

PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO MILHO EM RAZÃO DA SATURAÇÃO POR BASES E DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA¹

MARCELO ANDREOTTI², EUCLIDES CAXAMBU ALEXANDRINO DE SOUZA³,
CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL², JOÃO DOMINGOS RODRIGUES⁴ e LEONARDO THEODORO BÜLL⁵

RESUMO - O trabalho foi conduzido em condições de casa de vegetação, com o objetivo de avaliar a resposta do milho à adubação potássica e à saturação do solo por bases, na produção de matéria seca e na absorção de nutrientes. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 3x2x4, constituindo-se de três solos (Areia Quartzosa, Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo), dois valores de saturação por bases (40% e 70 %) e quatro teores de K no solo (0,5, 1,5, 3,0 e 6,0 mmol_cdm⁻³). Para a calagem, foi utilizada mistura de carbonato de cálcio + carbonato de magnésio (PRNT = 103,3 %) na proporção de 4:1. A adubação básica constou de 200 mg kg⁻¹ de N, 200 mg kg⁻¹ de P e 5 mg kg⁻¹ de Zn por vaso de 30 L, sendo o N parcelado em 2,48 g (83,7 mg kg⁻¹) na semeadura e o restante em duas coberturas aos 25 e 40 dias após a emergência das plântulas (DAE). As doses de K utilizadas foram de 0, 3,62, 7,24 e 14,48 g de KCl por vaso. A semeadura foi realizada em 4/3/97, utilizando-se o milho cv. Zêneca 8392, mantendo-se uma planta/vaso durante 60 DAE. O K proporciona ganhos de matéria seca até teores de 1,5 mmol_cdm⁻³ no solo. O aumento dos teores de K no solo resultam em queda na concentração de Ca e Mg na matéria seca do milho. A elevação da saturação por bases e respectivo aumento dos teores de Ca e Mg no solo reduzem a absorção de K pelo milho.

Termos para indexação: *Zea mays*, calagem, nutrição das plantas, textura do solo.

DRY MATTER YIELD AND NUTRIENT UPTAKE IN CORN PLANTS AS A FUNCTION OF POTASSIC FERTILIZATION AND OF BASIS SOIL SATURATION

ABSTRACT - The purpose of this research was to study dry matter yield and nutrients uptake by corn plants as a function of potassic fertilization and of soil basis saturation. An experiment was conducted under greenhouse conditions, using an early single hybrid corn Zêneca 8392 grown in 30 L pots, tested with three types of soil (Quartzpsamment and two alic Dark-Red Latosol - Haplorthox), with two levels of basis saturation (40 and 70 %) and four levels of potassium content (0.5, 1.5, 3.0 and 6.0 mmol_cdm⁻³). A completely random design with four replications was utilized. The basis saturation treatments were calibrated by liming the soils with a mixture of 4:1 of calcium and magnesium carbonate, according to soil type. K content in the soil was established by applying 0, 3.62, 7.24 and 14.48 g of KCl per 30 L pot. P (200 mg kg⁻¹) and Zn (5 mg kg⁻¹) were applied to all treatments at sowing time. N was applied at sowing time (83.7 mg kg⁻¹) as well as at top dressing, 25 and 40 days after seedling emergence, totalizing 200 mg kg⁻¹. Sixty days after seedling emergence the dry matter weight and N, P, K, Ca and Mg content of the leaves and stems were determined. The dry matter yield was increased by K concentrations in the soil up to 1.5 mmol_cdm⁻³. The increase in soil K levels allowed decrease on the Ca and Mg concentrations in corn dry matter. The increase of basis saturation and soil Ca and Mg levels decrease corn plant K uptake.

Index terms: *Zea mays*, liming, plant nutrition, soil texture.

¹ Aceito para publicação em 2 de fevereiro de 2000.

Extraído da tese de doutorado, apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP. Financiado pelo CNPq.

² Eng. Agrôn., Dr., Prof. Assistente, Dep. de Agricultura e Melhoramento Vegetal, FCA, UNESP, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu, SP.

E-mail: secdamv@fca.unesp.br, barnaott@bol.com.br, crusciol@fca.unesp.br

³ Eng. Agrôn., Dr., Prof. Titular, Dep. de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), UNESP, Caixa Postal 541, CEP 148840-900 Jaboticabal, SP.

⁴ Eng. Agrôn., Dr., Prof. Titular, Dep. de Botânica, Instituto de Botânica (IB), UNESP, Caixa Postal 510 CEP 18618-000 Botucatu, SP. E-mail: mingo@ibb.unesp.br

⁵ Eng. Agrôn., Dr., Prof. Titular, Dep. de Ciências dos Solos, FCA, UNESP, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu, SP. E-mail: Bull@fca.unesp.br

INTRODUÇÃO

O milho tem sido cultivado no Brasil, nas mais variadas condições de solo e clima, onde, na maioria das vezes, o Ca e o Mg são fornecidos às plantas pela prática da calagem. Por outro lado, o K é fornecido, normalmente, via adubação, e é calculado com base na análise química do solo e com auxílio de tabelas de recomendações nas quais não são consideradas as interações que possam ocorrer entre os elementos no solo.

Malavolta (1980) relata que há inibição competitiva entre o Mg, Ca e K, em termos de absorção. Assim, se os teores de um elemento foram alterados por uma prática de adubação ou calagem errônea, poderão ocorrer problemas de deficiência desses elementos para a planta de milho.

A competição entre os íons ocorre durante sua absorção. Entretanto, o efeito negativo do desequilíbrio somente é detectado a partir do florescimento, mediante a determinação do acúmulo de nutrientes e da produção de matéria seca, estágio em que a correção do problema não surtirá mais efeito na produção de grãos. Portanto, o cálculo da proporção de K em relação ao Ca e Mg deve ser efetuada no ato da instalação da cultura.

Os efeitos positivos da calagem na produção de matéria seca e de grãos, na cultura do milho, foram destacados nos trabalhos de Forestieri & De-Polli (1990), Bonsu (1991) e Nwachuku & Loganathan (1991), que concluíram que além da maior produção de grãos houve aumentos significativos dos teores de Ca e Mg na matéria seca das folhas, dependendo do teor de Ca solúvel no solo e da saturação por bases.

Bear & Toth (1948) concluíram que a calagem foi uma prática importante no balanço catiônico na alfafa, e quando a relação Ca/K era superior a 4:1 havia necessidade da aplicação de K para otimizar a produção. A ocorrência de deficiência de Mg foi atribuída à aplicação indiscriminada de K e mais evidenciada em solos arenosos. Esta conclusão também é apresentada por Foy & Barber (1958), que acrescentam haver comportamento diferencial entre solos, na ocorrência de deficiências de Mg e K.

Mortvedt & Khasawneh (1986) consideraram o desbalanço de nutrientes no solo como limitante ao

crescimento das plantas e à produção de grãos. Uma vez que o desbalanço da relação K/(Ca+Mg) no solo em relação à produção de matéria seca foi linear, a adubação potássica ou a calagem interfere neste processo. Já Grant & Racz (1987) afirmaram que em cevada, o crescimento e a produção de matéria seca foram afetados pelas altas concentrações de Ca ou Mg na solução do solo (acima de 8 mmol L⁻¹), e que estas não inibiram a absorção de K pela planta.

A seletividade no processo de absorção é altamente dependente da afinidade do íon com os sítios de troca (Loyola Júnior & Pavan, 1989). Portanto, o par Ca e Mg tem maior afinidade que o K, não só pela valência dos íons, mas também pela força iônica da solução de equilíbrio.

A competição entre o K e o Mg vem sendo objeto de pesquisa em muitas culturas, não só em milho. Conclusões de que a concentração no solo de um ou outro elemento interfere no teor destes na planta e na produção de matéria seca e de grãos são apresentadas por Rahmatullah & Baker (1981), Rehm & Sorensen (1985), Peck & MacDonald (1989), Patel et al. (1993) e Fonseca & Meurer (1997). Na maioria dos casos, a concentração de Mg ou K nos tecidos da planta aumenta à medida que os teores de Mg ou K no solo são incrementados, principalmente quando o Mg ou K estão em teores baixos, havendo portanto menor competição pelos sítios de troca.

Rahmatullah & Baker (1981), utilizando 19 diferentes solos da Pensilvânia, concluíram que, em geral, a absorção de Mg depende mais da disponibilidade de K do que do próprio Mg no solo. Esta constatação também foi obtida por Peck & MacDonald (1989), na qual as menores concentrações de Ca e Mg nas folhas de milho foram causadas pelo incremento da concentração de K.

A resposta do milho à adubação potássica varia quanto ao tipo de solo, saturação de Ca e Mg na solução e nível inicial destes no solo (Becker & Meurer, 1986; Bullock, 1990; Meurer & Anghinoni, 1993), o nível de produtividade esperado (Raij et al., 1996), a faixa de aplicação do adubo (Model & Anghinoni, 1992) e o material genético estudado (Furlani et al., 1986).

O pico de absorção e acúmulo de matéria seca do milho vai da fase vegetativa ao início do desenvolvi-

mento reprodutivo do milho, e o K apresenta seu pico de absorção e acúmulo exatamente nesta época, onde a maior concentração é encontrada nos colmos (Karlen et al., 1987). Além disso, o acúmulo de K tem correlação positiva e significativa com a produção de matéria seca de folhas e colmos (Overman et al., 1995).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da elevação da saturação por bases e da aplicação de doses crescentes de K no solo, sobre a produção de matéria seca e absorção de nutrientes por plantas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, UNESP.

Utilizou-se o milho híbrido simples precoce Zêneca 8392. A semeadura foi realizada em 4/3/1997, colocando-se 10 sementes/vaso de 30 L, e após o estabelecimento das plântulas efetuou-se o desbaste, mantendo-se uma planta/vaso durante 60 dias.

Os solos utilizados foram classificados segundo Carvalho et al. (1983), como: Areia Quartzosa (AQ) com 90% areia, 7% argila e 3% silte; Latossolo Vermelho-Escuro (LE) com 65% areia, 30% argila e 5% silte; Latossolo Roxo (LR) com 19% areia, 63% argila e 18% silte, cujas principais características encontram-se na Tabela 1.

A calagem constou de uma mistura de carbonato de cálcio (CaCO_3) + carbonato de magnésio (MgCO_3), na proporção de 4:1, ou seja 4,76 kg de CaCO_3 + 1 kg de MgCO_3 (PRNT = 103,33%).

As doses da mistura de carbonatos para elevar a saturação por bases (V) a 40% e a 70% foram calculadas de acordo com os três tipos de solos utilizados, em vasos com capacidade de 30 L (Tabela 2). Após 30 dias de incubação do calcário com a terra, efetuou-se análise química

de rotina (pH (CaCl_2), P_{resina} , M.O., Ca, Mg, K, H+Al) do solo, segundo método descrito em Ferreira et al. (1990).

Para adubação nitrogenada e fosfatada seguiu-se a recomendação de Malavolta (1980), adaptada por Andreotti (1995), que consistiu da aplicação de 200 mg kg^{-1} de N e 200 mg kg^{-1} de P por vaso de 30 L. Na semeadura foram aplicados 22,5 g de MAP/vaso (60% de P_2O_5 e 11% de N), correspondendo a 2,48 g de N (82,67 mg kg^{-1}) e 13,50 g de P_2O_5 (200 mg kg^{-1}). O restante da dose de N, 117,33 mg kg^{-1} , foi aplicada em cobertura, aos 25 e 40 dias após a emergência (DAE) das plântulas, na forma de sulfato de amônio (20% N), correspondendo a duas aplicações de 8,80 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ /vaso, num total de 3,52 g de N.

Na adubação de semeadura foram misturados também 5 mg kg^{-1} de Zn por vaso (Andreotti, 1995) na forma de sulfato de zinco (23% Zn), perfazendo um total de 0,65 g de ZnSO_4 .

As doses de K obedeceram os valores limites das classes de fertilidade contidos em Rajj et al. (1996), para a cultura do milho, ou seja, original dos solos (0,5 mmol $_c$ dm^{-3}), 1,5, 3,0 e 6,0 mmol $_c$ dm^{-3} . Desta forma, foram aplicados por vaso de 30 L: 2,17, 4,34 e 8,68 g de K_2O , respectivamente, para atingir 60, 120 e 240 mg kg^{-1} de K. A fonte utilizada de K foi o cloreto de potássio (60% K_2O), aplicando-se 3,62, 7,24 e 14,48 g de KCl/vaso, dez dias antes da semeadura.

Este trabalho foi instalado no delineamento estatístico inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 3x2x4, constituindo-se de três solos (Areia Quartzosa, Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo), dois valores de saturação por bases (40% e 70%) e quatro concentrações de K no solo (0,5, 1,5, 3,0 e 6,0 mmol $_c$ dm^{-3}).

Aos 60 DAE, as plantas foram colhidas, lavadas, separadas em colmos e folhas, e secadas em estufa a 60°C até peso constante, efetuando-se a pesagem para determinação da produção de matéria seca da parte aérea. Posteriormente, o material foi moído para realizar as análises químicas, nas quais foram determinados os teores de N, P, K, Ca e Mg, segundo método proposto por Bataglia et al. (1983).

TABELA 1. Caracterização química dos solos utilizados no experimento.

Solo ¹	pH (CaCl_2 0,01mol L^{-1})	M.O. (g kg^{-1})	P resina (mg dm^{-3})	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V (%)
				-----		(mmol $_c$ dm^{-3})	-----			
AQ	4,0	12	4	0,5	6,0	1,0	20	8,0	28	28
LE	4,1	38	2	0,4	1,0	1,0	60	2,0	62	3
LR	4,0	31	5	0,6	3,0	1,0	109	5,0	114	4

¹AQ: Areia Quartzosa; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LR: Latossolo Roxo.

TABELA 2. Quantidades (g vaso⁻¹) da mistura de CaCO₃ + MgCO₃ (4:1) aplicadas por vaso de 30 L para elevar a saturação por bases a 40% e 70%, nos três tipos de solos.

Solo ¹	40%	70%
AQ	4,8	17,1
LE	33,3	60,3
LR	59,5	109,2

¹ AQ: Areia Quartzosa; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LR: Latossolo Roxo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após aplicação da mistura de carbonatos para elevar a saturação por bases a 40% e 70% nos três tipos de solos, obtiveram-se diferentes teores de Ca e Mg, numa mesma relação 4:1, advinda da mistura de CaCO₃ + MgCO₃. Nestes diferentes teores de Ca e Mg no solo, foram acrescentadas quatro doses de K; a partir destas combinações nos solos, foram obtidos teores de nutrientes na matéria seca de folhas e colmos, bem como variações na produção de matéria seca.

Com relação à produção de matéria seca das folhas, houve efeito significativo apenas em razão dos teores de K aplicados (Tabela 3). A correlação entre K no solo e produção de matéria seca de folhas foi baixa ($r = 0,35$), porém significativa a 1% de probabilidade, indicando ser muito mais importante a aplicação de K do que os teores presentes no solo. Este resultado é conflitante com os obtidos por Graham & Fox (1971), que, estudando a resposta ao K pelas plantas de milho em 17 diferentes solos, obtiveram altas correlações de K disponível no solo e produção de matéria seca ($r = 0,98$). Tal comportamento diferencial pode ser explicado pelo híbrido utilizado (Sangoi, 1990), e o K trocável pode não ser um bom índice para predizer a absorção de K pelas plantas, em um conjunto de solos com características mineralógicas, físicas e químicas diferentes (Meurer & Anghinoni, 1993).

Os teores de N nas folhas de milho foram afetados pelo tipo de solo, saturação por bases, e teores de K no solo (Tabela 3). Nos diferentes solos, os maiores teores de N nas folhas foram obtidos no

solo mais arenoso (AQ), fato este que talvez possa ser explicado pelo maior desenvolvimento radicular, visto que a quantidade de poros e conseqüente aeração favorecem tal processo, e a absorção de N pelo milho depende do crescimento radicular e do raio médio da raiz, como descrito por Rosolem (1995), que constatou os mesmos resultados em condições de casa de vegetação.

Tanto em saturação por bases menores (40%), quanto em teores mais baixos de K no solo (0,5 e 1,5 mmol_c dm⁻³), os teores de N nas folhas foram aumentados por causa da competição, entre os cátions (K⁺ e NH₄⁺), pelos sítios de absorção; tal fato poderia, em parte, ser explicado pela fonte de N utilizada na adubação, que foi o sulfato de amônio. Em geral, o K participa de numerosos processos bioquímicos e fisiológicos que envolvem também o N na planta, como é o caso do transporte de carboidratos, porém existe um comportamento diferencial entre híbridos de milho, pois o excesso de K restringe a absorção de N (Stromberger et al., 1994).

Os teores de P nas folhas foram afetados pela interação solos e saturação por bases (Tabela 4), na qual se verifica que o solo de textura mais arenosa (AQ), dentro de uma mesma saturação por bases, sempre apresentou maior teor de P nas folhas de milho. Na saturação por bases de 70%, mesmo no solo de textura média (LE), os teores foram superiores quando comparados aos do solo mais argiloso (LR). Quanto à saturação por bases, exceto na Areia Quartzosa, os teores de P nas folhas foram maiores na saturação de 70%, visto que na saturação de 40% houve maior absorção de N (Tabela 3). Concentrações elevadas de N na zona de absorção pré-condicionam as raízes a aumentarem a absorção e a translocação de P, que se encontra concentrado na porção de solo explorada pelo sistema radicular (Thien & McFee, 1970). Este processo é importante, principalmente, quando se utiliza a adubação nitrogenada na forma amoniacal (Gamboa, 1980), pois o amônio aumenta a taxa de dissociação do complexo fosfato-carregador no xilema, aumentando as concentrações de P na parte aérea (Leonce & Miller, 1966).

Com relação aos teores de K, Ca e Mg nas folhas, houve efeito tanto do teor de K no solo (Tabela 3), quanto da interação solo e saturação por bases (Tabela 4). Os teores de K nas folhas de milho não

TABELA 3. Efeitos de tipos de solos (S), saturação por bases (V) e teores de potássio (K) no solo sobre a produção de matéria seca (MS) e teores de N, P, K, Ca e Mg em folhas de milho aos 60 dias após emergência¹.

Tratamento ²	M.S.	N	P	K	Ca	Mg
	(g/planta)	----- (g kg ⁻¹) -----				
AQ	22,49	34,95a	5,54	18,13	7,86	1,21
LE	20,74	32,56b	2,82	18,15	9,54	1,85
LR	19,82	33,11b	1,85	20,74	9,74	2,49
V ₄₀	20,32	34,53a	3,66	19,11	8,56	1,69
V ₇₀	21,71	32,55b	3,15	18,91	9,54	2,01
K ₁	16,47b	34,64a	3,71	16,75b	9,82a	2,59a
K ₂	21,46a	33,87ab	3,43	19,32ab	8,83bc	1,88b
K ₃	22,93a	32,92b	3,56	19,30ab	9,16ab	1,61bc
K ₄	23,21a	32,73b	2,92	20,67a	8,37c	1,32c
CV (%)	26,91	6,37	41,47	18,34	11,07	21,28

¹ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; apenas a interação S x V em relação ao P, K, Ca e Mg foi significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

² AQ: Areia Quartzosa; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LR: Latossolo Roxo; V₄₀: saturação por bases de 40%; V₇₀: saturação por bases de 70%; K₁, K₂, K₃ e K₄, respectivamente, 0,5, 1,5, 3,0 e 6,0 mmol_c dm⁻³ de K aplicados nos solos.

TABELA 4. Teores (mg kg⁻¹) médios de P, K, Ca e Mg nas folhas de milho, coletadas aos 60 dias após a emergência das plântulas. Desdobramento das interações significativas da análise de variância¹.

Solos ²	Saturação por bases (%)	
	40	70
	P	
AQ	6,41aA	4,67aB
LE	2,22bB	3,42bA
LR	2,34bA	1,37cA
	K	
AQ	17,41aA	18,85bA
LE	20,31aA	16,00bB
LR	19,60aA	21,87aA
	Ca	
AQ	6,92bB	8,80bA
LE	9,33aA	9,75aA
LR	9,42aA	10,06aA
	Mg	
AQ	0,92cB	1,51cA
LE	1,83bA	1,86bA
LR	2,33aB	2,66aA

¹ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² AQ: Areia Quartzosa; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LR: Latossolo Roxo.

apresentaram correlação com os teores de K aplicados ao solo, visto que apenas na maior concentração (6,0 mmol_c dm⁻³) de K no solo obteve-se o maior teor de K nas folhas.

Na saturação de 40% não houve diferença significativa quanto aos teores de K nas folhas (Tabela 4). Entretanto, na saturação por bases de 70%, no solo mais argiloso (LR), houve aumento significativo no teor de K, dado este explicado pelo poder tampão, o qual aumenta a retenção deste íon.

Comparando a saturação por bases, apenas no solo de textura média (LE), houve o decréscimo no teor de K nas folhas, na saturação por bases de 70%, visto que pela maior concentração de Ca e, principalmente Mg nesta saturação, provavelmente houve maior competição pelos sítios de troca de absorção, fato comprovado por inúmeros trabalhos, que afirmaram haver maior competição entre o Mg e o K, pela similaridade de raio iônico e potencial eletroquímico de absorção de ambos (Rahmatullah & Baker, 1981; Rehm & Sorensen, 1985; Peck & MacDonald, 1989; Patel et al., 1993; Fonseca & Meurer, 1997).

O efeito das concentrações de K no solo sobre os teores de Ca e Mg nas folhas de milho foram muito

semelhantes, pois à medida que se elevou o teor de K no solo, proporcionalmente houve diminuição dos teores de Ca e Mg nas folhas (Tabela 3). Este fato mostra que a competição entre Ca, Mg e K ocorreu pelos sítios de troca no momento da absorção, como já descrito por Mortvedt & Khasawneh (1986), Loyola Júnior & Pavan (1989) e Diem & Godbold (1993).

Na Tabela 4, constata-se que através do desdobramento da interação tipos de solos e saturação por bases houve efeito significativo da calagem, dentro da mesma saturação, apenas entre o solo arenoso (AQ) e os Latossolos, visto que em decorrência da elevada capacidade de troca de cátions (CTC) desses solos, maior foi o reservatório de Ca para posterior absorção pelas plantas de milho. Analisando-se os teores de Ca em razão da saturação por bases, apenas o solo arenoso (AQ) proporcionou acréscimos, comparando a saturação por bases de 40% para 70%, não ocorrendo diferenças significativas nos solos mais argilosos, visto que a quantidade de Ca não apresentou diferenças significativas nem mesmo entre os dois.

Pode-se concluir que esse aumento no teor de Ca nas folhas, em virtude da elevação da saturação por bases, ocorreu pelo aumento direto do teor de Ca presente no solo, como o verificado no trabalho de Murtadha et al. (1989), que conseguiram aumentos na concentração de Ca nas folhas de sorgo, com a elevação dos teores de Ca na solução (25, 50 e 300 mg L⁻¹).

Por meio da análise do desdobramento interação tipo de solo e saturação por bases, verifica-se que os teores de Mg nas folhas (Tabela 4) seguiram a mesma tendência do Ca, ou seja, com o aumento da saturação por bases houve aumento dos teores nas folhas, efeito significativo mesmo entre os latossolos. De maneira geral, com a elevação da saturação por bases, houve aumento significativo dos teores de Mg nas folhas, exceto no solo LE, de textura média.

O efeito da calagem no aumento da saturação por bases e conseqüente elevação do teor de Mg no solo, com concomitante elevação nos teores de Mg nas folhas de milho, vêm sendo descritos por inúmeros autores (Anjos et al., 1981; Sing et al., 1986; Klepker & Anghinoni, 1995). Porém em certos casos, como o ocorrido no LE, não ocorreram respostas,

principalmente com valores de pH próximos de 5,5 (Nwachuku & Loganathan, 1991) ou quando houve aumento das concentrações de K no solo, pela maior competição entre esses íons pelos sítios de troca na absorção (Foy & Barber, 1958; Mortvedt & Khasawneh, 1986; Loyola Júnior & Pavan, 1989).

Na Tabela 5, encontram-se os efeitos dos tratamentos sobre a produção de matéria seca de colmos. Houve efeito significativo apenas dos teores de K aplicados em relação ao original do solo (0,5 mmol_c dm⁻³).

A correlação entre produção de matéria seca de folhas e colmos foi significativa ($r = 0,88$). Porém, não houve correlação entre teores de K, Ca ou Mg no solo e produção de matéria seca de colmos de milho. O fato de ter ocorrido acúmulo significativo de K nos colmos de milho, quando se aumentou o teor acima do original do solo, pode ser explicado pelo híbrido utilizado, pois Sangoi (1990) afirmou haver grande diferença quanto à responsividade de híbridos à aplicação de K, o que concorda com Furlani et al. (1986), que, num grupo de 37 linhagens de milho, concluíram que estes poderiam ser agrupados, quanto à produção de matéria seca, em eficientes, ineficientes e medianamente eficientes na absorção e utilização do K.

As concentrações de N no colmo de milho foram afetadas pela interação teores de K no solo e tipos de solo (Tabela 6). Verifica-se que apenas no solo mais arenoso (AQ) houve efeito dos teores de K no solo, visto que no menor valor, obteve-se o maior teor de N no colmo, fato descrito também com relação a teores de N nas folhas. Como a fonte de N foi o sulfato de amônio, poderia ocorrer competição entre os cátions NH₄⁺ e K⁺. Conseqüentemente, pela maior quantidade de N-NH₄⁺ no menor nível de K no solo (0,5 mmol_c dm⁻³), haveria maior absorção e acúmulo de N no colmo do milho.

Os maiores teores de N no colmo foram obtidos no solo mais arenoso (AQ), fato explicado pelo maior desenvolvimento radicular, visto que a aeração favorece tal processo e a absorção de N pelo milho é altamente dependente deste crescimento radicular (Rosolem, 1995).

Os teores de P no colmo de milho foram afetados pelos tipos de solo (Tabela 5), com diferença significativa à medida que se elevou a quantidade de argila,

TABELA 5. Efeitos de tipos de solos (S), saturação por bases (V) e teores de potássio (K) no solo sobre a produção de matéria seca (MS) e teores de N, P, K, Ca e Mg em colmos de milho aos 60 dias após emergência¹.

Tratamento ²	M.S.	N	P	K	Ca	Mg
	(g/planta)	(g kg ⁻¹)				
AQ	25,87	22,76	5,76a	19,25b	8,52	1,67c
LE	19,74	20,82	2,67b	16,74b	10,06	2,61b
LR	21,62	19,47	1,67c	31,09a	9,50	2,93a
V ₄₀	20,52	21,31	3,26	22,70	9,11	2,24b
V ₇₀	24,30	20,73	3,48	22,02	9,61	2,57a
K ₁	14,67b	23,19	3,69	16,18b	11,23	3,45a
K ₂	21,44ab	21,07	3,22	22,72a	9,25	2,55b
K ₃	26,84a	20,14	3,32	23,13a	8,88	2,00c
K ₄	26,71a	19,68	3,23	27,41a	8,08	1,63c
CV (%)	53,96	12,65	29,44	37,67	14,99	21,05

¹ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; apenas a interação S x K em relação ao N e ao Ca foi significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

² AQ: Areia Quartzosa; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; LR: Latossolo Roxo; V₄₀: saturação por bases de 40%; V₇₀: saturação por bases de 70%; K₁, K₂, K₃ e K₄, respectivamente, 0,5, 1,5, 3,0 e 6,0 mmol_c dm⁻³ de K aplicados nos solos.

TABELA 6. Teores (g kg⁻¹) médios de N e Ca no colmo de milho, coletado aos 60 dias após emergência das plântulas, em razão das doses de K aplicadas (mmol_c dm⁻³). Desdobramento das interações significativas da análise de variância¹.

Doses de K aplicadas nos solos	Solos ²		
	AQ	LE	LR
	N		
0,5	27,16aA	21,89aB	20,51aB
1,5	22,90bA	20,31aA	19,99aA
3,0	21,41bA	20,49aA	18,51aA
6,0	19,57bA	20,59aA	18,89aA
	Ca		
0,5	11,47aA	11,67aA	10,54aA
1,5	8,11bB	9,81bA	9,84aA
3,0	7,49bB	10,30abA	8,86aAB
6,0	7,01bB	8,47bAB	8,75aA

¹ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² AQ: Areia Quartzosa; LE: Latossolo Vermelho-Escuro; e LR: Latossolo Roxo.

ou seja: com alteração textural para solos mais argilosos, maior é a fixação de P no solo, com a conseqüente menor disponibilidade para a planta (Nwachuku & Loganathan, 1991; Model & Anghinoni, 1992).

Os tipos de solo e os teores de K aplicados afetaram significativamente os teores de K no colmo do milho. O solo de maior CTC proporcionou os maiores teores, fato esse concordante com o trabalho de Vasilas et al. (1988), que com a elevação do K disponível no solo, obtiveram aumentos significativos na parte aérea do milho. As características mineralógicas, físicas e químicas do solo, associadas à saturação por K, podem resultar numa melhoria das recomendações de adubação potássica (Meurer & Anghinoni, 1993).

Karlen et al. (1987) declararam que os picos de absorção e acúmulo de matéria seca pelo milho ocorreram na fase vegetativa e início do desenvolvimento reprodutivo, e o K foi mais absorvido e acumulado na fase vegetativa, principalmente nos colmos, e que este acúmulo pode superar as quantidades absorvidas de N e P (Overman et al., 1995).

Esses resultados assemelham-se aos apresentados na Tabela 6, onde se observa que os teores de K no colmo foram significativamente alterados pela aplicação de K no solo, não diferindo entre os teores mais elevados (1,5, 3,0 e 6,0 mmol_c dm⁻³). Os resultados permitem inferir que o híbrido utilizado foi medianamente responsivo à aplicação de K, concordante com Furlani et al. (1986), que agruparam 37 linhagens quanto à responsividade ao elemento.

Quanto aos teores de Ca no colmo do milho, houve efeito significativo da interação tipos de solos e concentrações de K (Tabela 6). Nos solos com menor teor de argila e conseqüentemente menor CTC (AQ e LE), a elevação do K proporcionou decréscimo do teor de Ca no colmo.

Assim, pode-se inferir que pequenas quantidades de K no solo até auxiliam na absorção de Ca (Malavolta, 1980). Porém, em maiores concentrações de K no solo há maior competição pelos sítios de absorção, e, em conseqüência, menor absorção e acúmulo de Ca na matéria seca de milho.

O efeito no solo mais argiloso (LR) foi menos expressivo, pela alta CTC, portanto, maior reservatório de Ca. Resultados semelhantes foram obtidos por Magdoff & Bartlett (1980) e Chaves & Kinjo (1988). Quando se comparam os resultados dentro de uma mesma dose de K (Tabela 6), o efeito da CTC fica mais evidente, pois a tendência de aumento significativo do teor de Ca no colmo de milho segue o aumento do teor de argila nos solos.

Comparando-se os teores de Mg no colmo do milho, o efeito significativo do tipo de solo assemelha-se ao ocorrido com o Ca, pois à medida que se elevou a CTC houve aumento concomitante do teor de Mg no colmo, pelo efeito direto do reservatório de Mg no solo (Tabela 5).

Este efeito significativo de elevação no teor de Mg no colmo ocorreu, também, em decorrência da elevação da saturação por bases, visto que com esta elevação houve aumento significativo da concentração de Mg no solo, passível de absorção pela planta de milho.

O aumento da dose de K aplicada ao solo proporcionou decréscimo do teor de Mg no colmo do milho, resultando em correlação linear negativa ($r = -0,85$). Tais resultados assemelham-se aos obtidos por Rahamatullah & Baker (1981), Peck & MacDonald (1989), Rehm & Sorensen (1985), Patel et al. (1993) e Fonseca & Meurer (1997), que concluíram que a competição K:Mg ocorre em maior intensidade graças à similaridade de seus raios iônicos e ao potencial eletroquímico nos sítios de absorção, do que resulta menor ou maior acúmulo de um ou outro íon.

CONCLUSÕES

1. O K proporciona no híbrido simples de milho, Zêneca 8392, ganhos de matéria seca até teores de $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo.
2. O aumento dos teores de K no solo resultam em queda na concentração de Ca e Mg na matéria seca do milho.
3. A elevação da saturação por bases e respectivo aumento dos teores de Ca e Mg no solo reduzem a absorção de K pelo milho.

REFERÊNCIAS

- ANDREOTTI, M. **Estudo da interação calcário e zinco em milho**. Botucatu : UNESP, 1995. 66p. Dissertação de Mestrado.
- ANJOS, J.T.; PUNDEK, M.; TASSINARI, G.; GRIMM, S.S. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre algumas propriedades químicas de um Cambissolo húmico distrófico, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, n.1, p.50-54, 1981.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análises químicas de plantas. **Boletim do Instituto Agrônomo**, Campinas, n.78, p.1-48, 1983.
- BEAR, F.E.; TOTH, S.J. Influence of calcium on availability of other soil cations. **Soil Science**, Baltimore, v.65, n.1, p.69-74, 1948.
- BECKER, M.; MEURER, E.J. Morfologia de raízes, suprimento e influxo de potássio em plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.259-263, 1986.
- BONSU, M. Effect of liming on maize production and erosion on an acid soil in Southwest Ghana. **Tropical Agriculture**, St. Augustine, v.68, p.271-273, 1991.
- BULLOCK, D.G. Grain yield, stalk rot, and mineral concentration of fertiligated corn as influenced by N, P, K. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.13, n.8, p.915-937, 1990.
- CARVALHO, W.A.; SPINDOLA, C.R.; PACOLLA, A.A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental 'Presidente Médici'**. Botucatu : UNESP, 1983. 95p.

- CHAVES, L.H.G.; KINJO, T. Equilíbrio de troca potássio-cálcio em solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.2, p.101-107, 1988.
- DIEM, B.; GODBOLD, D.L. Potassium, calcium and magnesium antagonism in clones of *Populus thichocarpa*. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.155/156, p.411-414, 1993.
- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA JÚNIOR, M.E. **Avaliação da fertilidade empregando o sistema IAC de análise de solo**. Jaboticabal: UNESP, 1990. 94p.
- FONSECA, J.A.; MEURER, E.J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.47-50, 1997.
- FORESTIERI, E.F.; DE-POLLI, H. Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e da mucuna preta num Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p.167-172, 1990.
- FOY, C.D.; BARBER, S.A. Magnesium deficiency and corn yield on two acid Indiana soils. **Soil Science Society of American. Proceedings**, Madison, v.22, n.2, p.145-148, 1958.
- FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; LIMA, M. Crescimento diferencial de linhagens de milho em solução nutritiva com baixo nível de potássio. **Bragantia**, Campinas, v.45, n.2, p.303-316, 1986.
- GAMBOA, A. **La fertilización del maíz**. Berna: Instituto Internacional de la Potassa, 1980. 72p. (IIP. Boletín, 5).
- GRAHAM, E.R.; FOX, R.L. Tropical soil potassium as related to labile pool and calcium exchange equilibria. **Soil Science**, Baltimore, v.111, n.5, p.318-322, 1971.
- GRANT, C.A.; RACZ, G.J. The effect of Ca and Mg concentrations in nutrient solution on the dry matter yield and Ca, Mg and K content of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.67, p.857-865, 1987.
- KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. Nutrient and dry matter accumulation rates for high yielding maize. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.10, n.9/16, p.1409-1417, 1987.
- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.3, p.403-408, 1995.
- LEONCE, F.S.; MILLER, M.H. A physiological effect of nitrogen on phosphorus absorption by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.58, p.245-249, 1966.
- LOYOLA JÚNIOR, E.; PAVAN, M.A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.131-138, 1989.
- MAGDOFF, F.; BARTLETT, R.J. Effect of liming acid soils on potassium availability. **Soil Science**, Baltimore, v.129, n.1, p.12-14, 1980.
- MALAVOLTA, E. A avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p.219-251.
- MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.3, p.377-382, 1993.
- MODEL, N.S.; ANGHINONI, I. Resposta do milho a modos de aplicação de adubos e técnicas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.1, p.55-59, 1992.
- MORTVEDT, J.J.; KHASAWNEH, F.E. Effects of growth responses on cationic relationships in plants. **Soil Science**, Baltimore, v.141, n.3, p.200-207, 1986.
- MURTADHA, H.M.; MARANVILLE, J.W.; CLARK, R.B.; CLEGG, M.D. Effects of temperature and relative humidity on growth and calcium uptake, translocation, and accumulation in sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.12, n.5, p.535-543, 1989.
- NWACHUKU, D.A.; LOGANATHAN, P. The effect of liming on maize yield and soil properties in Southern Nigeria. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.22, n.7/8, p.623-639, 1991.
- OVERMAN, A.R.; WILSON, D.M.; VIDAK, W.; ALLANDS, M.N.; PERRY JUNIOR, T.C. Model for partitioning of dry matter and nutrients in corn.

- Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, n.5, p.959-968, 1995.
- PATEL, S.K.; RHOADS, F.M.; HANLON, E.A.; BARNETT, R.D. Potassium and magnesium uptake by wheat and soybean roots as influenced by fertilizer rate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.24, n.13/14, p.1543-1556, 1993.
- PECK, N.H.; MacDONALD, G.E. Sweet corn plant responses to P and K in the soil and to band-applied monoammonium phosphate, potassium sulfate, and magnesium sulfate. **American Society for Horticultural Science. Journal**, Alexandria, v.114, n.2, p.269-272, 1989.
- RAHMATULLAH; BAKER, D.E. Magnesium accumulation by corn (*Zea mays* L.) as a function of potassium-magnesium exchange in soils. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.45, p.899-903, 1981.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas : Instituto Agronômico, 1996. 285p.
- REHM, G.W.; SORENSEN, R.C. Effects of potassium and magnesium applied for corn grown on an irrigated sandy soil. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.49, p.1446-1450, 1985.
- ROSOLEM, C.A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal : FUNEP/UNESP, 1995. 53p.
- SANGOI, L. Arranjo de plantas e características agrônômicas de milho em dois níveis de fertilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.7, p.945-953, jul. 1990.
- SING, Y.W.; WALLENS, P.J.; GANGAIYA, P.; MORRISON, R.J. The effect of liming on some chemical properties and maize production on a highly weathered soil. **Tropical Agriculture**, St. Augustine, v.63, n.4, p.319-324, 1986.
- STROMBERGER, J.A.; TSAI, C. Y.; HUBER, D.M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.17, n.1, p.19-37, 1994.
- THIEN, S.J.; McFEE, W.W. Influence of nitrogen on phosphorus absorption and translocation in *Zea mays* L. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.34, p.87-90, 1970.
- VASILAS, B.L.; ESGAR, R.J.; WALKER, W.M.; MAINZ, M.J. Effect of tillage on corn response to potassium fertility. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, n.2, p.141-151, 1988.