

AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO MILHO SOB DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO¹

Adônis MOREIRA²

Júlio César FRANCHINI³

João Batista Rodrigues de ABREU⁴

Eurípedes MALAVOLTA⁵

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca de diferentes partes da planta (raiz, colmo, folha e espiga) e o estado nutricional (teores totais e solúveis, redutase do nitrato, absorção de ³²P e testes rápidos), da cultura do milho sob diferentes doses de N, P e K. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Foram estudadas três concentrações de N (0,1; 0,25 e 1 mmol L⁻¹), três de P (0,1, 0,25 e 1 mmol L⁻¹) e três de K (0,1, 0,25 e 1 mmol L⁻¹), totalizando nove tratamentos. Os teores totais e solúveis e os testes rápidos foram analisados em todos os tratamentos, porém determinou-se a atividade redutase do nitrato nos tratamentos com as doses de N e a absorção de ³²P nos tratamentos que receberam doses de P. Observou-se que os teores totais de N, P e K correlacionaram-se significativamente com a produção de espigas, enquanto que os teores solúveis mostraram significância somente com o P. A utilização do teste rápido foi eficiente apenas para o K na determinação do estado nutricional. A absorção de ³²P por raízes destacadas foram 2,3 na (0,1 mmol L⁻¹) e 1,7 (0,25 mmol L⁻¹) maiores que na dose 1,0 mmol L⁻¹, apresentando correlação positiva com a produção de espiga e da matéria seca total. A atividade da RNO₃⁻ correlacionou-se positivamente com a produção de espigas.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: ³²P, Redutase do Nitrato, Teores Solúveis, Teores Totais, Testes Rápidos, *Zea mays*.

¹ Aprovado para publicação em 21.06.2004

Trabalho apresentado na 23ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, Lavras, (MG), 1998.

² Engenheiro Agrônomo, Dr., Bolsista CNPq, Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Caixa Postal 319, CEP 69011-970 Manaus (AM). E-mail: adonis@cpaa.embrapa.br.

³ Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Soja, Caixa Postal 231, CEP 86001-970 Londrina (PR). E-mail: hungria@scrcomtel.com.br.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Caixa Postal 74593, CEP 23851-970 Seropédica (RJ). E-mail: jbrabreu@ufrj.br.

⁵ Engenheiro Agrônomo, Dr., Bolsista CNPq, Pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP, Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: mala@cpaa.embrapa.br.

NUTRIENT CONTENT AND DRY MATTER PRODUCTION OF CORN AS A FUNCTION OF DIFFERENT DOSES OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM.

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the nutrient content of corn plants under different doses of N, P and K. A complete randomized experimental design with nine treatments (doses of N, P and K fertilizers) and three replicates was used. Treatments were three doses of N (0.1, 0.25 and 1.0 mmol L⁻¹), P (0.1, 0.25 and 1.0 mmol L⁻¹) and K (0.1, 0.25 and 1.0 mmol L⁻¹). Parameters of evaluations were dry matter in different fractions of plants (roots, stem, leaves and ear), total and soluble nutrients content, nitrate reductase, ³²P uptake and spot tests. The total and soluble nutrients content and spot tests were determined in all treatments. The nitrate reductase and activity of ³²P were determined in the different rates of nitrogen and phosphorus, respectively. N, P and K rates were correlated with ear yield, while soluble nutrient content predicted yield only for the phosphorus rates. The rapid spot tests of nutrients showed efficiency only with potassium nutrition. The ³²P uptake by excised roots was 2.3 and 1.7 times higher in the 0.1 mmol L⁻¹ and 0.25 mmol L⁻¹ treatments, respectively, than in the 1.0 mmol L⁻¹ and also showed positive correlation with ear yield and total dry matter production. The nitrate reductase activity increased with doses of nitrogen and had a linear correlation with ear yield.

INDEX TERMS: Nitrate Reductase, ³²P, Soluble Content, Spot Tests, Total Content, *Zea mays*.

1 INTRODUÇÃO

Avaliar o estado nutricional de uma planta numa população significa compará-la com plantas tidas como padrão. Consideram-se como padrão plantas bem nutridas cultivadas em condições controladas (MALAVOLTA et al., 1983). A comparação entre as amostras em estudo pode ser feita de diversos modos; o mais utilizado é a diagnose foliar, cujo padrão deve conter todos os nutrientes em concentrações adequadas para um bom crescimento e produção. Nesse caso, para uma boa avaliação é necessário observar com critério os teores adequados de cada nutriente na planta em estudo, bem como as relações entre eles com os encontrados em plantas com sintoma de excesso ou deficiência de

um dado elemento (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Além do método citado anteriormente, existem vários métodos de avaliação do estado nutricional, entre eles os testes rápidos (FERNANDES, 1967). Tal método é baseado em leituras colorimétricas que estimam o teor do nutriente na seiva comparando-os com uma carta de cores que avalia se o nível do elemento em estudo está adequado ou não. O problema na utilização desse método, além dos fatores climáticos e fenológicos da planta, é a dificuldade do operador em detectar com precisão as mudanças de cores quando a seiva é colocada na fita de avaliação (STYLTIE; MELSTED; WALKER, 1972).

A utilização de testes bioquímicos na determinação da atividade da redutase do nitrato é outro método que tem se mostrado um bom indicativo do teor de nitrogênio no tecido foliar (ABREU, 1995). Esse método se baseia no princípio que, na planta, o nitrato é armazenado no vacúolo, ou reduzido a nitrito nas folhas, raízes ou em ambas. Ao contrário do que acontece com as de clima temperado, em espécies tropicais e subtropicais, a redução do nitrato ocorre, principalmente, na parte aérea, independentemente da concentração externa desse íon (NAMBIAR; REGO; RAO, 1988). A atividade bioquímica desse processo é maior quando aumentada a concentração de nitrogênio no tecido foliar (MULDER; BOXMA; VAN VEEN, 1959).

Com relação ao fósforo, em espécies de crescimento rápido, a sua deficiência pode ser detectada pelo menor crescimento ou através de sintomas visuais típicos. Estudos usando traçadores e intervalos de absorção (BOWEN, 1970; HARRISON; HELLIWELL, 1979) demonstraram que plantas deficientes absorvem mais P do que as bem nutridas. Esse resultado mostra que o estudo do comportamento desse nutriente pode ser um bom fator para monitorar o estado nutricional das plantas.

O incremento da dose de nitrogênio, ao contrário do que acontece com outras culturas que aumenta o crescimento vegetativo, no milho ocorre um incremento significativo na produção de grãos; no caso do P, trabalhos realizados em solução nutritiva demonstram aumento do sistema radicular com correlação

positiva com a produção. O potássio, outro nutriente essencial para a planta, segundo Malavolta e Dantas (1987), além das atividades bioquímicas, aumenta a relação entre o grão e a palha.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca e o estado nutricional (teores totais e solúveis, redutase do nitrato, absorção de ^{32}P e teste rápidos) do milho sob diferentes doses de N, P e K.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), localizado no município de Piracicaba, estado de São Paulo. Sementes do milho G 85, previamente desinfetadas, foram colocadas para germinar em vermiculita umedecida com solução de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$. Posteriormente, plântulas com cerca de 10 cm de altura e duas folhas definitivas foram transplantadas para recipientes impermeabilizados com tinta alumínio e arejadas constantemente. Utilizou-se a solução de Johnson et al. (1957) modificada com acréscimo de $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de NH_4NO_3 , $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de NaH_2PO_4 , $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de KCl e $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Após cinco dias nessa solução, as plântulas foram transferidas para vasos plásticos de dois litros de capacidade, contendo a mesma solução, porém com os seguintes tratamentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado: 0,1, 0,25 e $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de N (NH_4NO_3), 0,1; 0,25 e $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de K (KCl) e 0,1, 0,25 e

1,0 mmol L⁻¹ de P (NaH₂PO₄), com três repetições, onde cada vaso continha uma planta. Para a realização do experimento de cinética, as quantidades de repetição para avaliação dos tratamentos com fósforo foram seis.

As soluções foram mantidas sob aeração constante, e, diariamente, o volume de água restituído. As trocas de solução foram realizadas quinzenalmente. O pH das soluções foi mantido na faixa de 5,5 a 6,0 com NaOH (1,0 mol L⁻¹) e HCl (1,0 mol L⁻¹).

Na quarta semana após o transplântio, foi avaliada a cinética de absorção de P, com raízes destacadas, utilizando os seguintes procedimentos: 200 mg de raízes foram lavadas com água destilada e colocadas em solução de CaSO₄·2H₂O 5·10⁻⁴ mol L⁻¹, por trinta minutos sob arejamento constante. Esse pré-tratamento visou aumentar a concentração do íon cálcio na superfície das raízes, uma vez que a presença desse íon no meio externo aumenta a absorção de outros presentes na solução (VIETS, 1944). Após o pré-tratamento, as raízes foram lavadas com água destilada e colocadas em frascos contendo 100 mL de solução KH₂PO₄ 5·10⁻⁶ mol L⁻¹ com atividade específica de 740 MBq de ³²P. Posteriormente, iniciou-se a aeração que durou trinta minutos. Após esse período, as raízes foram lavadas com água destilada e desionizada, sendo agitadas em frascos tipo "snap cap", durante 1 minuto, procedimento repetido três vezes (LOURENÇO et al., 1968). Em seguida, transferidas para frascos e mantidas por quinze minutos para

escoamento do fósforo presente no espaço livre aparente. As raízes foram secas em estufa com circulação forçada até peso constante, moídas e digeridas em solução nitroperclórica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Tomou-se uma alíquota do extrato e determinou-se a atividade do ³²P em cintilador líquido (LOURENÇO et al., 1968).

Na quinta semana após o transplântio, realizou-se a determinação da atividade da redutase do nitrato somente nos tratamentos com dose de N. A determinação da atividade baseou-se na produção de nitrito (NO₂⁻) durante a incubação a 35°C, por duas horas, de folhas finamente cortadas na ausência de luz em soluções preparadas de KNO₃ e NH₄NO₃, nas seguintes concentrações: 1,3; 2,5 e 13 mmol L⁻¹ de NO₃⁻ e 1,6; 4,0 e 16 mmol L⁻¹ de NO₃⁻+NH₄⁺ para as doses 0,1; 0,25 e 1,0 mmol L⁻¹ de N, respectivamente. O nitrito produzido foi quantificado pela reação com ácido sulfanílico e alfa-naftilamina (MULDER; BOXMA; VAN VEEN, 1959).

Na sétima semana avaliou-se o estado nutricional com testes rápidos através da determinação semiquantitativa da concentração de íons nitrato, fosfato e potássio (LORENZ; TYLER, 1973). Os testes foram feitos no terço médio da nervura principal de uma folha mediana (4ª e 5ª folha a contar do ápice) e na espiga, nessas duas partes da planta extraiu-se o suco celular para a realização dos testes. Os princípios e procedimentos desse teste estão descritos em Fernandes (1967).

Os teores solúveis de nitrogênio, fósforo e potássio foram extraídos com ácido acético a 20% (ULRICH, 1948) e determinados em plantas colhidas na oitava semana após o transplântio. A determinação dos teores solúveis de $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$ foi realizada em amostras de lâmina do terço médio da folha mediana, na nervura foi determinado o N-NO_3^- e na lâmina e na nervura principal, o K. Os teores totais foram obtidos no terço médio da folha diagnóstico ou “bandeira” (LOTT et al., 1956) coletadas na oitava semana. O material coletado foi seco em estufa, pesado e moído. A confecção dos extratos e as determinações dos teores totais de N, P e K seguiram as metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A produção de matéria seca de raízes, do colmo e das folhas foi determinada na nona semana após o transplântio. Nessa amostragem, determinou-se, também, a produção de matéria seca das espigas separando o sabugo, a palha e os grãos.

Os dados foram submetidos à análise de variância, teste F, correlações (5%) e comparações de contrastes entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (GOMES, 1990).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados na Tabela 1 os dados de produção de matéria seca das raízes, do colmo, das folhas e das espigas. Na menor dose do fósforo e do potássio ($0,1 \text{ mmol L}^{-1}$) afetou o crescimento das raízes com maior intensidade do que o nitrogênio. Verificou-

se, também, que a menor dose de potássio ocasionou a maior relação entre a parte aérea e as raízes. Segundo Hartt (1969) e Ashley e Goodson (1972), em plantas com deficiência de K ocorre uma redução no transporte de fotossintatos antes mesmo que sintomas visíveis de deficiência sejam observados, sendo isso, um fator importante na produção de raízes.

As doses de potássio aumentaram de forma linear e significativa a produção de matéria seca de todos os órgãos da planta (Tabela 1). Observa-se, também, que as espigas foram menos afetadas pela maior quantidade de K, com incremento médio de 38,9% na produção em relação à testemunha, enquanto que o colmo foi o maior apresentando um aumento de 65,4%. Kissel e Hagland (1967) observaram que, aproximadamente, 23,0% do potássio são redistribuídos para todas as partes da planta, porém, no colmo, o teor aumenta durante a maturação dos grãos.

Dos nutrientes estudados, nota-se que o fósforo foi o mais limitante para a produção, sendo que na ausência dele, a produção de espigas foi 99,1% inferior a maior dose de P (Tabela 1). Os demais órgãos da planta (raízes, colmo e folhas), também foram significativamente afetados. A deficiência de fósforo, além de afetar a transferência do elemento das partes vegetativas para as reprodutivas, reduz a absorção de nitrogênio e a taxa de respiração, com reflexos significativos sobre a produção (ARNON, 1975; BOULD; HEWITT; NEEDHAM, 1984).

Tabela 1 – Matéria seca de milho produzida nos vários órgãos da planta até a nona semana após o transplântio¹.

Doses	Raízes	Colmo	Folhas	Espigas ²	PA ³	MS total ⁴	PA/R ⁵
	Mmol L ⁻¹			(g/vaso)			
Nitrogênio							
0,10	4,80cC	11,00cC	7,63cDE	1,50cE	20,13cD	24,93cD	4,19bB
0,25	7,10bB	18,97bB	14,80bC	4,00bD	37,77bC	44,87bC	5,32abB
1,00	9,10aA	27,83aA	24,30a	13,20aA	65,33aA	74,43aA	7,18aB
Fósforo							
0,10	1,80cD	4,77bD	4,63cE	0,13cF	9,53cE	11,33cE	5,29aB
0,25	6,30bC	25,03aA	16,90bBC	1,50bE	43,43bBC	49,73bBC	6,89aB
1,00	9,17aA	26,87aA	23,67aA	13,73aA	64,26aA	73,43aA	7,01aB
Potássio							
0,10	1,97bD	9,90cD	8,07cD	7,77cC	25,73cD	27,70cD	13,06aA
0,25	7,90aAB	17,67bB	19,60bB	10,10bB	47,37bB	55,27aA	5,99bB
1,00	9,07aA	28,60aA	25,37aA	12,73aA	66,70aA	75,77aA	7,35bB
C.V. (%)	8,84	10,13	8,54	6,40	6,86	5,71	20,54
DMS*	1,17	4,00	2,07	0,96	6,04	5,78	3,01
DMS**	1,61	5,49	2,85	1,32	8,30	7,95	4,13

¹ Médias seguidas por letras distintas, minúscula no mesmo nutriente e maiúscula na comparação de todos os tratamentos, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. *DMS das letras minúsculas; **DMS das letras maiúsculas.

² Sabugo+folha+grão.

³ PA (soma da matéria seca dos colmos, folhas e espigas).

⁴ MS total (soma da matéria seca das raízes e da parte aérea).

⁵ Relação matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes

Com relação ao nitrogênio, de forma geral, as produções de matéria seca dos diferentes órgãos da planta apresentaram efeitos intermediários quando comparados com os tratamentos contendo fósforo ou potássio (Tabela 1). Dos órgãos da planta, as produções de colmo e folhas foram menos afetadas na ausência de N, com redução de 60,5% e

68,6% na produção, respectivamente. Devido o nitrogênio estar envolvido na síntese de clorofila e no crescimento vegetativo da planta (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), verifica-se incremento de 28,2% na produção de raízes entre as doses de 0,25 mmol L⁻¹ e 1,0 mmol L⁻¹, enquanto que na parte aérea o aumento foi de 73,0%.

Exceto na dose 1,0 mmol L⁻¹ de fósforo (Tabela 2), os teores de N, P e K nas folhas diagnóstico apresentaram, segundo Barber e Olson (1968), valores abaixo das faixas consideradas adequadas para o N (27,5 a 32,5 g kg⁻¹), P (2,5 a 3,5 g kg⁻¹) e K (17,5 a 22,5 g kg⁻¹).

Os teores solúveis da lâmina foliar e os totais de P correlacionaram significativamente

com as produções de espigas e de matéria seca total, enquanto que, para o nitrogênio e o potássio tiveram correlações significativas e positivas somente com os teores totais e a produção de espigas (Tabela 3). Tais resultados demonstram que a utilização dos teores totais se mostram adequados para avaliar o estado nutricional de N, P e K das plantas, enquanto que o teor solúvel foi adequado somente com o fósforo.

Tabela 2 – Teores de Nitrogênio, fósforo e potássio nas plantas de milho, obtidas através dos teores totais (oitava semana), teores solúveis (oitava semana) e testes rápidos (sétima semana)¹.

Doses (mmol L ⁻¹)	Teores totais (g kg ⁻¹)	Teores solúveis ²		Testes rápidos
		Nervura	Lâmina	
		(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	
Nitrogênio				
0,10	7,2c	518b	—	30b
0,25	9,3b	548b	—	30b
1,00	20,2a	10415a	—	93a
C.V.(%)	9,3	19,8	—	13,2
Fósforo				
0,10	0,7c	—	42c	23c
0,25	1,3b	—	66b	83b
1,00	5,4a	—	272a	100a
C.V.(%)	5,6	—	7,3	8,9
Potássio				
0,10	4,7c	1943b	4080b	1500c
0,25	8,4b	2027b	4200b	2500b
1,00	13,9a	2897a	9520a	4167a
C.V.(%)	4,5	3,7	10,8	11,2

¹Médias seguidas por letras distintas minúsculas no mesmo nutriente diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

²N-NO₃⁻; P-PO₄⁻ e K⁺.

Tabela 3 – Equações de regressão e coeficientes de correlação entre os métodos de avaliação do estado nutricional de N, P e K com a produção de matéria seca de espigas e a de matéria seca total de plantas de milho cultivadas em solução nutritiva.

Métodos	Espigas		Matéria seca total	
	Equação	r	Equação	r
Nitrogênio				
Teores totais	$Y = -4,519 + 0,879X$	0,99*	$Y = 5,583 + 3,495X$	0,45 ^{NS}
RNO_3^-	$Y = 1,335 + 1,572X$	0,98*	$Y = 4,514 + 29,223X$	0,53 ^{NS}
Teores solúveis (nervura)	$Y = 2,184 + 0,001X$	0,37 ^{NS}	$Y = 32,720 + 0,004X$	0,33 ^{NS}
Testes rápidos	$Y = -2,037 + 0,162X$	0,47 ^{NS}	$Y = 16,507 + 0,624X$	0,33 ^{NS}
Fósforo				
Teores totais	$Y = 1,772 + 2,659X$	0,99*	$Y = 19,185 + 10,263X$	0,85*
^{32}P	$Y = 19,816 - 16,540X$	0,89*	$Y = 115,030 - 77,502X$	0,94*
Teores solúveis (lâmina)	$Y = -2,091 + 0,054X$	0,99*	$Y = 18,492 + 0,205X$	0,84*
Testes rápidos	$Y = -3,553 + 0,121X$	0,72 ^{NS}	$Y = -6,379 + 0,741X$	0,98*
Potássio				
Teores totais	$Y = 4,671 + 0,651X$	0,99*	$Y = 6,830 + 5,129X$	0,54 ^{NS}
Teores solúveis	$Y = -1,386 - 0,005X$	0,63 ^{NS}	$Y = -33,531 - 0,038X$	0,64 ^{NS}
Teores solúveis (nervura)	$Y = 5,176 + 0,001X$	0,51 ^{NS}	$Y = 14,293 + 0,006X$	0,53 ^{NS}
Testes rápidos	$Y = 4,490 + 0,002X$	0,98*	$Y = 5,564 + 0,017X$	0,96*

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

^{NS} Não significativo.

Mesmo não apresentando significância, verifica-se que os maiores teores solúveis de potássio foram encontrados na lâmina foliar (Tabelas 2). Esse resultado contradiz uma expectativa inicial; segundo Styltie, Melsted e Walker (1972), os órgãos das plantas, principalmente os supridos pelo floema (nervura), contêm quantidades mais elevadas de K do que as outras partes da planta. Tal resultado pode ser interpretado como um reflexo da taxa de absorção de potássio que, durante os estádios iniciais de

crescimento excede as de N e P (ARNON, 1975). Sayre (1948) observou que quando a produção de matéria seca do milho atingiu 50% do total, o acúmulo de nitrogênio foi de 68%, o de fósforo 56% e o de potássio 95% do total absorvido. A rápida absorção do K durante o período de intenso crescimento pode ter acarretado redução na taxa de absorção a partir do pendoamento que ocorreria nas condições de campo, aproximadamente, oito semanas após a emergência das plantas (HANWAY, 1962),

período esse semelhante ao utilizado neste trabalho. Como ocorrido no experimento, cabe ressaltar, que em condições de solução nutritiva, ocorre diminuição no ciclo da cultura e redução na taxa de absorção com conseqüente diminuição do teor dos nutrientes nos tecidos condutores da planta.

O uso de testes rápidos não mostrou ser bom indicador para determinar o estado nutricional de N e P nas espigas e N na matéria seca total (Tabela 3), porém, apresentou correlação significativa e positiva com o potássio nas espigas e com P e K na folha. A significância do potássio corrobora os resultados de Styltie, Melsted e Walker (1972) obtidos com a seiva da folha do milho e da soja. Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), este resultado se deve a maior solubilidade do K nos tecidos do floema, o que não ocorre com o nitrogênio e fósforo que estão na planta na forma solúvel e orgânica.

As doses de N aumentaram significativamente a atividade da redutase do nitrato, independentemente da fonte utilizada. Na presença de nitrato a atividade enzimática cresceu de forma linear, enquanto que com nitrato + amônio foi exponencial (Figura 1). Segundo Growl et al. (1992), o NO_3^- é o principal indicador ambiental na regulação da atividade do RNO_3^- . Considerando as características conhecidas de indução da atividade da RNO_3^- , era razoável esperar que a aplicação isolada e crescente do nitrato apresentasse efeito também crescente nesta enzima, o que ocorreu. Resultados semelhantes mostrando o efeito do nitrogênio na redutase do nitrato,

também, foram encontrados na cultura do milho (SANTOS; ALMEIDA; SALEMA, 1992) e nos capins colônia, brachiaria e gordura (ABREU, 1995).

Em decorrência da sua rápida interpretação e devido às correlações positivas e significativas obtidas com a produção de espiga (Tabela 3) e com outros métodos (Tabela 4), a determinação da atividade da redutase do nitrato mostrou ser um método adequado para a avaliação do estado nutricional da cultura do milho para o nitrogênio.

A absorção de fósforo pelas raízes, avaliada pela atividade específica do ^{32}P , decresceu de forma logarítmica. Observa-se, também, um aumento de 2,3 e 1,7 vezes na concentração de P nas doses 0,1 e 0,25 mmol L^{-1} , respectivamente, quando comparada com a dose 1,0 mmol L^{-1} (Figura 2).

Resultados corroboram os obtidos por Bowen (1970) e Bahl e Arora (1991). Bahl (1991), que ao estudar a taxa e o coeficiente de absorção de fósforo pelas raízes de milho e trigo, verificou que a taxa de absorção de P aumenta com o incremento das doses de fósforo, sendo esse aumento maior nas menores concentrações. Esses resultados, quando comparados com os obtidos neste trabalho, indicam que plantas desenvolvidas sob condições ditas adequadas de fósforo apresentam maior taxa de absorção de P. O mesmo autor salienta que nesse processo de transporte de íons, as raízes têm sido consideradas como dreno com concentração zero, indicando que todos os íons absorvidos devem ser rapidamente transportados para as outras partes da planta.

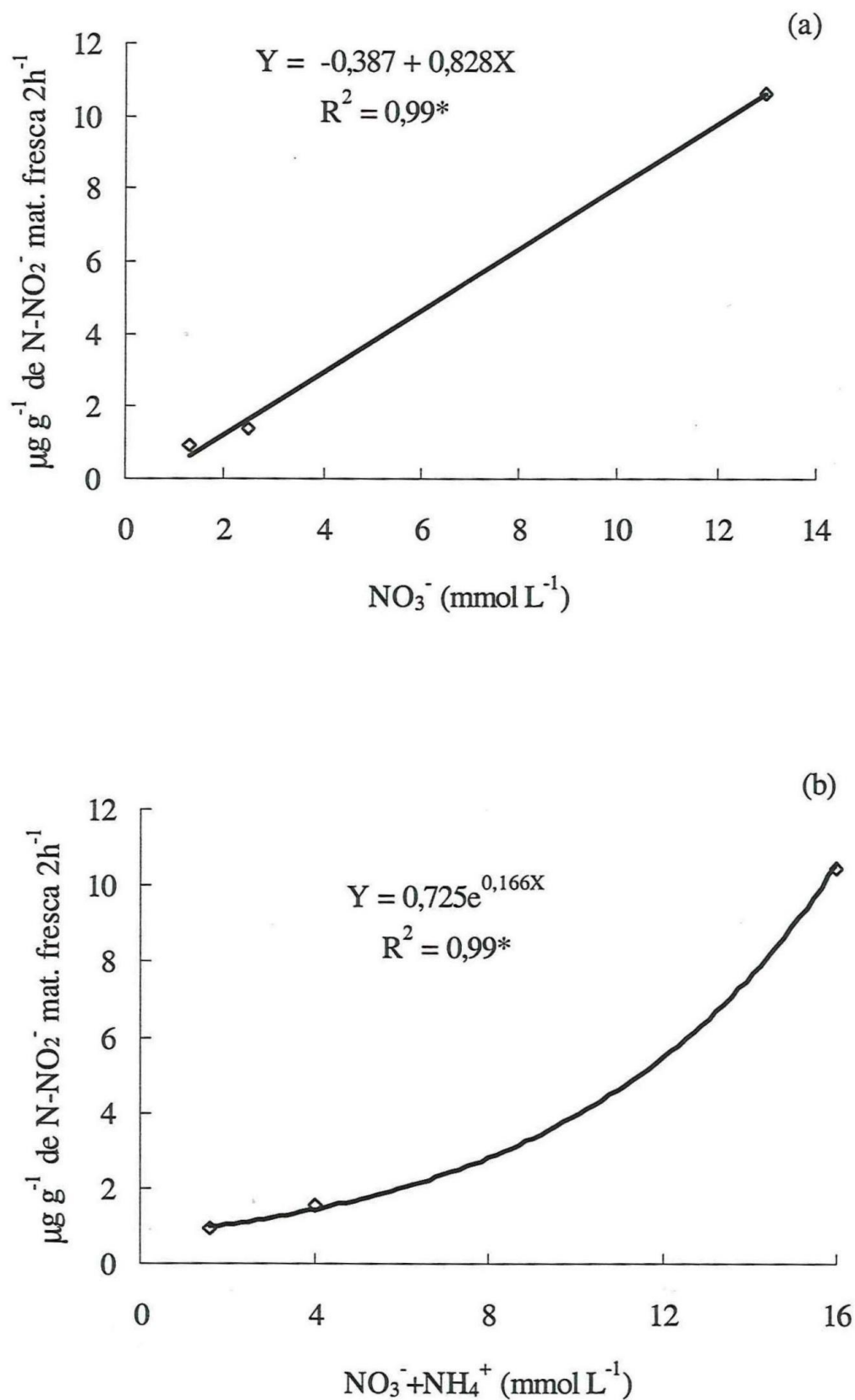


Figura 1 – Atividade da redutase do nitrato em função das doses de nitrogênio na forma NO₃⁻ (a) e na forma de NO₃⁻ + NH₄⁺ (b). *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4 – Coeficientes de correlação entre os métodos de determinação do estado nutricional de N, P e K em plantas de milho cultivadas em solução nutritiva¹.

Métodos de avaliação	Nitrogênio		
	RNO ₃ ⁻	Teores solúveis (nervura)	Teores totais
Testes rápidos	0,99*	1,00*	0,98*
Teores totais	0,99*	0,98*	
Teores solúveis (nervura)	0,99*		
Fósforo			
³² P	Teores solúveis		
(lâmina foliar)	Teores totais		
Testes rápidos	-0,94*	0,73 ^{NS}	0,75 ^{NS}
Teores totais	-0,92*	1,00*	
Teores solúveis (lâmina foliar)	-0,72 ^{NS}		
Potássio			
	Teores solúveis		Teores totais
	(nervura)	(lâmina foliar)	
Testes rápidos	0,75 ^{NS}	0,73 ^{NS}	1,00*
Teores totais	0,74 ^{NS}	0,72 ^{NS}	
Teores solúveis (lâmina foliar)	1,00*		

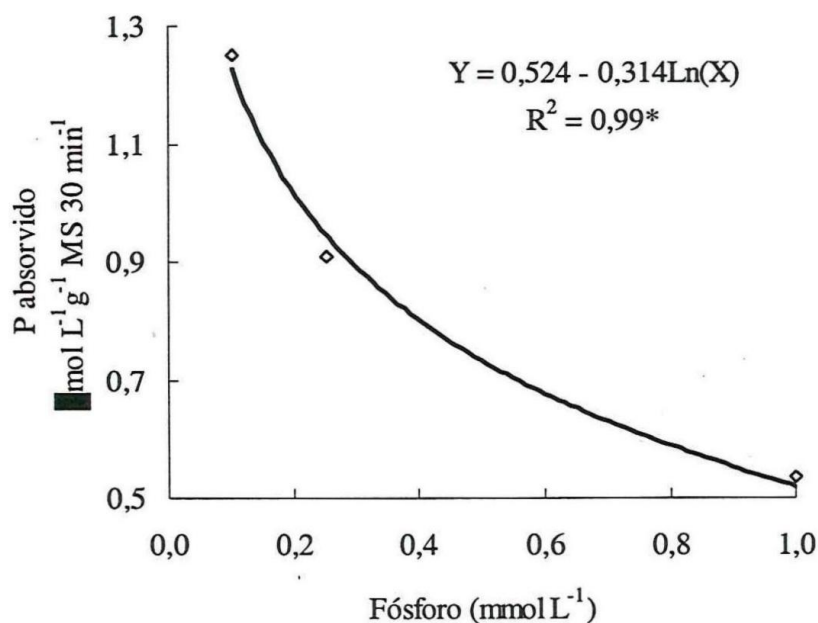


Figura 2 – Absorção de fósforo por raízes destacadas de milho em função da concentração externa de fósforo na solução. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O P absorvido juntamente com o seu radioisótopo apresentou correlação positiva e significativa com a produção de espigas e de matéria seca total, mostrando que este método, apesar da dificuldade na sua utilização é eficiente na determinação do conteúdo de fósforo na planta (Tabela 3). Segundo Bowen (1970), a utilização da cinética de absorção e a planta como próprio indicador é eficiente na determinação do estado nutricional quando comparado com outros métodos analíticos.

4 CONCLUSÃO

- a) O método dos teores totais para N, P e K mostrou ser eficiente na avaliação do estado nutricional do milho.
- b) A atividade da RNO_3^- foi eficiente na determinação da produção de matéria seca de espigas.
- c) Os teores solúveis de fósforo permitem prever a produção de espigas e de matéria seca total, enquanto que os testes rápidos tiveram efeito similar para o potássio.
- d) O radiofósforo foi adequado para diagnosticar o estado nutricional de P no milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J.B.R. *Níveis de nitrogênio e proporções de nitrato e amônio afetando a produção, atividade da redutase do nitrato e composição de três gramíneas forrageiras*. 1995. 105p. Dissertação (Mestrado) – ESALQ/USP, Piracicaba, 1995.
- ARNON, I. *Mineral nutrition of maize*. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.
- ASHLEY, D.A.; GOODSON, R.D. Effect of time and plant K status on ^{14}C -labeled photosynthate movement in cotton. *Crop Science*, Madison, v.12, n.2, p.686-690, 1972.
- BAHL, B.S. Tracer study on the P uptake rate and root uptake coefficient of maize and wheat roots. *Journal Nuclear Agricultural and Biology*, New Delhi, v.20, n.1, p.108-112, 1991.
- ; ARORA, B.S. Studies on uptake and utilization of P by soybean (*Glycine max* L.) grown characteristically different soils of Punjab. *Journal Nuclear Agricultural and Biology*, New Delhi, v.20, p.113-117, 1991.
- BARBER, S.A.; OLSON, R.A. Fertilizer use in corn. In: NELSON, L.B.; McVICKER, M.H.; MUNSON, R.D.; SEATZ, L.F.; TISDALE, S.L.; WHITE, W.C. (Ed.). *Changing patterns in fertilizer use*. Madison: Soil Science Society of Fertilizer Use, 1968. p.163-188.
- BOULD, C.; HEWITT, E.J.; NEEDHAM, P. *Diagnosis of mineral disorders in plants*. New York: Chemical Pub., 1984. v.2.
- BOWEN, G.D. Early detection of phosphate deficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.1, n.5, p.293-298, 1970.

FERNANDES, C.S. Análise de tecidos vegetais por meio de "spot tests". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v.2, n.1, p.237-244, 1967.

GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

GOWRL, G.; KENIS, J. D.; INGE-MARSSON, B.; REDINBAUGH, M.G.; CAMPBELL, W.H. Nitrate reductase transcript is expressed in the primary response of maize to environmental nitrate. *Plant Molecular Biology*, London, v.18, n.1, p.55-64, 1992.

HANWAY, J.J. Corn growth and composition in relation to soil fertility. II. Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agronomy Journal*, Madison, v.54, p.217-222, 1962.

HARRISON, A.F.; HELLIWELL, D.R. A bioassay for comparing phosphorus availability in soils. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v.16, p.467-505, 1979.

HARTT, C.E. Effect of potassium deficiency upon translocation of ¹⁴C in attached blades and entire plants of sugarcane. *Plant Physiology*, Rockville, v.44, p.1461-1469, 1969.

JOHNSON, C.M.; STOUT, P.R.; BROYER, T.C.; CARLTON, A.B. Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant and Soil*, The Hague, v.8, n.1, p.337-353, 1957.

KISSEL, D.E.; HAGLAND, J.L. Redistribution of nutrient elements in corn (*Zea mays* L.): N, P, K, Ca and Mg redistribution in the absence of nutrient accumulation after silking. *Proceeding of Soil Science Society of America*, Madison, v.31, p.227-230, 1967.

LORENZ, O.A.; TYLER, K.B. Plant tissue analysis of vegetable crops. In: REISENAUER, H.M. (Ed.) *Soil and plant-tissue testing in California*. Berkeley: University of California, 1973. p.24-29. (Bulletin, 1879)

LOTT, W.L.; NERY, J.P.; GALLO, J.R.; MADCALF, J.C. *Leaf analysis technique in coffee research*. São Paulo: IBEC, 1956. 26p.

LOURENÇO, S.; CROCOMO, O.J.; NOGUEIRA, I.R.; MALAVOLTA, E. Kinetic studies of phosphorus uptake by excised roots of barley in the presence of magnesium. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v.40, n.2, p.172-179, 1968.

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI E.; VIÉGAS, G.P. (Ed.). *Melhoramento e produção do milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.541-593.

———; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafós, 1997. 339p.

- MALAVOLTA, E.; ALMEIDA, C.L.F.; DARIO, C.J.A.; MARIA, I.C.; BRITO NETO, J.; BALDEON, J.R.M.; FARINAZZO FOLLHO, M.; CASTRO, O.M.; LORORANDI, R. Estudos sobre nutrição mineral do arroz. XXVI. Avaliação do estado nutricional da variedade Dourado Precoce. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, Piracicaba, v.40, n.2, p.1007-1029, 1983.
- MULDER, E.G.; BOXMA, R.; VAN VEEN, W.L. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissues. *Plant and Soil*, The Hague, v.10, p.335-355, 1959.
- NAMBIAR, P.T.C.; REGO, T.J.; RAO, B.S. Nitrate concentration and nitrate reductase activity in the leaves of three legumes and three cereals. *Annales of Applied Biology*, Warwick, v.112, n.3, p.547-553, 1988.
- SANTOS, L.; ALMEIDA, J.M.; SALEMA, R. Influence of nitrogen nutrition on growth, nitrate reductase and nitrite reductase of seedlings of maize (*Zea mays* L. cv. LG12). *Journal of Plant Nutrition*, London, v.15, p.2531-2544, 1992.
- SAYRE, J.D. Mineral accumulation in corn. *Plant Physiology*, Rockville, v.23, p.267-281, 1948.
- STYLTIE, P.W.; MELSTED, S.W.; WALKER, W.M. Rapid tissue tests as indicators of yield, plant composition, and soil fertility for corn and soybean. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.3, n.1, p.37-49, 1972.
- ULRICH, A. Plant analysis – methods and interpretation of results. In: KITCHEN, H.B. (Ed.). *Diagnostic techniques for soils and crops*. Washington, DC: The American Potash Institute, 1948. 308p.
- VIETS, F.G. Calcium and other polyvalent cations as accelerator of ion accumulation by excised roots. *Plant Physiology*, Rockville, v.19, p.466-480, 1944.