

ENSAIOS DE ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA CULTURA DO MILHO EM MINAS GERAIS.

II. AVALIAÇÃO DA NUTRIÇÃO DO MILHO PELA ANÁLISE FOLIAR¹

HÉLIO LOPES DOS SANTOS², ANTÔNIO F.C. BAHIA FILHO³, FRANCISCO BAHIA³, RICARDO MAGNAVACA⁴, JAIRO SILVA⁵, ANTÔNIO MIGUEL MURAD⁶ e EDSON BOLIVAR PACHECO⁷

SINOPSE.- Foi realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, em Latossolo Roxo Eutrófico, um experimento NPK em quatro locais, durante três anos, usando o fatorial 3³ com confundimento total da interação NPK em blocos de nove tratamentos, usando o milho (*Zea mays* L.), híbrido Hmd 6999B.

Os dados de análise foliar foram usados para cálculo da equação de regressão com os níveis de N e P na folha com o N aplicado ao solo. Determinaram-se também as equações de regressão entre os níveis de N e P na folha com a adubação nitrogenada e ano.

Devido às respostas lineares obtidas com a aplicação da adubação nitrogenada expressa no teor de N na folha e na produção de grãos se pôde determinar o nível crítico de N na folha. Observou-se a necessidade de outros estudos, com níveis mais elevados de N. Observou-se ainda que a absorção de P foi grandemente afetada somente pela aplicação de N, entretanto as variações anuais influenciaram muito a absorção de N e P.

Foi constatado também que a adubação nitrogenada, fosfatada e especialmente a potássica não afetaram o nível de potássio na folha.

Palavras chaves adicionais para índice: Absorção, variações climáticas, Latossolo Roxo Eutrófico.

INTRODUÇÃO

A par dos grandes avanços tecnológicos obtidos com o melhoramento do milho, através de híbridos com alto potencial de produtividade, verifica-se que, à semelhança de outros Estados, Minas Gerais carece de mais pesquisas no campo de fertilidade de solos, com o objetivo de aproveitar a capacidade produtiva dos híbridos existentes, com reflexos positivos na produção.

As possibilidades do cultivo do milho no Brasil são bastante amplas, tendo em vista o crescente número de indústrias que utilizam esse cereal como matéria prima.

Em comparação com os demais países produtores, o Brasil apresenta-se em 11.º lugar, com rendimento médio bastante baixo, ou seja, com 1.310 kg/ha, em contraste com outros países que atingem rendimentos acen- tuadamente maiores. Canadá, Estados Unidos, França e Itália alcançam rendimentos médios de 5.170, 4.548,

4.600 e 3.550 kg/ha, respectivamente. Para o Estado de Minas Gerais, o rendimento médio no triênio 1967/1969, conforme dados da Fundação João Pinheiro (1971), foi de 1.344 kg/ha, valor este semelhante à média brasileira, porém, bem inferior aos verificados em outros países produtores.

Partindo das folhas + 4, coletadas na época do aparecimento de flecha floral, Gallo e Coelho (1963) relatam que a análise foliar pode ser usada como um útil instrumento na diagnose da nutrição do milho.

Gallo *et al.* (1965) ressaltam que os níveis adequados de nutrientes no tecido vegetal na cultura do milho já vêm sendo estabelecidos mediante o emprego da análise foliar, através de ensaios de adubação mineral em diversos níveis. Verificaram também existir estreita relação entre o teor dos elementos na folha e a produção, indicando serem os resultados bastante promissores e de grande valia nos programas de adubação.

Trabalhando com o híbrido Dekalb XL 361 e tomando a folha abaixo e oposta à primeira espiga, no início do aparecimento do estilo-estigma, Voss *et al.* (1970) verificaram que, para se garantir 95% da produção máxima, seriam necessários teores de 2,90% de N e 0,28% de P no tecido vegetal. Afirmam, ainda, que na interpretação dos resultados analíticos devem sempre ser incluídas considerações de solo e fatores climáticos.

Tyner (1946), trabalhando com a folha abaixo e oposta à primeira espiga colhida no início do aparecimento do estilo-estigma, verificou que os níveis críticos no tecido foliar estavam na ordem de 2,90%, 0,29% e 1,30% para N, P e K, respectivamente. Nas mesmas condições, resultados semelhantes foram encontrados por Viets Jr.

¹ Aceito para publicação em 19 de junho de 1974. Apresentado no XIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Vitória, Julho 1971.

² Pesquisador em Agricultura, M.Sc., da Seção de Solos do Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Centro-Oeste (IPEACO), Caixa Postal 151, Sete Lagoas, Minas Gerais, e bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq).

³ Eng.º Agrônomo da Seção de Solos do IPEACO.

⁴ Eng.º Agrônomo do Setor de Milho do IPEACO.

⁵ Pesquisador em Agricultura, M.Sc., da Seção de Fitotecnia do IPEACO e bolsista do CNPq.

⁶ Pesquisador em Agricultura do Setor de Milho da Estação Experimental de Patos de Minas, Caixa Postal 135, Patos de Minas, Minas Gerais, e bolsista do CNPq.

⁷ Pesquisador em Agricultura da Seção de Conservação de Solos do IPEACO e bolsista do CNPq.

et al. (1954) para o nível crítico de N, com valores de 2,8 a 2,9%.

Trabalhando com a folha + 4, coletada na época do aparecimento da flecha floral, em ensaio de nutrição mineral, utilizando o cultivar Hmd 6999B, Gallo *et al.* (1965) admitem os seguintes níveis críticos no tecido foliar: 2,80% de N; 0,195% de P; 2,12% de K e 0,021% para o nível de enxofre sulfato, sem o que a produção será prejudicada.

O objetivo do trabalho, que foi conduzido no Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Centro-Oeste (IPEACO), foi o de estabelecer os níveis críticos dos elementos estudados, bem como observar a influência da adubação e do ano na absorção dos elementos pelo milho, complementando os estudos de Bahia *et al.* (1973).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados durante os anos agrícolas 1967/1968/1969/1970, através de convênio entre o IPEACO, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e a Associação Nacional para Difusão de Adubos, 12 ensaios de campo com milho, localizados no município de Patos de Minas, Minas Gerais, em Latossolo Roxo Eutrófico.

Os resultados das análises químicas dos solos das áreas experimentais, efetuadas segundo métodos analíticos preconizados por Vettori (1969), encontram-se no Quadro 1.

O delineamento experimental adotado foi o fatorial 3^3 em blocos de nove tratamentos com confundimento total de interação NPK, grupo W, com uma repetição por local. As fileiras, em número de cinco por parcela, mediam 6 m de comprimento e eram espaçadas de 1 m entre si, considerando-se área útil as três fileiras centrais desprezadas 0,40 m de cada extremidade. Foram colocadas quatro sementes a cada 0,40 m, deixando-se, por ocasião do desbaste, somente duas plantas. Foi utilizado em todos os ensaios o híbrido Hmd 6999B.

Os níveis de adubação empregados, em kg/ha, foram 0, 60 e 120 de N; 0, 60 e 120 de P_2O_5 e 0, 30 e 60 de K_2O , usando respectivamente como fontes o sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio.

Um terço do N foi aplicado no plantio, com os demais fertilizantes, e os dois terços restantes, 45 dias

após a germinação das sementes. Retirou-se a folha + 4 de 20 plantas da área útil de cada parcela, quando cerca de 50% delas já haviam emitido a inflorescência masculina, o que se deu aproximadamente aos 65 dias após o plantio. Utilizou-se o terço médio das lâminas das folhas para as análises.

Posteriormente as lâminas foliares foram lavadas com água destilada e a seguir acondicionadas em sacos de papel e secadas a 70°C por 72 horas, em estufa com circulação de ar.

As amostras, depois de secadas, foram trituradas em moinho Wiley com peneira de 20 malhas. Procedeu-se, em seguida, às análises de N, P e K, segundo métodos analíticos preconizados por Lott *et al.* (1956).

Utilizou-se o critério de seleção para verificar também o mecanismo de absorção de N e P em condições de clima e solo representativo de Patos de Minas, município grande produtor de milho do país.

Procedeu-se à análise de variância dos dados de análise foliar, ajustando em seguida as equações de regressão entre o teor de N na folha e a dose de fertilizante nitrogenado aplicada, bem como entre o teor de P na folha e a dose de fertilizante nitrogenado adicionada. Ajustaram-se posteriormente as equações de regressão múltipla, utilizando-se em todas as análises o programa 1130-CA - 06X da IBM (1967).

Na primeira equação de regressão múltipla, considerou-se o teor de N na folha como dependente da dose de N aplicada e o ano. Na segunda equação, a variável dependente foi o teor de P na folha e independentes os níveis de N aplicados e o ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nitrogênio

Foram utilizados nove ensaios, que apresentaram resposta à adubação nitrogenada, expressa na alteração da percentagem de N na folha.

Os valores médios da percentagem de N na folha, dos ensaios considerados, acham-se no Quadro 2. Procedeu-se à análise conjunta da variância destes dados, onde se observou efeito altamente significativo para a adubação nitrogenada, alterando os teores de N nas folhas.

QUADRO 1. Resultados das análises químicas dos solos das áreas experimentais

Grande grupo de solo	pH em água (1 + 1)	Al ^a (m.e./100 cm ³)	Ca + Mg ^b (m.e./100 cm ³)	K ^b (ppm)	P ^b (ppm)	M.C. ^c (%)	N ^d (%)
Latossolo Roxo Eutrófico	5,20	nihil	3,94	85	26	2,06	0,107
Latossolo Roxo Eutrófico	5,20	nihil	3,32	45	20	1,94	0,101
Latossolo Roxo Eutrófico	5,20	nihil	3,96	51	57	2,39	0,124
Latossolo Roxo Eutrófico	5,35	nihil	4,78	104	32	2,00	0,104

^a Extrator: cloreto de potássio (1 N, relação 1:10).

^b Extrator: North Carolina (relação 1:10).

^c Processo: Walkley Black.

^d Processo: Kjeldahl.

QUADRO 2. Teores médios de N e P na folha, nos três anos e três locais, em função da adubação nitrogenada

Doses de N	Locais	Anos	Teores na folha (%)	
			N	P
0	1	1	1,96	0,231
60	1	1	3,05	0,323
120	1	1	3,69	0,373
0	1	2	2,07	0,294
60	1	2	2,72	0,284
120	1	2	3,40	0,297
0	1	3	1,96	0,198
60	1	3	2,40	0,252
120	1	3	2,55	0,291
0	2	1	2,80	0,270
60	2	1	3,24	0,315
120	2	1	3,45	0,349
0	2	2	2,10	0,186
60	2	2	3,85	0,233
120	2	2	2,99	0,246
0	2	3	1,96	0,224
60	2	3	3,15	0,245
120	2	3	2,61	0,265
0	3	1	2,34	0,217
60	3	1	2,94	0,270
120	3	1	3,43	0,317
0	3	2	2,51	0,244
60	3	2	3,07	0,276
120	3	2	3,19	0,272
0	3	3	2,14	0,211
60	3	3	2,60	0,252
120	3	3	2,68	0,266

Bahia *et al.* (1973), utilizando os dados de produção dos mesmos ensaios, encontraram resposta altamente significativa para N, cujos dados de produção média se acham no Quadro 3.

Os diversos locais de instalação dos ensaios condicionaram comportamento diferente em relação ao nível de N na folha ($P < 5\%$), indicando provavelmente que o N disponível do solo variou de local para local. Este fato é ainda sustentado pela significância observada na interação local x N ($P < 5\%$).

QUADRO 3. Médias de produção de grãos, referentes às diferentes doses de N, P e K

Níveis dos elementos	Média de produção de grãos					
	N (kg/ha)	Índice	P (kg/ha)	Índice	K (kg/ha)	Índice
0	3769	100	5109	100	5070	100
1	5327	141	5224	102	5179	102
2	6442	171	5205	102	5288	104

A significância encontrada para o fator ano e para a interação ano x N ($P < 1\%$) e para a interação ano x N ($P < 5\%$) sugerem um provável efeito das condições climáticas no nível de N nas folhas. Por outro lado as interações ano x local, também significativas ($P < 5\%$) sugerem possíveis diferenças climáticas, de local para local.

A partir dos dados do Quadro 2, obteve-se a seguinte equação de regressão:

$$\hat{Y} = 2,32 + 0,75 \cdot 10^{-2} \cdot N \quad (1)$$

e $R^2 = 0,6785^{**}$,

onde \hat{Y} é a percentagem de N na folha e N é a quantidade em kg/ha de N aplicado.

Utilizando-se o valor da dose econômica encontrada por Bahia *et al.* (1973), obteve-se o nível crítico econômico de 3,44% de N na folha, valor este superior ao encontrado por Gallo *et al.* (1965) para as mesmas condições de amostragem.

Voss *et al.* (1970) assinalam que os fatores locais, tais como clima, manejo e características dos solos, tiveram maior influência na variação da produção do que o fertilizante isoladamente.

Regressão múltipla para N na folha

Procedeu-se à análise de regressão múltipla, considerando-se o teor de N na folha como função da dose de N aplicada e das variações anuais (A), sendo determinada a seguinte equação:

$$\hat{Y} = 2,93 + 0,75 \cdot 10^{-2} \cdot N - 0,33 \cdot A \quad (2)$$

e $R^2 = 0,6894^{**}$.

Ajustaram-se também para cada ano as equações de regressão linear simples, entre o teor de N na folha e a dose do N aplicada (Fig. 1)

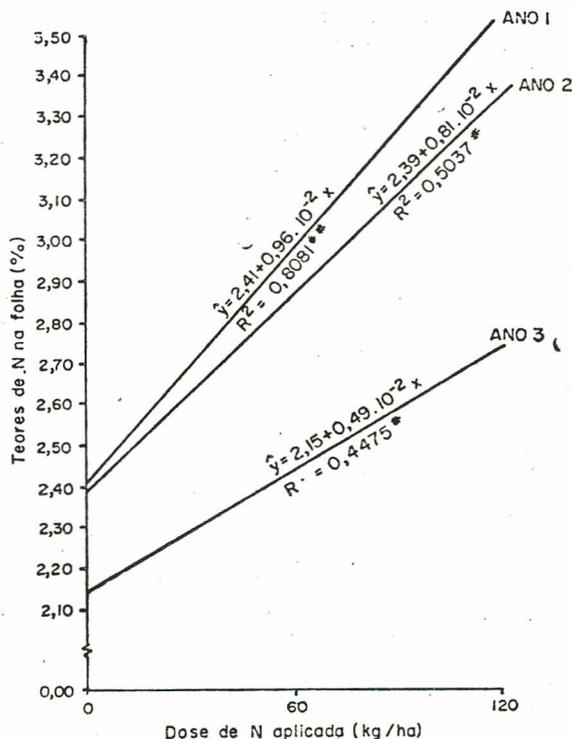


FIG. 1. Efeito da adubação nitrogenada na absorção de N.

Observou-se também redução no teor de N na folha de ano para ano, expressa na equação de regressão múltipla (2) e nos dados do Quadro 4.

Verifica-se que a aplicação do fertilizante nitrogenado, em seus diferentes níveis, para os três anos estudados, determinou consideráveis aumentos no teor de N na folha expressos também na equação de regressão múltipla (2) e no Quadro 4.

QUADRO 4. Efeito do ano e dose de N aplicada, no teor de N na matéria seca da folha

Doses de N	Teores de N na M.S. da folha (%)		
	Ano 1	Ano 2	Ano 3
0	2,37	2,23	2,03
60	3,08	2,88	2,38
120	3,52	3,19	2,61

Fósforo

A semelhança do que ocorreu com o N, no estudo de P somente foram utilizados nove dos 12 ensaios, nos quais a adubação nitrogenada alterou o nível de P na folha.

A exceção de um ensaio, a adubação fosfatada não afetou o nível de P na folha.

Pela análise conjunta de variância observou-se que o nível de P na folha foi altamente influenciado pela adubação nitrogenada ($P < 1\%$), resultados estes semelhantes aos encontrados por Dumenil (1961).

Admite-se que a adubação fosfatada não tenha alterado os níveis de P nas folhas devido aos altos teores de P disponível dos solos, conforme se observa no Quadro 1.

As variações do nível de P na folha em função dos locais, demonstradas pela análise conjunta da variância ($P < 1\%$), podem, em parte, ser explicadas pela variação dos teores de P disponível, verificada nos diferentes locais onde foram instalados os ensaios e pela interação ano x local ($P < 1\%$).

Observaram-se também variações anuais nos teores de P nas folhas ($P < 1\%$), admitindo-se que sejam devidas à absorção do N afetando a assimilação do P.

A variação na absorção de N de ano para ano, alterando a assimilação de P pelas plantas, confirma-se pela significância da interação ano x N ($P < 1\%$).

Tendo em vista a significância encontrada, procedeu-se à análise de regressão dos dados de percentagem de P, na matéria seca, com doses de N aplicadas, determinando-se a seguinte equação de regressão:

$$\hat{Y} = 0,23 + 0,82 \cdot 10^{-3} \cdot N - 0,22 \cdot 10^{-5} \cdot N^2 \quad (3)$$

Onde \hat{Y} é o teor de P na folha, expresso em percentagem na matéria seca, e N é a dose de N aplicada em kg/ha.

Tomando-se a dose econômica de 150 kg/ha de N, constatada por Bahia *et al.* (1973), e aplicando na equação de regressão, obteve-se o nível de 0,303% de P na folha.

O valor encontrado, entretanto, não corresponde ao nível crítico, uma vez que a adubação fosfatada utilizada no trabalho não influenciou os níveis de P na folha.

Regressão múltipla para fósforo na folha

Ajustou-se a equação de regressão múltipla, considerando o nível de P na folha como função do fertilizante nitrogenado aplicado e das variações anuais.

A equação ajustada foi:

$$\hat{Y} = 0,28 + 0,56 \cdot 10^{-3} \cdot N - 0,26 \cdot 10^{-1} \cdot A \quad (4)$$

$$e R^2 = 0,6216 \cdot \cdot$$

Observou-se pela equação da regressão múltipla ajustada (4) que a variável ano exerceu efeito depressivo no teor de P na folha, fato este concordante com os resultados obtidos por Bates (1971). Este comportamento pode ser devido às variações na absorção de N, influenciada pelas variações climáticas.

O decréscimo do teor de P nas folhas com os anos e o aumento deste mesmo teor com doses crescentes de N pode ser observado no Quadro 5.

QUADRO 5. Efeito do ano e dose de N aplicada, no teor de P na matéria seca da folha

Doses de N	Teores de P na M.S. da folha (%)		
	Ano 1	Ano 2	Ano 3
0	0,215	0,241	0,211
60	0,303	0,264	0,250
120	0,346	0,272	0,274

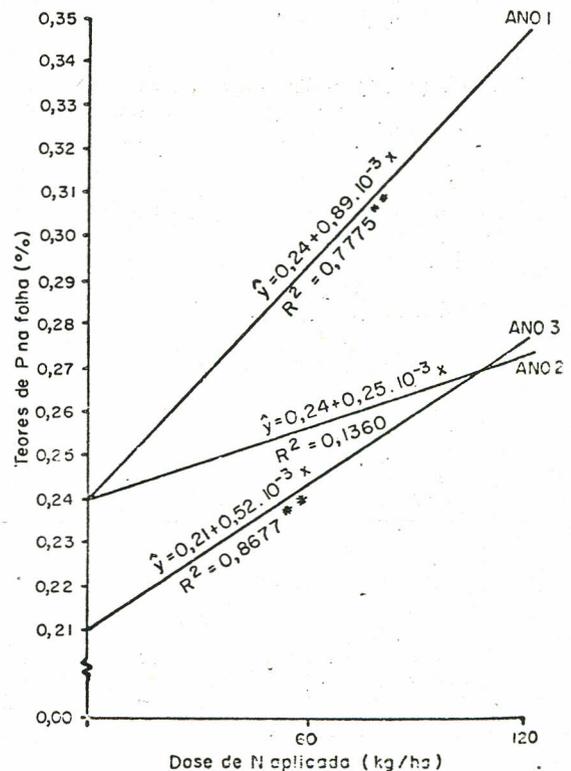


FIG. 2. Efeito da adubação nitrogenada na absorção de P

Determinou-se também o ajustamento das equações de regressão linear simples entre os teores de P nas folhas e a dose de N aplicada nos três anos agrícolas, conforme se observa na Fig. 2.

Potássio

Somente em dois dos 12 ensaios instalados foi observada influência da adubação potássica na absorção deste nutriente, razão pela qual se tornou impossível o seu estudo.

Verificou-se também que as presenças de N, P e principalmente K não influenciaram na elevação do teor de K na folha.

CONCLUSÕES

Para as condições em que foram conduzidos os ensaios, os resultados alcançados permitem concluir que:

- 1) a absorção de P foi drasticamente influenciada pela adubação nitrogenada, não tendo sido entretanto afetada pela adubação fosfatada;
- 2) os teores de N e P na folha foram basicamente influenciados pelos níveis de N aplicados e pelas variações climáticas anuais;
- 3) as presenças da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica não afetaram o nível de K na folha;
- 4) em função da resposta linear obtida com a aplicação do fertilizante nitrogenado e observada no teor de N na folha e na produção de grãos, sugere-se a realização de outros estudos com doses mais elevadas, visando encontrar o nível crítico.

REFERÊNCIAS

- Bahia, F., Magnavaca, R., Santos, H.L.dos, Silva, J., Bahia Filho, A.F.C., França, G.E.de, Murad, A.M., Macêdo, A.A.de., Silva, T. & Cunha Filho, E. 1973. Ensaio de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio na cultura do milho em Minas Gerais. I. Análise pela lei de Mitscherlich. *Pesq. agropec. bras.*, Sér. Agron., 8:231-238.
- Bates, T.E. 1971. Factors affecting critical nutrients concentrations in plants and their evaluation: a review. *Soil Sci.* 112: 116-130.
- Dumenil, L. 1961. Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and corn yields in relation to critical levels and nutrient balance. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25:295-298.
- Fundação João Pinheiro 1971. Diretrizes para aplicação do crédito rural em Minas Gerais. Conselho Estadual de Desenvolvimento, Minas Gerais. 329 p.
- Gallo, J.R. & Coelho, F.A.S. 1963. Diagnóstico na nutrição nitrogenada do milho pela análise química da folha. *Bragantia* 22(43):537-548.
- Gallo, J.R., Coelho, F.A.S. & Miranda, L.T.de 1965. A análise foliar na nutrição do milho. I. Resultados preliminares. *Nota 9. Bragantia* 24:47-50.
- International Business Corporation 1967. Statistical system (1130-CA-06X). IBM, User's manual. 2.ª ed. New York. 118 p.
- Lott, W.L., Nery, J.P., Gallo, J.R. & Medcalf, J.C. 1956. A técnica da análise foliar aplicada ao cafeeiro. *Boim 9, IBEC Res. Inst.*, Matão, S. Paulo. 37 p.
- Tyner, E.H. 1946. The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus and potassium content. *Soil Sci. Am. Proc.* 11:317-323.
- Vettori, L. 1969. Métodos de análise de solo. *Boim téc. 7, Equipe Pedol. Fertil. Solo, EPE, Min. Agricultura*, Rio de Janeiro. 24 p.
- Viets Jr., F.G., Nelson, C.E. & Crawford, C.L. 1954. The relationships among corn yields leaf composition and fertilizer applied. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 18(3):297-301.
- Voss, R.E., Hanway, J.J. & Dumenil, L.C. 1970. Influence of soil management and climatic factors on the yields response by corn (*Zea mays* L.) to N, P and K fertilizers. *Agron. J.* 62:736-740.

ABSTRACT.- Santos, H.L.dos; Bahia Filho, A.F.C.; Bahia, F.; Magnavaca, R.; Silva, J.; Murad, A.M.; Pacheco, E.B. [*NPK fertilization experiments on corn in Minas Gerais state. II. Corn nutrition evaluation by foliar analysis*]. Ensaio de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio na cultura do milho em Minas Gerais. II. Avaliação da nutrição do milho pela análise foliar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia* (1975) 10, 47-51 [Pt, en] EMBRAPA, Cx. Postal 151, Sete Lagoas, MG, Brazil.

An NPK experiment was installed for three consecutive years in Patos de Minas, Minas Gerais, Brazil, at four different sites, all on a eutrophic "Latosolo roxo". The experimental design was a 3³ factorial, totally confounded as to NPK interactions, group W, and arranged in blocks of nine treatments each. The test crop was corn (*Zea mays* L.) hybrid Hmd 6999B.

Ear leaves were sampled at 50% silk and analyzed for total N, P and K content. Interrelationships between these analysis, and relationships between ear leaf nutrient content, N application, and year were found by multiple regression analysis.

Foliar N content and grain production increased linearly throughout the range of N application (0 to 120 kg/ha), eliminating the possibility of establishing a critical N level. Phosphorus content of the ear leaf was strongly influenced by application of N and annual variations in foliar N and P were substantial. Foliar K levels showed little response to applications of N, P, or K.

Additional index words: Corn fertilization, yield response, plant tissue analysis, Latosol.