatro). Dessa forma, é importante que haja prudência, bom senso e critério científico nessa decisão.

SELEÇÃO E TAMANHO DA UNIDADE EXPERIMENTAL

Em experimentos de campo, com plantas perenes arbóreas, como é o caso do cajueiro e da seringueira, por exemplo, o tamanho e a forma das parcelas são importantes, para que o experimento produza a precisão desejada, nas estimativas dos efeitos de tratamentos. Uma parcela com grande número de plantas, além de exigir maior área experimental, que dificultará o manejo e conseqüentemente a boa qualidade de condução do experimento, acaba por induzir maior variação dentro da parcela. Por outro lado, parcelas muito pequenas podem, também, induzir erros de estimativas dos efeitos de tratamentos.

Tamanho ótimo de parcela experimental

O ideal é usar parcelas cujo número de plantas proporcione mínima **variância** à média de cada tratamento, conforme demonstraram Rossetti & Pimentel Gomes (1987). No caso do cajueiro, Rossetti et al. (1991) mencionam que o tamanho ótimo, que apresentou mínima variância, foi aquele formado por quatro e nove plantas úteis, de forma quadrada, respectivamente, em duas e três linhas de plantio. Tal variância não se alterou tanto, quando este número esteve entre **quatro e dezesseis** plantas na área útil das parcelas (Tabelas 1 e 2).

Já para a seringueira, Rossetti & Pimentel Gomes (1987) indicam que o número ótimo está entre seis e nove plantas na área útil, não se alterando tanto a variância, quando este estiver entre quatro e 20 plantas (Tabelas 3 e 4).

Tabela 1 - Estimativa do coeficiente de correlação intraclasse ($\hat{\rho}$), do número de plantas úteis por parcela (k), do número total de plantas por parcela (K), formadas de uma a quatro linhas úteis de plantio (n), considerando-se o uso de meia bordadura (b = 1/2) e bordadura completa (b = 1), para a variável produção, em peso de castanha (PC)s e número de castanhas (NC)s, de plantios originados de semente, e (PC)c e (NC)c, de plantios de clones de cajueiro-comum.

Variáveis	Estimativa de $\hat{\rho}$	Tamanho da parcela e variância	Meia bordadura (b = 1/2)				Bordadura completa (b = 1)			
			n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4
(PC)s	0,1361	k	2 ou 3	4	6 ou 9	8	4	6	6 ou 9	8
		$\hat{V}(\bar{m})^*$	3,41 ou 3,39	3,17	3,36 ou 3,71	3,66	6,34	5,60	5,60 ou 5,80	5,86
		K	6 ou 8	9	12 ou 16	15	18	20	20 ou 25	24
(NC)s	0,1083	k	3	4	6 ou 9	8	4	6	9	12
		$\hat{V}(\bar{m})^*$	3,24	2,98	3,08 ou 3,32	3,30	5,96	5,14	5,18	5,27
		K	8	9	12 ou 16	15	18	20	25	30
(PC)c	0,1148	k	2 ou 3	4	6 ou 9	8	3 ou 4	6	6 ou 9	8
		$\hat{V}(\bar{m})^*$	3,34 ou 2,97	3,02	3,15 ou 3,41	3,38	6,15	5,25	5,25 ou 4,37	5,41
		K	6 ou 8	9	12 ou 16	15	15 ou 18	20	20 ou 25	24
(NC)c	0,1098	k	3	4	6 ou 9	8	4	6	6 ou 9	8
		$\hat{V}(\bar{m})^*$	3,25	2,99	3,10 ou 3,33	2,49	5,98	5,16	5,16 ou 4,30	5,30
		K	8	9	12 ou 16	15	18	20	20 ou 25	24

* Todos os valores de $\hat{V}(\bar{m})$ deverão ser multiplicados pela constante σ^2/N . $\hat{V}(\bar{m})$ é a variância da média de cada tratamento; (PC)s é o peso de castanha do material propagado por semente; (NC)s é o número de castanhas do material propagado por semente; (PC)c é o peso de castanha do material clonal; (NC)c é o número de castanhas do material clonal.

Tabela 2 - Estimativa do tamanho ótimo de parcelas (k), para cajueiro-anão-precoce, respectivamente com $b = 1/2$, $b = 1$ e $b = 2$, conforme se usar meia bordadura, bordadura completa ou dupla.

$b = 1/2$	2	4	9
	3	9	16
$b = 1$	2	4	16
	3	9	25
$b = 2$	2	4	36
	4	16	64

Tabela 3 - Estimativas das variâncias da média de tratamentos $\hat{V}(\hat{m})$, do número de plantas úteis k, por parcela, para a cultura da seringueira, com bordadura completa ($b = 1$), em função do número de linhas de plantio n e da estimativa do coeficiente de correlação intraclasses $\hat{\rho}$, para $\hat{\rho} = 0,05$.

n	k	$\hat{V}(\hat{m})$	n	k	$\hat{V}(\hat{m})$
2	6	4,17 σ^2/N	3	9	3,89 σ^2/N
2	8	4,05 σ^2/N	3	12	3,88 σ^2/N
2	10	4,06 σ^2/N	3	15	3,97 σ^2/N
2	12	4,13 σ^2/N	3	18	4,11 σ^2/N
2	14	4,24 σ^2/N	3	30	4,49 σ^2/N
2	20	4,68 σ^2/N	3	42	5,81 σ^2/N
2	30	5,55 σ^2/N	3	60	7,24 σ^2/N
2	40	6,49 σ^2/N	5	25	4,31 σ^2/N
4	16	3,94 σ^2/N	5	30	4,57 σ^2/N
4	20	4,10 σ^2/N	5	40	5,16 σ^2/N
4	24	4,30 σ^2/N	5	60	6,45 σ^2/N
4	32	4,78 σ^2/N			
4	40	5,31 σ^2/N			
4	60	6,71 σ^2/N			

Tabela 4 - Estimativas das variâncias da média de tratamentos $\hat{V}(\hat{m})$, do número de plantas úteis k , por parcela, para a cultura da seringueira, com meia bordadura ($b = 1/2$), em função do número de linhas de plantio n e da estimativa do coeficiente de correlação intraclasse $\hat{\rho}$, para $\hat{\rho} = 0,05$.

n	k	$\hat{V}(\hat{m})$	n	k	$\hat{V}(\hat{m})$
2	4	2,59 σ^2/N	3	9	2,49 σ^2/N
2	6	2,50 σ^2/N	3	12	2,58 σ^2/N
2	8	2,53 σ^2/N	3	15	2,72 σ^2/N
2	10	2,61 σ^2/N	3	18	2,88 σ^2/N
2	12	2,71 σ^2/N	3	30	3,59 σ^2/N
2	14	2,83 σ^2/N	3	42	4,36 σ^2/N
2	20	3,22 σ^2/N	5	25	3,17 σ^2/N
2	30	3,92 σ^2/N	5	30	3,43 σ^2/N
4	16	2,73 σ^2/N	5	40	3,98 σ^2/N
4	20	2,92 σ^2/N			
4	24	3,14 σ^2/N			
4	32	3,86 σ^2/N			
4	40	5,16 σ^2/N			

No caso, σ^2 é a variância dos tratamentos do experimento e N o número de plantas, por tratamento, para $k = n^2$.

Em ambas as culturas, o uso de quaisquer dos casos depende dos objetivos da pesquisa, que indica o tipo de bordadura necessária, bem como o número de linhas úteis, que deve ter a parcela.

Quando se tratar de cultura que não se tenha informação sobre o tamanho ideal da parcela experimental, este pode ser determinado, com base em dados de pelo menos três anos de produção da cultura, conforme Rossetti & Pimentel Gomes (1987), pelas expressões que se seguem:

$$\hat{\rho} = \frac{v_1 - v_2}{v_1 + (k-1)v_2}, \quad k > 1;$$

$$k = \sqrt{\frac{2bn(1 - \hat{\rho})}{\hat{\rho}}}, \quad \hat{\rho} > 0;$$

$$K = \left(1 + \frac{2b}{n}\right)(k + 2bn), \quad n \geq 1;$$

$$n = \sqrt[3]{\frac{2b(1 - \hat{\rho})}{\hat{\rho}}}, \quad \hat{\rho} > 0;$$

$$\hat{V}(m) = \frac{2}{N} \left(1 + \frac{2b}{n}\right) \left(1 + \frac{2bn}{k}\right) [1 + (k-1)\hat{\rho}], \quad N, n, k \geq 1$$

$$N = r \left(1 + \frac{2b}{n}\right) (k + 2bn), \quad n \geq 1$$

onde:

$\hat{\rho}$: estima o coeficiente de correlação intraclasse, que mede a correlação que deve existir entre as plantas de parcelas vizinhas;

V_1 : estima a variância relativa a parcelas dentro de clones;

V_2 : estima a variância relativa a plantas dentro de parcelas;

k : estima o número de plantas úteis da parcela;

b : representa o tipo de bordadura ($b = 1/2$, $b = 1$ ou $b = 2$) conforme se utilizar meia bordadura, bordadura completa ou dupla;

n : estima e representa o número de linhas de plantio que forma a parcela útil;

K : estima o número total de plantas da parcela;

$\hat{V}(\bar{m})$: estima a variância da média de cada tratamento;

σ^2 : é a variância populacional;

N : é o número total de plantas por tratamento, para $k = n^2$.

Para o emprego dessa metodologia, os dados devem ser tomados de cada planta individualmente, nunca da parcela, como um todo.

Bordadura

A função da bordadura em experimentos de campo é evitar que tratamentos de parcelas contíguas, de alguma forma, passem de uma para outra ou influenciem no efeito independente de cada um ou até se misturem. Sua utilização, nos experimentos de adubação é

indispensável, em face do carregamento dos nutrientes no solo, entre outras coisas. Nesta situação, é geralmente, necessário o uso de bordadura dupla, principalmente quando se trata de plantas muito adensadas e de sistema radicular superficial bastante desenvolvido, cruzando a área das plantas adjacentes. Esse fato, porém, traz, para os cultivos com plantas perenes arbóreas, um problema sério, pois essa prática (bordadura dupla) contribui para o aumento demasiado de área dos experimentos, causando sérias dificuldades, principalmente quanto ao manejo. É evidente que a própria localização dos adubos serve, em geral, para limitar a expansão do sistema radicular. Mesmo assim, é aconselhável, nos experimentos de adubação, o uso de bordadura completa, pelo menos.

EXPRESSÃO DE RESPOSTAS NOS EXPERIMENTOS DE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO

Por se tratar de pesquisas caras, é natural que as expressões das respostas desses experimentos sejam colocadas da forma mais clara e exata possível. Desse modo, buscam-se funções de respostas que permitam expressar o comportamento da cultura em relação ao(s) nutriente(s) aplicado(s), de tal maneira que possam ser avaliados técnica e economicamente os efeitos desses produtos, em relação aos acréscimos ou decréscimos de produtividade verificados. É desejável que elas permitam interpretações gráficas ou geométricas, por meio de **curvas de respostas**, quando se usa um só nutriente (função com uma só variável independente) e de **superfícies de respostas**, que constituem a representação geométrica de equações de regressão com dois ou mais nutrientes (duas ou mais variáveis independentes). Entre as primeiras, as funções mais comumente usadas são:

$$\text{Polinômios } Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + \dots + a_rX^r,$$

principalmente o do 2º grau $Y = a_0 + a_1X + a_2X^2$

Polinômio em \sqrt{X} , por exemplo: $Y = a_0 + a_1\sqrt{X} + a_2X$

Lei de Mitscherlich $Y = A[1 - 10^{-c(X+b)}]$

Função de Cobb-Douglas $Y = aX^b$, $b > 0$ (Figuerôa & Pimentel Gomes, 1981). Dessas, o trinômio do 2º grau:

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2,$$

é uma das funções mais usadas. Ela tem um máximo para $a_2 < 0$ e um mínimo para $a_2 > 0$, ambos

para $X_0 = -(a_1/2a_2)$. O trinômio do 2º grau em \sqrt{X} :

$$Y = a_0 + a_1\sqrt{X} + a_2X, \quad (\sqrt{X} > 0),$$

apresenta ponto crítico para $\sqrt{X} = -(a_1/2a_2)$, em que a_1 e a_2 devem ser de sinais contrários. No caso de $a_1 > 0$, a função tem máximo e quando $a_1 < 0$, ela tem mínimo.

O uso de quaisquer dessas funções depende de certas propriedades matemáticas que lhes são inerentes e por isso de grande importância para expressar as respostas procuradas.

As curvas de respostas apresentam características interessantes na interpretação dos resultados de experimentos de adubação. De modo geral têm a forma indicada na Fig. 1-a, identificando acréscimo de produção a partir do nível zero, apresentando depois certa estabilização.

Observam-se, além disso, outras formas que expressam, por exemplo:

- a) Crescimento da produção praticamente linear, que indica serem insuficientes os níveis de nutrientes aplicados (Fig. 1-b).
- b) Curva em forma de S (efeito cúbico), com acréscimos pequenos, a princípio, e bem maiores de certo ponto em diante (Fig. 1-c).

c) Curva decrescente, indicando ação nociva do fertilizante, geralmente por erro do método de aplicação ou escassez de umidade no solo (Fig. 1-d).

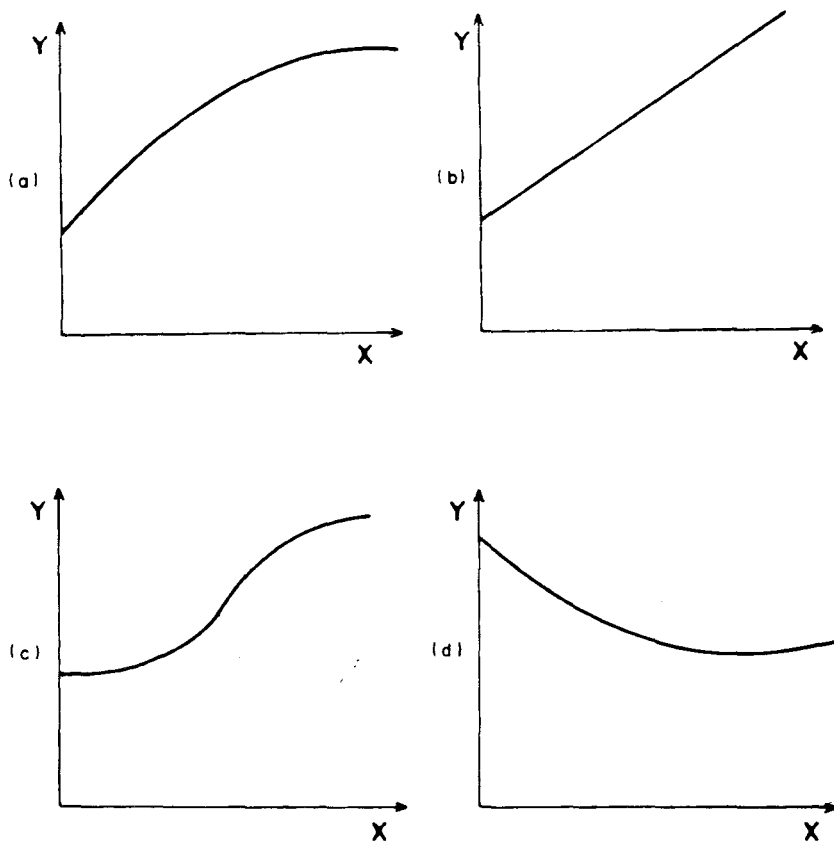


Fig. 1 - Produção da cultura (Y), em função dos níveis de nutrientes (X).

As **superfícies de respostas** têm papel importante nesses estudos, uma vez que são funções que permitem avaliar os efeitos de mais de dois nutrientes, em cujos casos é comum haver interações significativas, indicando que seus efeitos não são independentes, nos intervalos estudados. Assim, por exemplo, num experimento fatorial de 3^2 , com P e K, em seis blocos casualizados, em que a interação P x K for significativa, o nível ótimo de P depende do nível de K e vice-versa. Para se resolver a questão há, pelo menos, três soluções possíveis:

- a) Considerar as nove combinações de três níveis de P com três níveis de K, em nove tratamentos distintos, e escolher entre eles o mais conveniente. Esta solução, porém, não considera o aspecto quantitativo dos tratamentos e indicará o melhor tratamento no experimento, sem buscar uma melhor aproximação para os níveis a serem recomendados.
- b) Procurar encontrar uma curva de resposta de P para cada nível de K e vice-versa, selecionando, posteriormente, dos resultados ótimos para cada caso, qual(is) o(s) que deve(m) ser recomendado(s).
- c) Ajustar uma superfície de resposta com duas variáveis independentes, que estudem, simultaneamente, os dois nutrientes. Neste caso, as equações são:

i) O polinômio do segundo grau a duas variáveis:

$$Y = a_{33} + a_{13}x_1 + a_{23}x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{12}x_1x_2.$$

ii) O polinômio com raiz quadrada (\sqrt{X}) :

$$Y = a_{33} + a_{13}\sqrt{X_1} + a_{23}\sqrt{X_2} + a_{11}X_1 + a_{22}X_2 + a_{12}\sqrt{X_1X_2}.$$

iii) Uma função de Baule, generalização da lei de Mitscherlich:

$$Y = A[1 - 10^{-c_1}(X_1 + b_1)] [1 - 10^{-c_2}(X_2 + b_2)]$$

iv) A função de Cobb-Douglas generalizada:

$$Y = aX_1^{b_1}X_2^{b_2}.$$

Das quatro funções, a mais usada e provavelmente a mais conveniente é o polinômio de segundo grau (i), pelos motivos que se seguem:

- a) É muito mais fácil de ser utilizada.
- b) Nos casos mais comuns não é difícil obter estimadores independentes para os seis coeficientes da equação.
- c) É menos comum o aparecimento de **pontos de sela**.

Os métodos de ajustamento de superfícies de resposta são conhecidos e discutidos por vários autores, entre os quais Hoffmann & Vieira (1977), Draper & Smith (1981), Myers (1971) e Pimentel Gomes (1985), e outros, que, por sua vez, já fazem parte dos "pacotes" de computador, como o SAS (Statistics Analysis System) e o SOC (Software Científico), além de tantos outros.

DELINEAMENTOS PARA EXPERIMENTOS DE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO

Em face da importância que tem sido dada à pesquisa nessa área, são numerosos os tipos de delineamentos utilizados em experimentos de adubação, cuja complexidade é muito variada. A seguir estão algumas considerações acerca dos mais importantes e mais usados.

Delineamentos fatoriais completos

Além de muito utilizados, os experimentos fatoriais são mais eficientes que os experimentos simples. Os fatoriais completos incluem todas as combinações de vários conjuntos de tratamentos ou fatores, o que permite a obtenção de informações mais completas. A principal desvantagem desses experimentos é o rápido aumento do

número de tratamentos, o que causa consideráveis limitações, entre as quais a perda de eficiência. Esta situação torna-se mais grave ainda quando se trata de plantas arbóreas, como é o caso do cajueiro, cujo espaçamento utilizado no plantio exige aumento das áreas experimentais, trazendo, conseqüentemente, sérios problemas. Assim, por exemplo, para um fatorial N P K de 3^3 , têm-se 27 tratamentos, em cada bloco; para um de 5^3 , têm-se 125 e assim por diante. Uma característica importante desses experimentos é o conceito de interação, em geral de grande interesse nesse tipo de estudo, notadamente, do ponto de vista prático, até as interações de segunda ordem. Considerando, no primeiro exemplo, um experimento com quatro blocos, a análise segue o esquema da Tabela 5.

Tabela 5 - Análise de variância de um experimento fatorial 3^3 (N P K), com quatro blocos.

Fonte de variação	GL
Nitrogênio (N)	2
Fósforo (P)	2
Potássio (K)	2
Interação N x P	4
Interação N x K	4
Interação P x K	4
Interação N x P x K	8
(Tratamentos)	(26)
Blocos	3
Resíduo	78
Total	107

Na verdade tem-se maior interesse em saber como se comportam os efeitos principais e as interações, bem como o fato de serem esses efeitos lineares ou quadráticos, conforme se observa na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise de variância dos efeitos principais lineares: N' P' K' , quadráticos: N'' P'' K'' e de suas interações, de um experimento fatorial 3^3 (N P K), com quatro blocos.

Fonte de variação	GL
N'	1
N''	1
P'	1
P''	1
K'	1
K''	1
$N' \times P'$	2
$N'' \times P''$	2
$N' \times K'$	2
$N'' \times K''$	2
$P' \times K'$	2
$P'' \times K''$	2
$N' \times P' \times K'$	4
$N'' \times P'' \times K''$	4
(Tratamentos)	(26)
Blocos	3
Resíduo	78
Total	107

Apesar de a análise ser simples, quando se examina o aspecto de campo, verifica-se que 27 tratamentos seriam demasiado para um só bloco casualizado, correndo o risco de descaracterizar sua função, com a possibilidade de induzir desuniformidade dentro do bloco, em conseqüência do aumento da área. Para reduzir o tamanho dos blocos, Yates (1937) sugere usar o confundimento de dois graus de liberdade da interação tripla ($N \times P \times K$), por exemplo. Neste caso, o autor apresenta quatro soluções, designadas por W, X, Y e Z, cujo uso de qualquer uma é indiferente, sendo conveniente usar pelo menos duas repetições por local. Utilizando-se o grupo W, por exemplo, os blocos são os que se seguem:

<u>Bloco I</u>	<u>Bloco II</u>	<u>Bloco III</u>
000	001	002
012	010	011
021	022	020
101	102	100
110	111	112
122	120	121
202	200	201
211	212	212
220	221	222

Considerando-se duas repetições por local e por analogia com a Tabela 6, a análise segue o esquema da Tabela 7.

No caso de uma só repetição por local, a análise segue o esquema da Tabela 8.

Tabela 7 - Análise de variância de um experimento fatorial 3^3 , com confundimento de dois graus de liberdade da interação tripla (N x P x K).

Fonte de variação	GL
N'	1
N''	1
P'	1
P''	1
K'	1
K''	1
Interação N' x P'	1
Interação N' x K'	1
Interação P' x K'	1
Interação N x P x K (não confundida)	6
(Tratamentos)	(24)
Blocos	5
Resíduo	24
Total	53

Tabela 8 - Análise de variância de um experimento fatorial 3^3 com uma só repetição.

Fonte de variação	GL
N'	1
N''	1
P'	1
P''	1
K'	1
K''	1
Interação N' x P'	1
Interação N' x K'	1
Interação P' x K'	1
Blocos	2
Resíduo	15
Total	26

Em ambos os casos, a superfície polinomial de resposta de segundo grau a ser utilizada, para expressar o efetivo comportamento dos diversos efeitos, é a que se segue:

$$Y = a_{44} + a_{14}x_1 + a_{24}x_2 + a_{34}x_3 + a_{11}P_2(x_1) + a_{22}P_2(x_2) + a_{33}P_2(x_3) + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3$$

onde:

x_1 , x_2 e x_3 são polinômios ortogonais do primeiro grau;

$P_2(x_1)$, $P_2(x_2)$ e $P_2(x_3)$ são polinômios ortogonais do segundo grau, correspondentes;

$x_i = (X_i - \bar{X}_i)/q_i$; q_i é a diferença entre dois níveis equidistantes.

ou a correspondente com a raiz quadrada,

$$Y = a_{44} + a_{14}\sqrt{x_1} + a_{24}\sqrt{x_2} + a_{34}\sqrt{x_3} + a_{11}P_2(x_1) + a_{22}P_2(x_2) + a_{33}P_2(x_3) + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3,$$

Caso sejam desprezíveis as interações, o estudo pode ser feito de maneira mais simples, pelas curvas de respostas aplicadas separadamente a cada nutriente.

Nas pesquisas realizadas em solos cuja deficiência de certo nutriente é grave e conhecida, o nível mínimo desse nutriente não deve ser, necessariamente, zero, mas um nível relativamente baixo. Supondo que esse nutriente seja o fósforo (P), poderiam ser usados 25 kg/ha de P_2O_5 , por exemplo, ou outra quantidade, em função da espécie e da densidade de plantio utilizadas. Neste caso, os níveis de P no fatorial seriam: 1, 2 e 3. O nível zero poderia ser incluído, como recomendam Pimentel Gomes & Conagin (1987), como tratamento

adicional 101, por exemplo. Outra solução, neste caso, poderia ser: os níveis 1, 2 e 3 para N,P,K, acrescentando-se em cada bloco os tratamentos adicionais: 000, 122, 212 e 221, além de 222 + calcário e 222 + calcário + micronutriente.

Delineamentos fatoriais fracionários

Propostos por Finney (1945), são amplamente encontrados na literatura e de uso freqüente, pois utilizam parte das combinações de um fatorial completo, diminuindo consideravelmente o número de tratamentos e conseqüentemente reduzindo a área experimental a ser utilizada. Vale salientar que o seu uso é aconselhável quando já se tem alguma informação a respeito das exigências nutricionais da cultura, pois, caso contrário, pode-se incorrer em grandes falhas, entre as quais a de estar deixando de incluir, no experimento, tratamentos que poderiam dar melhores resultados do que os em teste. Esse fato merece total atenção, uma vez que o uso de fatoriais fracionários tem como conseqüência uma série de confundimentos entre os efeitos dos fatores e interações. Daí a necessidade de informações seguras, pois se os padrões de confundimentos envolverem efeitos importantes, os resultados do experimento podem ficar seriamente comprometidos. Essa abordagem entretanto, é feita, na literatura, por vários autores, entre os quais Finney (1945) e Kempthorne (1979). Veja-se, por exemplo, que de um fatorial de 4^3 , com 64 tratamentos, pode-se usar $(1/2) 4^3 = 32$ tratamentos ou $(1/4) 4^3 = 16$ tratamentos, ou $(1/8) 4^3 = 8$ tratamentos. Do mesmo modo, de um fatorial de $5^3 = 125$ tratamentos, pode-se tomar $(1/5) 5^3 = 25$ tratamentos, e assim por diante. Observa-se no exemplo a seguir que ao utilizar $(1/4) 4^3 = 16$ tratamentos, deixam-se de fora 48 tratamentos. Esta opção, se não for baseada em informações precisas, pode causar sérios transtornos, entre os quais, o de se estar utilizando tratamentos, cujas respostas podem ser totalmente irrealistas. Afora essa situação, são experimentos bastante eficientes, permitindo avaliações por meio de superfícies de respostas, cuja metodologia de análise é amplamente discutida na literatura e inserida nos principais "pacotes" de computador.

Exemplo de experimento fatorial completo, NPK
com quatro níveis: 4^3

01- $N_0 P_0 K_0$	17- $N_1 P_0 K_0$	33- $N_2 P_0 K_0$	49- $N_3 P_0 K_0$
02- $N_0 P_0 K_1$	18- $N_1 P_0 K_1$	34- $N_2 P_0 K_1$	50- $N_3 P_0 K_1$
03- $N_0 P_0 K_2$	19- $N_1 P_0 K_2$	35- $N_2 P_0 K_2$	51- $N_3 P_0 K_2$
04- $N_0 P_0 K_3$	20- $N_1 P_0 K_3$	36- $N_2 P_0 K_3$	52- $N_3 P_0 K_3$
05- $N_0 P_1 K_0$	21- $N_1 P_1 K_0$	37- $N_2 P_1 K_0$	53- $N_3 P_1 K_0$
06- $N_0 P_1 K_1$	22- $N_1 P_1 K_1$	38- $N_2 P_1 K_1$	54- $N_3 P_1 K_1$
07- $N_0 P_1 K_2$	23- $N_1 P_1 K_2$	39- $N_2 P_1 K_2$	55- $N_3 P_1 K_2$
08- $N_0 P_1 K_3$	24- $N_1 P_1 K_3$	40- $N_2 P_1 K_3$	56- $N_3 P_1 K_3$
09- $N_0 P_2 K_0$	25- $N_1 P_2 K_0$	41- $N_2 P_2 K_0$	57- $N_3 P_2 K_0$
10- $N_0 P_2 K_1$	26- $N_1 P_2 K_1$	42- $N_2 P_2 K_1$	58- $N_3 P_2 K_1$
11- $N_0 P_2 K_2$	27- $N_1 P_2 K_2$	43- $N_2 P_2 K_2$	59- $N_3 P_2 K_2$
12- $N_0 P_2 K_3$	28- $N_1 P_2 K_3$	44- $N_2 P_2 K_3$	60- $N_3 P_2 K_3$
13- $N_0 P_3 K_0$	29- $N_1 P_3 K_0$	45- $N_2 P_3 K_0$	61- $N_3 P_3 K_0$
14- $N_0 P_3 K_1$	30- $N_1 P_3 K_1$	46- $N_2 P_3 K_1$	62- $N_3 P_3 K_1$
15- $N_0 P_3 K_2$	31- $N_1 P_3 K_2$	47- $N_2 P_3 K_2$	63- $N_3 P_3 K_2$
16- $N_0 P_3 K_3$	32- $N_1 P_3 K_3$	48- $N_2 P_3 K_3$	64- $N_3 P_3 K_3$

Legenda:

N_0, N_1, N_2, N_3 : níveis de nitrogênio (N)

P_0, P_1, P_2, P_3 : níveis de fósforo (P_2O_5)

K_0, K_1, K_2, K_3 : níveis de potássio (K_2O).

Considere-se, por exemplo, um experimento $(1/5) S^3 = 25$ tratamentos, isto é, onde serão utilizados apenas 25, dos 125 tratamentos do fatorial completo. Esses tratamentos podem ser constituídos por um dos grupos que se seguem:

Grupo I					Grupo II				
111	245	324	453	532	111	345	524	253	432
222	351	435	514	143	222	451	135	314	543
333	412	541	125	254	333	512	241	425	154
444	523	152	231	315	444	123	352	531	215
555	134	213	342	421	555	234	413	142	321
Grupo III					Grupo IV				
111	235	354	423	542	111	134	152	125	143
222	341	415	534	153	254	222	245	213	231
333	452	521	145	214	342	315	333	351	324
444	513	132	251	325	435	453	421	444	412
555	124	243	312	431	523	541	514	532	555

Este tipo de experimento pode ser analisado pelo modelo polinomial quadrático, polinomial com raiz quadrada, equação de Mitscherlich, entre outros. Utilizando o modelo quadrático tem-se:

$$Y = a_{44} + a_{14}x_1 + a_{24}x_2 + a_{34}x_3 + a_{11}P_2(x_1) + a_{22}P_2(x_2) + a_{33}P_2(x_3) + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3$$

onde:

$x_i = -2 + X_i/q_i$ e $P_2(x_i) = -2 + x_i^2$, sendo x_i ($i = 1,2,3$) os níveis de nutrientes.

Para um fatorial fracionário do tipo $(1/25) 5^4 = 25$ tratamentos, em que se têm três soluções equivalentes, uma das quais pode ser a que se segue:

1111	1342	1523	1254	1435
2541	2222	2453	2134	2315
3421	3152	3333	3514	3245
4351	4532	4213	4444	4125
5231	5412	5143	5324	5555,

é conveniente usar duas repetições por local.

A equação a se ajustar aos dados é dada por:

$$Y = a_{55} + a_{15}x_1 + a_{25}x_2 + a_{35}x_3 + a_{45}x_4 + a_{11}P_2(x_1) + a_{22}P_2(x_2) + a_{33}P_2(x_3) + a_{44}P_2(x_4) + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{14}x_1x_4 + a_{23}x_2x_3 + a_{24}x_2x_4 + a_{34}x_3x_4$$

Delineamentos centrais compostos

Desenvolvidos inicialmente por Box & Wilson (1951), para experimentos industriais, em que o erro experimental é, em geral, muito pequeno e as condições experimentais mais facilmente controláveis. Seu uso na experimentação agrícola é muito criticado, principalmente para as plantas perenes arbóreas, por usarem áreas grandes, em geral heterogêneas, embora permitam experimentos com cinco, sete ou nove níveis, com número bastante reduzido de tratamentos. Suas principais restrições estão ligadas à análise dos dados e à sua eficiência, sendo os fatoriais mais eficientes, como o demonstram Pimentel Gomes & Campos (1971).

Delineamentos axiais

Próprios para experimentos simples e recomendados em pesquisas pioneiras, pois favorecem a obtenção de informações preliminares, por meio de experimentos relativamente pequenos, o que é muito útil, sobretudo quando não se tem nenhuma informação. São constituídos de tratamentos resultantes da configuração obtida a partir do cruzamento de três eixos N, P, K, por exemplo, ou com três pontos, em cada eixo (níveis 0, 1, 2), originando seis combinações distintas e mais o tratamento central, com três repetições, obtidas na interseção dos três eixos. Foram muito usados no Brasil, em pesquisas desenvolvidas pelo convênio Organização para Alimentação e Agricultura (FAO) - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE) - Associação Nordestina de Desenvolvimento Agrícola (ANDA). Sua principal limitação é não considerar o estudo de interações. Seguem-se exemplos de experimentos com N, P, K, considerando-se duas situações distintas:

- a) Em áreas de fertilidade média, onde provavelmente seria dispensável a **calagem**, os tratamentos poderiam ser:

000	111	110
011	211	112
111	101	111 + calcário
111	121	111 + calcário + micronutrientes.

- b) Em áreas de solos ácidos e fracos, em que há necessidade de **calagem**, os tratamentos poderiam ser:

000		111
000 + calcário	111 + calcário	110 + calcário
011 + calcário	211 + calcário	112 + calcário
111 + calcário	101 + calcário	222 + calcário
111 + calcário	121 + calcário	111 + calcário + micronutrientes

A análise estatística, relativamente simples, é baseada no delineamento de blocos ao acaso, com um número de repetições conveniente. Pode-se aqui aplicar um modelo polinomial, como nos casos anteriores. Esse tipo de experimento permite obter uma curva para cada nutriente, determinando, assim, o nível ótimo em cada caso. É recomendado para pesquisas com plantas perenes arbóreas, para as quais não se têm informações seguras quanto às suas exigências nutricionais.

EXPERIMENTOS DE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO

Considere-se alguns delineamentos experimentais apropriados para experimentos que envolvem atividades ligadas às seguintes áreas:

Exploração de deficiências nutritivas

Trata-se de pesquisa de natureza qualitativa, na qual se tem interesse de conhecer os nutrientes que estão presentes no solo, em disponibilidade inferior à requerida pela cultura. A pesquisa pode ser feita por meio de experimento em vaso, ou em campo, ou ambos. Na escolha dos tratamentos começa-se com a combinação mais completa possível e vai-se eliminando um nutriente de cada vez, permanecendo os demais em cada tratamento. Os exemplos, a seguir, mostram, no primeiro caso (A), uma pesquisa de macronutrientes e no segundo (B), de micronutrientes.

A Tratamentos

- 1) NPK, (Ca + Mg), micron.
- 2) PK, (Ca + Mg), micron.
- 3) NK, (Ca + Mg), micron.
- 4) NP, (Ca + Mg), micron.
- 5) NPK, micron.
- 6) NPK, (Ca + Mg)
- 7) NPK
- 8) Controle (fertilidade natural)

B Tratamentos

- 1) NPK, (Ca + Mg), Zn, B, Fe, Mo
- 2) NPK, (Ca + Mg), B, Fe, Mo
- 3) NPK, (Ca + Mg), Zn, Fe, Mo
- 4) NPK, (Ca + Mg), Zn, B, Mo
- 5) NPK, (Ca + Mg), Zn, B, Fe
- 6) NPK, (Ca + Mg)
- 7) NPK
- 8) Controle (fertilidade natural)

Em qualquer dos casos, o delineamento apropriado seria o de blocos ao acaso, com um número adequado de repetições, e a comparação dos tratamentos pode ser feita pelos testes de Tukey ou Dunnett, por exemplo.

Comparação de fontes de nutrientes

São experimentos a serem instalados nos grandes grupos de solos, nos quais se pretende, em geral, avaliar a eficiência relativa dos diversos adubos, entre si. A comparação, neste caso, é feita por curvas básicas de respostas. Trata-se de análise eminentemente quantitativa, devendo-se considerar a natureza econômica da questão. As curvas básicas de resposta devem partir do mesmo ponto (**nível zero**) dos diversos adubos. É recomendado, por isso, que esse nível seja repetido tantas vezes quantos forem os adubos.

Para efeito de exemplo, considere-se a comparação de adubos fosfatados, esquematizados a seguir:

Fonte	Níveis				
	0	1	2	3	4
Superfosfato triplo	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4
Superfosfato simples	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4
Fosforita	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4
Termofosfato	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4

Os tratamentos p_0 , s_0 , f_0 e a_0 são os mesmos (só recebendo N K, por exemplo).

Os delineamentos preferíveis são ainda os de blocos ao acaso, com número razoável de repetições, para se conseguir melhor precisão experimental das curvas de respostas (Fig. 2).

Neste caso, para avaliar cada fertilizante, usam-se as funções de resposta que se seguem:

$$\text{Superfosfato: } \hat{Y}_s = \hat{a}_1 + \hat{b}_1 S + \hat{c}_1 S^2$$

$$\text{Fosforita: } \hat{Y}_f = \hat{a}_2 + \hat{b}_2 F + \hat{c}_2 F^2$$

$$\text{Termofosfato: } \hat{Y}_a = \hat{a}_3 + \hat{b}_3 A + \hat{c}_3 A^2$$

$$\text{Superfosfato triplo: } \hat{Y}_p = \hat{a}_4 + \hat{b}_4 P + \hat{c}_4 P^2$$

Os coeficientes b_1 , b_2 , b_3 e b_4 representam as declividades das respectivas funções (coeficiente angular de cada curva) e c_1 , c_2 , c_3 , e c_4 representam os coeficientes quadráticos (normalmente negativos).

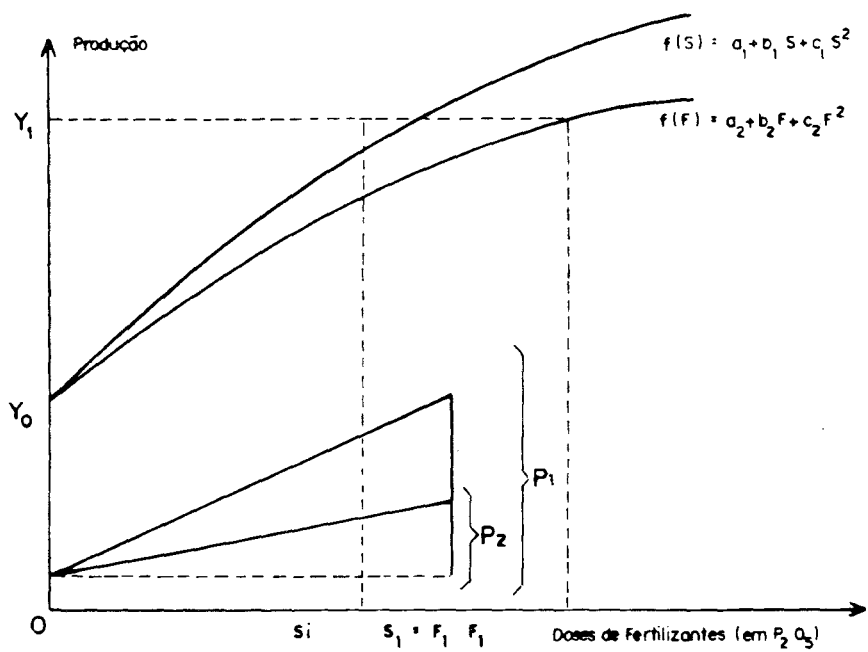


Fig. 2 - Comparação de fontes de nutrientes.

A comparação das estimativas b_1 e b_2 pode ser feita pelo teste t , e a eficiência relativa das curvas do superfosfato e da fosforita, para a mesma dosagem ($S = F = X$), em termos de P_2O_5 , pode ser feita pela relação $e = b_1/b_2$. A avaliação econômica do valor relativo dos adubos é feita para diferentes níveis de produção. Para uma produtividade Y_1 , ter-se-ia:

$$Y_1 = a_1 + b_1S + c_1S^2 = a_2 + b_2F + c_2F^2$$

Para se obter a produção Y_1 serão necessárias a dose S_1 de superfosfato e a dose F_1 de fosforita. Então se $p_1S_1 > p_2F_1$, onde p_1 é o preço de uma dose equivalente de superfosfato e p_2 , o preço de uma dose equivalente de fosforita (em termos de P_2O_5), o superfosfato será economicamente mais eficiente que a fosforita, no nível de produção Y_1 , considerado. Avaliação semelhante pode ser feita com o uso de superfície de resposta polinomial com raiz quadrada ou equação de Mitscherlich.

Determinação de época de aplicação de nutrientes

De modo geral, as culturas apresentam necessidades diferentes, de acordo com a variedade, com as condições agroclimáticas etc. As exigências nutricionais variam também de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura.

Os estudos sobre a época de aplicação dos fertilizantes e corretivos devem levar em consideração **a finura das partículas, a solubilidade dos adubos e corretivos, sua capacidade de penetração no solo, sua absorção pelo complexo mineral e orgânico do solo, o ciclo da cultura** (longo no caso), **a distribuição do sistema radicular, o modo de aplicação, as exigências da planta, o tipo de adubo ou corretivo** etc.

Geralmente, a época de aplicação deve ser estudada associada com o número de aplicações (fracionamento), com o sistema de aplicação (cobertura, incorporado), com a dosagem global utilizada etc.

Admitindo uma cultura de ciclo de 100 a 120 dias, por exemplo (apenas para efeito didático), um esquema simples, que leva em consideração só uma dosagem total, variando a época e o número de aplicações, seria o que se segue:

Tratamento	Época de aplicação (dias)				
	0	20	40	60	80
1	100	0	0	0	0
2	25	75	0	0	0
3	25	50	25	0	0
4	0	50	50	0	0
5	0	100	0	0	0
6	0	25	75	0	0
7	25	0	75	0	0
8	0	0	100	0	0
9	0	0	25	75	0
10	0	0	50	50	0
11	25	0	25	50	0
12	20	20	20	20	20

Esses experimentos poderão ter menor número de tratamentos se, a partir de experimentos em vasos (em presença de quantidades adequadas de nutrientes), puder ser determinada uma curva básica de absorção de cada elemento nutritivo (análise química: raízes, caule e folhas) e, assim, se conhecer as épocas mais críticas para a absorção e as dosagens requeridas.

Torna-se, assim, mais fácil conduzir experimentos de campo que explorarão soluções representadas por menor número de tratamentos adstritos às combinações que se mostram racionais, em face dos conhecimentos existentes, capazes de proporcionar combinações eficientes para a planta e com possibilidade de aplicação prática.

O melhor delineamento para esse caso é também o de blocos ao acaso, e as dosagens totais aplicadas são as que ficam mais próximas do ótimo econômico. As avaliações dos tratamentos podem ser feitas por testes de comparação múltipla, como Tukey e Duncan, por exemplo, conforme Federer (1955).

Caso se queira experimentar todos os tratamentos possíveis, representados pela variação de época, com número de aplicação e dosagens, há necessidade da utilização de experimentos fatoriais fracionários. Neste caso, o número de tratamentos se elevará bastante. Entretanto, muitos desses tratamentos deixarão de produzir os efeitos desejados por proporcionarem maior quantidade de adubo em épocas inadequadas (muito cedo ou tardiamente).

Determinação de modos de aplicação de nutrientes

Os adubos podem ser aplicados de vários modos: em sulcos a várias profundidades (em um sulco de um dos lados da planta), ou em dois sulcos, um de cada lado etc. Nesse caso, estuda-se também a profundidade ótima de aplicação. Além dessa, a adubação em cobertura, em faixas ou a lanço, entre outros.

O delineamento recomendado é o de blocos ao acaso. E, em certos casos, combinações fatoriais são úteis, principalmente quando se conjugam, por exemplo, dois sulcos com três profundidades e duas dosagens, completadas pelas adubações a lanço ou em faixas.

Avaliação de efeito residual

O efeito de um fertilizante não ocorre só no ano de aplicação, mesmo quando se trata de culturas anuais. Assim, uma dose X de P_2O_5 (do superfosfato, por exemplo), aplicada num ano, a uma cultura, poderá, no ano seguinte, produzir efeito análogo ao de uma dose hx , aplicada nessa ocasião. O fator h , que deve estar no intervalo $[0,1]$, é que estima o efeito residual. Para estimar h , Colwell (1981) usou uma equação de regressão apropriada e método estatístico conveniente. Usando-se o trinômio de segundo grau, a equação no primeiro ano seria:

$$Y_1 = a_{01} + a_{11} + a_{21}x^2,$$

e no segundo, $Y_2 = a_{02} + a_{12}hx + a_{22}(hx)^2.$

Com o auxílio de método apropriado a modelos não-lineares nos parâmetros, podem-se estimar os sete parâmetros aí incluídos, inclusive **h**. Vale ressaltar que na opinião de S. Y. Volkweiss, citado por Pimentel Gomes & Conagin (1987), é preferível comparar curvas relativas à colheita do mesmo ano agrícola, uma com efeito residual do ano anterior, outra com efeito só do mesmo ano. É comum, entretanto, aparecerem, nos ensaios, as doses **X**, aplicadas no ano anterior, adicionadas a doses **qX**, aplicadas no ano da colheita, por exemplo, enquanto noutras parcelas têm-se apenas as doses **X**. As equações têm então as formas:

$$Y_1 = a_{01} + a_{11} + a_{21}x^2$$

$$Y_2 = a_{02} + a_{12}(h + q)x + a_{22}(h + q)^2 x^2,$$

onde **q** é conhecido e a_{01} , a_{11} , a_{21} , a_{02} , a_{12} , a_{22} e **h** são estimáveis.

Tal situação, com plantas perenes arbóreas, estende-se por vários anos consecutivos, em cujo período se pretenda estimar o efeito residual de adubos. O procedimento é análogo e conseqüentemente mais trabalhoso, uma vez que o número de parâmetros a ser estimado aumenta substancialmente, em função do período considerado.

Experimentos mistos

Normalmente, a adubação é utilizada em solos de baixa fertilidade natural, para proporcionar nutrição adequada à planta e garantir altas produções. Por outro lado, o aumento de produção vem sendo garantido por plantas selecionadas em pesquisas de

melhoramento. Estas, porém, são, em geral, mais exigentes em nutrientes em determinadas fases de crescimento. Assim, tem se tornado cada vez mais freqüente a prática dos experimentos, em que são, em geral, testadas k variedades (clones), em w densidades de plantio e em z níveis de adubação, N P K, por exemplo. Experimentos desse tipo, têm-se revelado de grande importância, pois têm como meta principal "ganhar tempo". É contudo necessário que se tenha bastante critério, ao planejar experimentos dessa natureza.

Os delineamentos mais indicados para essas pesquisas são os de **blocos ao acaso, com tratamentos comuns e regulares**, por serem mais simples, mais robustos e mais eficientes. Podem-se também utilizar os fatoriais, ou um experimento que englobe tratamentos comuns e regulares em fatorial fracionário, quando se dispõe de informações suficientes que os justifiquem. É necessário, neste caso, muita precaução, evitando-se que o número de tratamentos cresça demasiadamente, em detrimento da qualidade dos resultados experimentais. Tome-se, por exemplo, quatro variedades consideradas promissoras, pelo melhoramento. Supondo conhecidas algumas características que assegurem o uso dos grupos de um fatorial fracionário $(1/4) 4^3$, conforme sugerem Andrade & Noletto (1985), o experimento pode ser instalado em dois locais. Em cada local devem estar presentes as quatro variedades e um dos grupos a seguir, conforme as informações disponíveis.

Grupo I (local A)	Grupo II (local B)
000 101 202 303	003 102 201 300
011 110 213 312	012 120 210 311
022 123 220 321	021 113 223 322
033 132 231 330	030 131 232 333

Os dados podem ser avaliados pelos dos modelos polinomiais quadráticos ou pela raiz quadrada, cujos coeficientes são, em ambos os casos, estimados independentemente, conforme exposto

neste trabalho. Como se vê, trata-se de um experimento que envolve tratamentos comuns (variedades) e regulares (fertilizantes). Essa condição, apesar de vantajosa, torna o experimento relativamente grande, exigindo, portanto, maior cuidado na instalação e condução, para que os resultados sejam efetivamente satisfatórios.

Estudo de níveis e combinação de fertilizantes

São várias as alternativas de pesquisa envolvendo níveis e combinações de fertilizantes. Ultimamente, elas têm se tornado mais freqüentes e de grande importância na experimentação de campo.

Esses experimentos caracterizam-se, fundamentalmente, por estudar vários nutrientes, com níveis variáveis, conforme Fisher (1951) e Yates (1937). Tratam-se, portanto, de experimentos, cuja análise dos resultados é essencialmente quantitativa.

Os delineamentos experimentais apropriados são os fatoriais, que permitem exploração detalhada das respostas.

Convém mencionar que, do ponto de vista prático, só os componentes **linear x linear**, das interações, têm realmente maior significado. Dessa forma, em um esquema fatorial 3^3 , em blocos de nove tratamentos (interação N P K confundida), a soma de quadrados é decomposta em lineares e quadráticos, dos efeitos principais. Para as interações de segunda ordem, é suficiente o conhecimento dos componentes lineares (Tabela 7).

Quando se estuda um maior número de níveis, com vistas a obter maior sensibilidade da curva de respostas, o que é desejável, Cochran & Cox (1957) recomendam os fatoriais fracionários, uma vez que são muito eficientes.

Há casos, como os considerados por Oliveira (1973) e Colwell (1981) em que foram incluídos no modelo, além dos fertilizantes e respectivos níveis, fatores climáticos e edafológicos. Nessa situação, há três objetivos interessantes:

- a) Calibrar a análise de solo com a resposta ao fertilizante.
- b) Estimar a natureza da resposta a vários nutrientes, incluindo a interação.
- c) Estimar o efeito dos fatores edafológicos e ambientais que modifiquem a resposta do rendimento à adubação.

Além disso, a função aproximativa permite efetuar a análise econômica, de grande interesse nesses estudos.

Como as respostas podem variar em função de condições climáticas e edafológicas, os delineamentos apropriados devem satisfazer, entre outras, as seguintes condições:

- a) A amplitude dos níveis escolhidos de cada fator estudado deve abranger, em seu interior, o máximo da função, seja nos anos favoráveis, seja nos desfavoráveis.
- b) A variação dos níveis de cada fator deve ser feita de forma conveniente, com as variações de outros níveis, de modo a assegurar a avaliação das interações.
- c) O número total de tratamentos não deve ser muito alto, para que o experimento não fique muito grande, oneroso e difícil de manejar.
- d) A estimativa do erro experimental (ou resíduo) deve dispor de número de graus de liberdade (maior que 10), para assegurar precisão à estimação dos parâmetros e aos testes efetuados.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Parcelas experimentais de cajueiro-anão-precoce com mais de 16 plantas na área útil, de cajueiro-comum com mais de doze plantas e ambos com menos de quatro plantas (Tabelas 1 e 2), e de seringueira com mais de 16 a 20 plantas e menos que quatro (Tabelas 3 e 4) teriam aumentadas as variâncias dentro da parcela,

correndo-se o risco de não serem detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, a baixos níveis de probabilidade (0,05 e 0,01), por exemplo, a não ser que se aumentasse o número de repetições, no experimento. Levando-se em conta que se deve usar pelo menos bordadura completa, entre as parcelas, ter-se-iam áreas experimentais bastante grandes, com possível influência na qualidade da condução e manejo desses experimentos. Nesse contexto, o uso de delineamentos fatoriais completos, apesar das suas numerosas vantagens e eficiência, sobretudo pelo volume de informações que se teria numa cultura da qual nada se conhecesse, do ponto de vista de exigência nutricional, seria quase impraticável. Assim, é desejável utilizarem-se, de início (em experimentos pioneiros), os delineamentos axiais, de preferência em rede de experimentos, pois em cultivos como o cajueiro, por exemplo, dentro de três ou no máximo quatro anos já se teriam informações seguras sobre os nutrientes de interesse, para se realizar pesquisas em experimentos fatoriais fracionários, tão eficientes como os fatoriais completos, com a vantagem de ocuparem áreas muito menores, portanto mais factíveis, do ponto de vista prático. É desejável, para se ganhar tempo, que estes sejam executados em rede de experimentos, em vários locais de ocorrência da cultura, gerando, assim, informações gerais e valiosas.

Além disso devem ser consideradas as seguintes recomendações:

1. No planejamento de experimentos de nutrição e adubação de plantas perenes arbóreas é indispensável que se conheça bem a história da área experimental, para detectar possíveis efeitos residuais, principalmente se esta já houver sido utilizada antes.
2. É importante levar em conta a época do preparo da área, o tipo e porte de máquina utilizada, se o experimento for feito mecanicamente.
3. A escolha do delineamento experimental não deve, sob qualquer hipótese, estar dissociada do tipo de pesquisa, dos objetivos e das respostas que se pretende obter. Estas não devem ser tão ambiciosas, de tal sorte que a área do experimento se torne grande demais.

4. Para evitar que os efeitos de um tratamento influam nos adjacentes é interessante que seja utilizada pelo menos bordadura simples entre as parcelas experimentais.
5. Quando a cultura de interesse não dispuser de informações seguras sobre exigências nutricionais, estudos de **sistema radicular** devem ser feitos com absoluta prioridade.
6. Realizar experimentos para detectar **deficiências nutritivas**.
7. O estudo de **modo de aplicação e localização dos nutrientes** deve ser efetuado com certa primazia.
8. Na falta de informações seguras quanto às exigências nutricionais, os experimentos de campo pioneiros devem ser em **delineamento axial**, em blocos ao acaso. É preferível que sejam testados poucos nutrientes e o maior número de níveis possível (pelo menos cinco). Devem seguir-se a estes os **experimentos fatoriais fracionários**, ambos em redes de experimentos.
9. Realizar experimentos mistos (adubação x clones), em rede, para estudar o trinômio nutrição x genótipo x ambiente.
10. Curvas de respostas (função de uma variável independente) e de superfície de respostas (função de duas variáveis independentes) expressam eficientemente os resultados das pesquisas de adubação.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D.F. de; NOLETO, A. de Q. Exemplos de fatoriais fracionados $(1/2)^4$ e $(1/4)^4$ para ajuste de modelos polinomiais quadráticos. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1, 1985, Piracicaba. Anais. Campinas : Fundação Cargill, 1985. p.19-24.
- BOX, G.E.P.; WILSON, K.B. On the experimental attainment of optimum conditions. *J. Roy. Stat. Soc. B.*, 13:1-45, 1951.

- COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental design**. 2 ed. New York : J. Wiley, 1957. 611p.
- COLWELL, J.D. **Some considerations in modelling the effect of fertilizer's on crop yields**. Brasília : EMBRAPA-DMQ, 1981.
- DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2 ed. New York : J. Wiley, 1981.
- FEDERER, W.T. **Experimental design**. New York : Macmillan, 1955. 544p.
- FIGUERÔA, M.L.; PIMENTEL GOMES, F. Análise comparativa do modelo Cobb-Douglas com erro aditivo e multiplicativo. **An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz**, v.38, p.465-479, 1981.
- FINNEY, D.J. **An introduction to the theory of experimental design**. London : Cambridge University, 1976. 290p.
- FINNEY, D.J. The fractional replication of factorial arrangements. **Ann. Engen.** v.12, p.291-301, 1945.
- FISHER, R.A. **Principles of plot experimentation in relation to the statistical interpretation of the results**. In: ROTHAMSTED CONFERENCES, 13., 1931, Londres.
- FISHER, R.A. **The design of experiments**. 6 ed. New York : Hafner, 1951.
- HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão**. São Paulo : HUCITEC-EDUSP, 1977. 399p.
- KEMPTHORNE, O. **The design and analysis of experiments**. New York : Robert E. Kaieger, 1979.
- MYERS, R.H. **Response surface methodology**. Allyn and Bacon, Boston, 1971.

- OLIVEIRA, A. J. Análise econométrica da experimentação de fertilizantes no trigo cultivado no Alentejo (Portugal). Lisboa, *Agronomia Lusitana*, t. I-II, 34:5-175, 1973.
- PIMENTEL GOMES, F.; CAMPOS, H. The efficiency of 3^3 factorial designs as compared to a central composite rotatable design. *Potash Review*, 1971.
- PIMENTEL GOMES, F.; CONAGIN, A. Experimentos de adubação: planejamento e análise estatística. Londrina: Universidade Estadual do Paraná-Dep. de Mat. Aplic., 1987. 102p.
- PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 11 ed. Piracicaba: Nobel, 1985. 466p.
- ROSSETTI, A.G.; PIMENTEL GOMES, F. A method for the determination of optimum plot size in experiments with rubber trees (Hevea). *J. nat. Rubb. Res.*, Malaysia, v.2, n.3, p.135-41, 1987.
- ROSSETTI, A.G. Considerações sobre aspectos de metodologia experimental para experimentação com adubação em seringueira. Manaus: EMBRAPA-CNPDS, 1985. (Mimeografado)
- ROSSETTI, A.G.; ALMEIDA, J.I.L. de; PARENTE, J.I.G.; BARROS, L. de M. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com cajueiro-comum. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 11, 1991, Petrolina. Programa e resumo. Cruz das Almas: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1991
- YATES, F. The design and analysis of factorial experiments. Harpenden: Imperial Bureau of Soil Science, 1937.