

AS RELAÇÕES $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ E $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})$ NO SOLO E AS RESPOSTAS A ADUBAÇÃO POTÁSSICA¹

ABEILARD FERNANDO DE CASTRO e NELI DO AMARAL MENEGHELLI²

RESUMO - O presente estudo teve por finalidade tentar esclarecer o fato largamente encontrado na literatura, de solos com baixos teores de K^+ trocável que não respondem à adubação potássica, e de solos com teores de K^+ trocável considerados satisfatórios, que respondem às aplicações de adubo potássico. Foram estudados os resultados de 74 experimentos e das análises dos diversos solos e diversas culturas, aplicando-se as relações $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ e $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})$. Utilizou-se o método estatístico de regressão logística, efetuada através do procedimento CATMOD, do Statistical Analysis System. Concluiu-se que o índice 0,20 obtido para a relação $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ é o limite a partir do qual nenhuma resposta ao potássio pode ser esperada, e que o índice 0,13 marca o limite a partir do qual as adubações potássicas vão apresentando respostas progressivamente menores e, portanto, antieconômicas. Concluiu-se que os teores de K^+ trocável, isoladamente, não dão uma correta informação sobre as necessidades de adubação potássica, e que o poder de suprimento de potássio dos solos e a calagem a ser aplicada e que altera a relação $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ são, também responsáveis por resultados inesperados em experimentos com aplicação de potássio.

Termos para indexação: potássio trocável, cálcio trocável, magnésio trocável.

THE RATIOS $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ AND $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})$ IN THE SOIL AND THE RESPONSES TO POTASSIUM FERTILIZATION

ABSTRACT - The present study tries to clarify the fact, largely found in literature of soils with low values of exchangeable K^+ which do not respond to potassium fertilization, and of soils with values of exchangeable K^+ considered satisfactory, which respond to potassium fertilizer. The results of 74 experiments were studied together several soils with their analyses and several crops, applying the relations $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ and $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})$. The statistical method of logistic regression was used, carried out through CATMOD procedure of Statistical Analysis System. It was concluded that the 0.20 index obtained for a ratio $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ is the limit from which no response to potassium can be expected and that 0.13 index marks the limit from which response to potassium fertilizations are progressively lower and, therefore, antieconomic. It was concluded that exchangeable K^+ values, by themselves, do not give correct information about potassium fertilization needs, and that the potassium supplying power of soils and liming to be applied which changes the ratio $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ are also responsible for unexpected results in experiments with potassium fertilization.

Index terms: exchangeable potassium, exchangeable calcium, exchangeable magnesium.

INTRODUÇÃO

As respostas à adubação potássica têm sido bastante desconcertantes, quando se procurou correlacionar essas respostas com os teores de potássio trocável dos solos. Alguns solos com baixos teores de K^+ trocável não respondem ao potássio aplicado como adubo, e outros, com teores de potássio trocá-

vel considerados satisfatórios, respondem à aplicação de adubo potássico.

Diversos pesquisadores têm procurado explicar os fatores que influenciam a absorção de potássio pelas plantas. Ultimamente, a maioria dos trabalhos nesse sentido é baseada na lei da relação que governa o equilíbrio entre os cátions na solução do solo (Schofield, 1947). Esta lei da relação é aplicável ao equilíbrio entre os cátions trocáveis e aqueles em solução (sistema solo:água); relativamente aos íons K^+ e Ca^{++} em solução, eles se comportam segundo a relação $aK^+/(aCa)^{1/2} = k$, onde a é uma atividade molar e k é uma constante (Adams 1974).

¹ Aceito para publicação em 11 de maio de 1989.

² Eng. - Agr., Dr., EMBRAPA/Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS), Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460 Rio de Janeiro, RJ.

Mielniczuck (1982), com base no trabalho de Schofield, define que a intensidade relativa de K (Ir) é dada pela relação das atividades de K e os outros cátions na solução do solo: aK/aNa , $aK/aCa^{1/2}$, $aK/aMg^{1/2}$, $aK/a(Ca + Mg)^{1/2}$, etc.; conclui, o autor, que, se a relação $aK/a(Ca + Mg)^{1/2}$ na solução do solo for muito baixa, é porque a atividade do K na solução é muito baixa, exigindo, então, aplicações de K.

A relação de atividade $aK/a(Ca + Mg)^{1/2}$ tem o mesmo valor para todas as soluções em equilíbrio com um determinado solo, independentemente de sua concentração ou da proporção de Ca para Mg; da relação pode-se esperar o fornecimento de uma medida satisfatória do potencial químico do K lábil no solo (Beckett 1964).

Woodruff (1955), em seu trabalho sobre as energias de substituição de cálcio por potássio, considera que as atividades dos cátions metálicos, em soluções muito diluídas de eletrólito, são iguais, para propósitos práticos, às concentrações; a energia de troca em calorias por equivalente químico a 25°C pode ser computado da relação: $\Delta F = 1364 \log aK/aCa^{1/2}$. O autor verificou que energias de troca para substituição de cálcio com potássio, variando de -3.500 a -4.000 calorias, foram associadas com deficiência de potássio nas plantas. Energias de troca de -2.500 a -3.000 calorias representavam balaceamento adequado entre K e Ca, e energias de -2.000 calorias ou menos foram associadas com excessiva quantidade de potássio em relação às quantidades de Ca presentes. Woodruff indica que as relações entre a nutrição de plantas e a energia de troca parece ser universal em objetivo, e aplicável a todos os solos; o autor considera que 2% de K na CTC pode representar um nível adequado.

Goedert et al. (1975) estudaram a relação quantidade:intensidade (Q/I) na solução de equilíbrio de quatro solos ácidos derivados de basalto do Rio Grande do Sul, para avaliar o efeito da calagem sobre o equilíbrio do potássio. Verificaram, entre outras coisas, que a relação de atividade determinada de $K/(Ca + Mg)^{1/2}$, quando diminui, pode resultar ou de um decréscimo na atividade de K ou de um aumento na atividade de $(Ca + Mg)$. Verificaram, também, que a atividade de K na solução era menor nas amostras que receberam calagem, e a atividade de $Ca + Mg$ era um tanto maior. Goedert et al. indicaram que uma redução na relação de atividade de (AR_{O}^K) tem um efeito crítico sobre o K disponível somente se o K em solução é diminuído abaixo do nível inicial de disponibilidade.

Outros pesquisadores têm tentado demonstrar que as respostas à adubação potássica estão relacionadas às diversas relações, como: K/Ca , Ca/K , $(Ca + Mg)/K$ e Mg/K .

Kalckmann & Frattini (1967), estudando três solos do Rio Grande do Sul a respeito do teor de potássio trocável, e a relação K/Ca , além de outras, concluíram que na região de Erechim, a interpretação da análise de solo deve ser feita de preferência com o valor K/Ca em vez do teor de K_2O no solo; quando o valor K/Ca for superior a 6, somente pequeno efeito da adubação potássica pode ser esperado.

Miranda (1966) verificou que há maior probabilidade de resposta ao potássio quando a a relação Ca/K se torna crescente; num solo de Batatais, onde a relação Ca/K era igual a 34, constatou um grande efeito linear do potássio. Ainda em função da relação Ca/K , Fuzatto & Ferraz (1967), trabalhando com 178 experimentos, constataram que a relação Ca^{++}/K^+ foi responsável por 59% do efeito da adubação, enquanto que não ultrapassou de 23% o número de experimentos cujas respostas pudessem ser esclarecidas pelo teor de K^+ ; concluíram, também, que a relação Ca/K mostrou-se como principal fator para explicar os efeitos provocados pela adubação e que para valores acima de 20, houve aumentos consideráveis na produção, e estes foram tanto maiores quanto mais ampla foi a relação Ca/K , sendo que quando a relação era inferior a 10 as respostas à adubação eram insignificantes ou, freqüentemente, negativas.

Fuzatto et al. (1970) realizaram um estudo de adubação com N-P-K selecionando experimentos de um grupo de 320 ensaios fatoriais NPK 3³, sendo estudado, separadamente, cada elemento. Segundo os autores, o ponto de apoio para a classificação foi a constatação de que as respostas à adubação potássica são tanto maiores quanto menores forem os teores de potássio e maiores as relações Ca/K trocáveis do solo, sendo estabelecidos quatro grupos relacionando K^+ trocável e a relação Ca/K .

Silva et al. (1971), partindo de três grupos de ensaios conduzidos com algodão em Latossolo Roxo e um grupo de experimentos conduzido em solos arenosos, estudaram os valores de K^+ trocável e a relação $(Ca + Mg)/K$, e estabeleceram três grupos de ensaios em Latossolo Roxo e um em solos arenosos:

K₁ - K⁺ entre 0,07 e 0,16 (média 0,09); (Ca + Mg)/K - 33 e 74 (média 50)

K₂ - K⁺ entre 0,16 e 0,26 (média 0,21); (Ca + Mg)/K - 21 e 25 (média 24)

K₃ - K⁺ entre 0,21 e 0,47 (média 0,22); (Ca + Mg)/K - 12 e 21 (média 18)

Solos arenosos: K⁺ entre 0,11 e 0,21; (Ca + Mg)/K 10 e 15

Morais & Rosand (1973), trabalhando em um Latossolo de baixa fertilidade, estudaram a influência das relações Mg/K e Ca + Mg/K sobre o desenvolvimento do cacauzeiro; em relação à massa seca das plântulas de cacau, não encontraram nenhuma influência para a relação Mg/K; entretanto os resultados indicaram um melhor desenvolvimento do cacauzeiro quando as relações Ca + Mg/K se situaram entre 16,5 e 24,5.

Boyer (1974) indica que o potássio deve representar ao menos 2% da capacidade de troca de bases; além disso, chama a atenção para o equilíbrio fundamental entre o K⁺ trocável e as outras bases trocáveis, particularmente as relações Mg/K e (Ca + Mg)/K, que, segundo o autor, infelizmente são bastante variáveis segundo as plantas e os tipos de solo.

Rosolem et al. (1984) conduziram um ensaio em casa de vegetação com o objetivo de estudar a resposta do sorgo sacarino ao Mg na presença e ausência de calagem e de adubação potássica; os resultados obtidos demonstraram que com teores de Mg no solo variando de 0,15 a 0,52 meq/100 cm³ não houve resposta, em termos de produção de colmos, mas quando a relação Mg/K foi menor que 0,6 ou a relação Ca/K menor que 7,4, houve prejuízo na produtividade em função de menores absorções de Mg e Ca, respectivamente; não houve efeito da relação Ca/Mg sobre a produção de sorgo sacarino. Com relação à produção de grãos, os autores encontraram resposta ao Mg apenas em um dos solos na ausência de K.

Das primeiras tentativas para estabelecer as melhores condições de absorção de cátions pelas plantas, podem ser citados os estudos de Bear & Toth (1948), que chegaram à conclusão de que a condição ótima para a nutrição da alfafa com cátions era quando esses cátions estavam nas proporções: Ca⁺⁺ = 65%, Mg⁺⁺ = 10%, K⁺ = 5% e H⁺ = 20%. Nessas condições, o solo foi considerado como ideal. Os autores, ao fazerem esta afirmativa, enfatizaram a importância do Ca por si só; infere-se também, que considerações devem ser dadas às relações entre as quantidades dos vários cátions trocáveis: relações Ca/Mg de 6,5:1, Ca/K de 13:1, Ca/H de 3,25:1 e Mg/K de 2:1.

McLean (1977) estabeleceu a relação de saturação por cátions básicos cujo conceito implica que para um ótimo crescimento para as plantas existe no solo uma melhor relação dos cátions básicos e uma melhor saturação total por bases.

Liebhardt (1981), estudando o conceito proposto por McLean, realizou um experimento fatorial cal-potássio (quatro tratamentos com K e sete com cal) e concluiu que para os solos da Planície Costeira de Delaware, o uso da relação de saturação por cátions básicos deveria ser modificada. Concluiu, ainda, que uma saturação por K de 2-2,5% é suficiente para produção de milho e feijão naquele solo.

Do exposto verifica-se que não há um acordo entre os pesquisadores em suas diferentes formas de abordar o problema de absorção de cátions, em particular o potássio, para as plantas.

Deduz-se, daí, que a composição da solução do solo depende dos cátions trocáveis retidos pelo solo. Assim, é provável que a lei da relação de Schofield possa ser aplicada aos teores de K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ (e, provavelmente, Al⁺⁺⁺) trocáveis, em miliequivalentes por 100 g de solo, para se obter o valor a partir do qual o potássio responde ou não à adubação.

Partindo dessa hipótese, foi realizado o presente trabalho com o objetivo de não só esclarecer os resultados muitas vezes inesperados das adubações potássicas, mas também encontrar um índice que indique a possível resposta à adubação potássica, bem como as quantidades desse elemento que podem ser aplicadas ao solo com certo grau de garantia de retorno do investimento aplicado.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizados resultados de 74 experimentos envolvendo adubação potássica, com ou sem calagem, e respectivas análises dos solos apresentadas nesses ensaios. Dos experimentos de campo e casa de vegetação, interessaram, aos autores, exclusivamente, a informação sobre se houve ou não resposta à adubação potássica, e os resultados analíticos, dos quais foram extraídos, de cada trabalho, os valores de K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ ou (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺).

Com essas informações, que representam respostas de diversas culturas em diferentes solos indicados na Tabela 1, foi calculada, para cada um, a relação $K/(Ca + Mg)^{1/2}$.

Com esses elementos devidamente registrados, resposta ao K⁺ indicada por S (sim) e ausência de resposta indicada por N (não), procedeu-se à análise estatística, a fim de estabelecer correlações entre as respostas à adubação.

Os autores optaram pela relação $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ no lugar da relação $K^+/Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2} + P(Al^{+++})^{1/3}$, proposta por Tinker (1964) para solos ácidos da Nigéria, por considerarem que a prática da calagem é muito importante para os solos brasileiros e que a quantidade de calcário preconizado pelos laboratórios, é, na maioria das vezes, calculada

para neutralizar o Al^{+++} trocável.

O método estatístico utilizado foi a regressão logística (Neter et al. 1985) efetuada através do procedimento CATMOD do Statistical Analysis System (SAS Institute, 1985), que permitiu estimar o intercepto (a) e o parâmetro (b) da fórmula

$$p = \frac{e^{(a + bI)}}{1 + e^{(a + bI)}}$$

Como no presente trabalho têm-se respostas dicotômicas, ou seja, SIM e NÃO, foi assumido que, quando a resposta é NÃO, R é igual a 1 ($R = 1$), e quando a resposta é SIM, R é igual a zero ($R = 0$). A partir daí, procurou-se estabelecer $p = \text{Prob}(R = 0/I)$, onde $I = K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ ou $I = K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})$. Vem, então, que $1 - p = \text{Prob}(R = 1/I)$ e se estabelece o modelo $Im = \left(\frac{p}{1-p}\right) = a + bI$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, foi possível estimar os parâmetros da função logística. Assim, para a relação $K/(Ca + Mg)^{1/2}$, encontrou-se $a = 4,13234$ e $b = -31,8791$, altamente significativos, e para a relação $K/(Ca + Mg)$, $a = 0,690722$ e $b = -7,8942$ não-significativos.

Como o interesse é saber a partir de que ponto o solo passa a responder à adubação potássica, foi considerada a probabilidade de 50%, uma vez que a variável estudada é dicotômica, ou seja, resposta (SIM) ou não resposta (NÃO) ao potássio. Baseando-se nesse fato, procurou-se estimar o valor de I, onde $p = \text{Prob}(R = 0/I)$. Como $p = 0,50$ e $1 - p =$

TABELA 1. Solos, resultados analíticos, culturas, respostas à adubação potássica e respectivos autores.

Autor(es)	Solo*	Cultura	K^+ meq/100 g	$Ca^{++} + Mg^{++}$ meq/100 g	$K/(Ca + Mg)^{1/2}$	Resposta
Nicolaides et al. (1983)	PV	Amendoim	0,12	1,60	0,10	S
Kalckmann & Frattini (1967)	LR	Trigo	0,04	0,50	0,06	S
Kalckmann & Frattini (1967)	LR	Trigo	0,12	2,20	0,08	N
Kalckmann & Frattini (1967)	BV	Trigo	0,40	3,50	0,21	N
Drake & Stewart (1950)		Alfafa	0,39	1,54	0,31	N
Book et al. (s.d.)		Batata	0,33	5,02	0,15	N
Castro (1959)	PV	Aveia e arroz	0,23	3,63	0,12	N
Castro (1959)	PL	Aveia e arroz	0,08	2,86	0,05	S
Castro (1959)	HGP	Aveia e arroz	0,54	9,80	0,17	S
Castro (1959)	PV-HGP	Aveia e arroz	0,15	6,48	0,06	S
Castro (1959)	HG	Aveia e arroz	0,21	14,60	0,06	S
Castro (1962)	LE	Arroz	0,31	1,16	0,29	N
Castro (1962)	LE	Arroz	0,54	11,29	0,14	N
Castro (1962)	LE	Arroz	0,10	0,59	0,13	S
Pinto Neto et al. (1962)	V	Cana	0,54	44,5	0,08	S
Mascarenhas et al. (1967)	HG	Feijão	0,49	5,39	0,21	N
Miyasaka et al. (1967)	LR	Feijão	0,18	3,30	0,10	N
Miyasaka et al. (1967)	LR	Feijão	0,21	2,89	0,12	N
Miyasaka et al. (1967)	LR-LEm	Feijão	0,27	2,34	0,18	S
Miyasaka et al. (1967)	LR-LEm	Feijão	0,10	1,97	0,07	N
Miyasaka et al. (1967)	LR	Feijão	0,12	1,33	0,10	N
Miyasaka et al. (1967)	BV	Feijão	1,24	14,50	0,32	N
Miyasaka et al. (1967)	LR	Feijão	0,30	5,30	0,13	N
Miyasaka et al. (1967)	LR	Feijão	0,45	4,90	0,20	N
Silva & Freire (1968)	TR	Mandioca	0,22	7,80	0,08	S
Mascarenhas et al. (1968)	LR	Soja	0,05	0,55	0,07	S
Teófilo Sobrinho et al. (1968)	PV	Tomate	0,20	1,90	0,14	S

TABELA 1. Continuação.

Autor(es)	Solo*	Cultura	K ⁺ meq/100 g	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ meq/100 g	K/(Ca + Mg) ^{1/2}	Resposta
Mascarenhas et al. (1969)	LR	Soja	0,08	3,05	0,04	S
França & Carvalho (1970)	LV	Leguminosas	1,00	1,31	0,38	N
Mascarenhas et al. (1970)	PV	Soja	0,57	8,15	0,20	N
Britto et al. (1971)	LV	Milho	0,04	1,54	0,03	S
Camargo (1972a)	LR	Trigo	0,22	4,40	0,10	N
Camargo (1972a)	LR	Trigo	0,32	4,00	0,16	N
Camargo (1972b)	LE	Trigo	0,15	2,10	0,10	S
Camargo (1972b)	LE	Trigo	0,10	1,20	0,09	S
Camargo & Rocha (1972)	Várzea?	Trigo	0,18	3,00	0,10	S
Camargo & Rocha (1972)	Várzea ?	Trigo	0,35	2,60	0,22	N
Ejra et al. (1972)	PV	Milho	0,15	0,35	0,25	N
Souza et al. (1974)	—	Algodão	0,45	4,70	0,21	N
Souza et al. (1974)	—	Algodão	0,39	4,10	0,19	N
Souza et al. (1974)	—	Algodão	0,47	5,50	0,20	N
Souza et al. (1974)	—	Algodão	0,40	9,40	0,13	N
Souza et al. (1974)	—	Algodão	0,54	8,90	0,12	N
Souza et al. (1974)	—	Algodão	0,42	5,90	0,17	N
Muzilli et al. (1976)	—	Trigo	0,69	9,70	0,22	N
Muzilli et al. (1976)	—	Trigo	0,93	10,40	0,29	N
Muzilli et al. (1976)	—	Trigo	0,46	4,00	0,24	N
Muzilli et al. (1976)	—	Trigo	0,24	3,00	0,14	N
Muzilli et al. (1976)	—	Trigo	0,22	3,20	0,12	N
Muzilli et al. (1976)	—	Trigo	0,50	6,40	0,20	N
Muzilli et al. (1976)	—	Trigo	0,23	5,10	0,10	N
Muzilli et al. (1976)	—	Trigo	0,33	6,30	0,13	S
Camargo (1976)	LR	Trigo	0,13	2,60	0,08	S
Camargo (1976)	LR	Trigo	0,22	4,40	0,10	S
Souza et al. (1976)	LE	Girassol	0,40	3,60	0,21	N
Lovadini et al. (1977)	LV	Siratro	0,24	1,00	0,24	N
Ritchey et al. (1979)	LE	Milho	0,06	3,40	0,10	S
Nogueira et al. (1980)	PV	Fumo	0,15	2,60	0,09	S
Patella (1980)	PV	Trigo	0,38	2,90	0,22	N
Matos et al. (1981)	LV	Arroz	0,10	2,10	0,07	S
Matos et al. (1981)	TR	Arroz	0,07	0,60	0,09	S
Matos et al. (1981)	PV	Arroz	0,17	8,20	0,06	S
Sanzonowicz & Jaster (1981)	LE	Capim-pangola	0,11	1,7	0,08	S
Gomes & Ezeta (1982)	PV	Mandioca	0,11	3,4	0,06	S
Gomes & Ezeta (1982)	AQ	Mandioca	0,06	2,2	0,04	S
Salcedo et al. (1982)	PV	Milheto	0,01	0,46	0,01	S
Santos et al. (1982)	LV	Soja	0,12	0,90	0,13	S
Santos et al. (1982)	LR	Soja	0,08	0,50	0,11	S
Santos et al. (1982)	LEm	Soja	0,08	0,80	0,09	S
Santos et al. (1982)	LE	Soja	0,08	0,60	0,08	S

TABELA 1. Continuação.

Autor(es)	Solo*	Cultura	K ⁺ meq/100 g	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ meq/100 g	K/(Ca + Mg) ^{1/2}	Resposta
Bertoni et al. (1983)	LR	Milho	0,11	3,80	0,06	S
Chagas et al. (1983)	LE	Feijão	0,03	0,10	0,09	S
Lucero et al. (1983)	-	Batata	0,80	16,00	0,20	S
Rosolem et al. (1984)	LE	Soja	0,16	1,30	0,14	S

* Classificação adaptada, quando possível, à usada pelo SNLCS.

Obs.: 1. Significado dos símbolos: AQ = Areias Quartzosas; BV = Brunizem Avermelhado; HG = Glei Húmico; HGP = Glei Pouco Húmico; LE = Latossolo Vermelho-Escuro; LR = Latossolo Roxo; LV = Latossolo Vermelho-Amarelo; LR-LEM = Latossolo Roxo intermediário para Latossolo Vermelho-Escuro textura média; PL = Planossolo; PV = Podzólico Vermelho-Amarelo; PV-HGP = Podzólico Vermelho-Amarelo intermediário para Glei Pouco Húmico; TR = Terra Roxa; V = Vertissolo.

Obs. 2. Alguns trabalhos apresentaram os dados de K⁺, Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ expressos em meq/100 cm³; como não havia indicação das densidades aparentes dos solos, considerou-se todos os dados expressos em meq/100 g.

Prob (R = 1/I), chega-se ao modelo $\ln = \left(\frac{P}{1-P}\right)$
= a + bI. Substituindo-se p no modelo, tem-se:

$$\ln = \left(\frac{0,5}{1-0,5}\right) = a + bI. \text{ Logo, } \ln(1) = a + bI$$

e então $0 = a + bI$ e, portanto, $I = \frac{-a}{b}$.

Usando-se a fórmula acima, foi encontrado o índice 0,13 para a relação $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$, única que apresentou significância para os parâmetros da função logística. Por isso, é sugerido que esta relação seja utilizada para avaliação das respostas ao potássio.

Para os solos considerados neste trabalho, o ponto a partir do qual espera-se que não haja resposta ao potássio é 0,13.

Para melhor avaliação deste resultado, é apresentada a Fig. 1 da função logística, onde pode ser confirmado que, para uma probabilidade de 0,5, o ponto que começa a não ter resposta ao potássio corresponde a 0,13. Observando-se a figura, pode-se constatar que, quanto mais próximo se chegar a uma reta paralela ao eixo das abscissas, melhor é o modelo ajustado, uma vez que se trata de uma variável 0 - 1. Portanto, têm-se apenas respostas positivas ou negativas e, a partir do momento em que se atinge o ponto de não-resposta, teoricamente, espera-se que não haja resposta ao potássio.

A Tabela 2 permite observar que, à medida que os índices crescem, as probabilidades de resposta ao potássio diminuem, e aumentam as probabilidades de não-resposta. Nota-se, ainda, que, quando o índice alcança 0,12, as respostas e não-respostas têm, praticamente, a mesma probabilidade de ocorrer.

Ainda da Fig. 1 e da Tabela 2, podemos observar que os índices a partir de 0,19 são os que apresentam as menores probabilidades de resposta à adubação potássica, ou seja, a probabilidade de não-resposta é de 88% para cima. Para efeitos práticos, pode-se considerar o índice 0,2.

A Tabela 1 mostra que vários dados são discrepantes em relação ao índice 0,2, isto é, respostas ao potássio quando a relação $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$

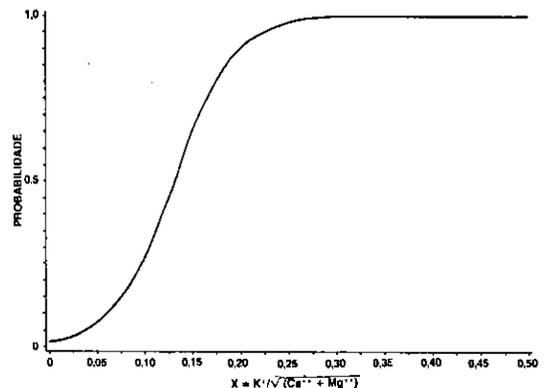


FIG. 1. Avaliação da resposta experimental à relação $K^+/\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})}$

TABELA 2. Índices e probabilidades de resposta e não resposta à adubação potássica a partir da relação K/(Ca + Mg)^{1/2}.

Índice	Probabilidade		Índice	Probabilidade	
	Resp.	Não resp.		Resp.	Não resp.
0,01474	0,975	0,025	0,10392	0,694	0,306
0,03223	0,957	0,043	0,10405	0,693	0,307
0,03254	0,957	0,043	0,10488	0,688	0,312
0,04045	0,945	0,055	0,11314	0,628	0,372
0,04581	0,935	0,065	0,12072	0,570	0,429
0,04730	0,932	0,068	0,12298	0,553	0,447
0,05496	0,915	0,085	0,12353	0,548	0,452
0,05643	0,912	0,088	0,12649	0,525	0,475
0,05656	0,911	0,089	0,13019	0,496	0,504
0,05892	0,905	0,095	0,13031	0,494	0,505
0,05937	0,904	0,096	0,13046	0,493	0,507
0,05966	0,903	0,097	0,13148	0,485	0,515
0,06742	0,879	0,121	0,13856	0,429	0,571
0,06901	0,874	0,126	0,13987	0,419	0,581
0,07125	0,865	0,134	0,14033	0,416	0,584
0,08080	0,825	0,175	0,14509	0,379	0,621
0,08095	0,825	0,175	0,14729	0,363	0,637
0,08205	0,820	0,180	0,16000	0,275	0,725
0,08437	0,809	0,191	0,17250	0,203	0,797
0,08944	0,783	0,217	0,17291	0,201	0,799
0,09037	0,778	0,222	0,17650	0,183	0,817
0,09129	0,772	0,228	0,18101	0,163	0,837
0,09303	0,762	0,237	0,19261	0,118	0,882
0,09487	0,752	0,248	0,19764	0,103	0,897
0,09536	0,749	0,251	0,19966	0,097	0,903
0,09717	0,738	0,262	0,20000	0,096	0,904
0,09909	0,726	0,274	0,20041	0,095	0,905
0,10184	0,708	0,292	0,20329	0,087	0,913
0,10328	0,698	0,302	0,20757	0,077	0,923
0,10351	0,697	0,303	0,21082	0,070	0,930
0,21106	0,069	0,931	0,24000	0,029	0,971
0,21381	0,064	0,936	0,25355	0,019	0,981
0,21706	0,058	0,942	0,28783	0,006	0,994
0,22154	0,051	0,949	0,28838	0,006	0,994
0,22314	0,048	0,952	0,31427	0,003	0,997
0,23000	0,039	0,961	0,32564	0,002	0,998

é igual ou maior que 0,2, e falta de resposta quando a relação é menor, às vezes bem menor que 0,2. Essas exceções podem, tentativamente, ser explicadas pelo fato de a maioria dos experimentos de NPK serem realizados com calagem, e as dosagens de K₂O utilizadas não levarem em conta o aumento do cálcio no solo; outra explicação pode ser em função do poder de suprimento de potássio de alguns solos que apresentam um baixo teor de K⁺ trocável mas têm uma

reserva de K que se torna trocável rapidamente, como é o caso relatado por Gomes & Ezeta (1982), que trabalharam com um Cambissolo Húmico Distrófico.

É possível que muitos casos detectados de supercalagem sejam decorrentes da carência de K⁺ por efeito do cálcio aplicado ao solo, do mesmo modo que o consumo de luxo de potássio pode ser induzido pela deficiência de Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺, quando o nível de K⁺ trocável é satisfatório.

CONCLUSÕES

1. Aplicando a relação de Schofield, que governa as relações de equilíbrio nas soluções do solo, nos componentes que estão adsorvidos no solo, particularmente K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} , chegou-se ao índice 0,20 para a relação $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ como limite superior a partir do qual nenhuma resposta ao potássio pode ser esperada, e que o índice 0,13 marca o limite a partir do qual as adubações potássicas vão apresentando respostas progressivamente menores e, portanto, antieconômicas.

2. Os teores de K^+ trocável, isoladamente, não dão uma informação correta das necessidades de adubação potássica; é necessário considerar o poder de suprimento de potássio dos solos, a calagem a ser aplicada, e a relação $K^+/(Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$, a fim de se conseguir resultados satisfatórios da adubação ou mesmo evitá-la, conforme os resultados analíticos disponíveis.

3. Na programação dos experimentos em que o potássio é envolvido, devem ser ajustadas as doses desse elemento, levando em conta os teores de Ca^{++} e Mg^{++} , bem como o aumento desse elemento quando é realizada a calagem.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, F. Soil solution. In: CARSON, E.W., ed. **The plant root and its environment**. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. Cap. 15, p.441-81.
- BEAR, F.E. & TOTH, S.J. Influence of calcium on availability of other soil cations. **Soil Sci.**, 65:69-74, 1948.
- BECKETT, P.H.T. Studies on soil potassium. I. Confirmation of the ratio law: measurement of potassium potential. **J. Soil Sci.**, 15(1):1-8, 1964.
- BERTON, R.S.; GERALDI, R.N.; VAN RAIJ, B. Resíduos da indústria alcooleira como fontes de potássio em experimento de casa de vegetação. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 7(1):61-4, 1983.
- BOOCK, O.J.; KUPPER, A.; SALES, J.M. Adubação mineral para a batatinha (*Solanum tuberosum* L.); influência dos elementos N, P e K em solos ricos em matéria orgânica do Vale do Paraíba. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., Recife, PE, 1951. **Anais** . . . Rio de Janeiro, SBCS, s.d. v. 1, p.461-72.
- BOYER, J. Comportment du potassium dans les sols tropicaux cultivés. In: COLLOQUE DE L'INSTITUT INTERNATIONAL DE LA POTASSE, 10., Abidjan, 1973. **Le potassium dans les cultures et les sols tropicaux**. Bern, Institut International de la Potasse, 1974. p.83-102.
- BRITTO, D.P.P. de S.; CASTRO, A.F. de; NERY, C.; COSTA, F.A. Ensaios de adubação de milho em Latossolo Vermelho-Amarelo sob vegetação de cerrado. **Pesq. agropec. bras. Sér. Agron.**, 6:203-7, 1971.
- CAMARGO, C.E. de O. Adubação do trigo. I. Experiências com N, P, K e S em Latossolo Roxo do Vale Paranapanema. **Bragantia**, Campinas, 31(26):315-24, 1972a.
- CAMARGO, C.E. de O. Adubação do trigo. II. Experiências com N, P, K e S em Latossolo Vermelho-Escuro orto, na região sul do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, 31(27):324-35, 1972b.
- CAMARGO, C.E. de O. Adubação do trigo. IX. Interpretação econômica dos resultados obtidos em experimentos com N, P, K e S em Latossolo Roxo no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, 35(9):95-106, 1976.
- CAMARGO, C.E. de O. & ROCHA, T.R. Adubação do trigo. IV. Experiências com N, P, K e S em solos de várzeas no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, 31(29):349-61, 1972.
- CASTRO, A.F. de. **Características analíticas e de fertilidade do solo Latosol Vermelho-Escuro, sob vegetação de floresta e de cerrado**. Rio de Janeiro, Escola Nacional de Agronomia, 1962. Tese.
- CASTRO, A.F. de. Ensaios de diagnose de fertilidade das séries de solos da Baixada de Sepetiba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 5., Pelotas, RS, 1955. **Anais** . . . Rio de Janeiro, SBCS, 1959. p.147-66.
- CHAGAS, J.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; VIEIRA, C. Efeitos da Leucena e da adubação NPK sobre a cultura do feijão no cerrado. **R. Ceres**, Viçosa, 30(172):481-5, 1983.
- DRAKE, M. & STEWART, E.H. Alfalfa fertility investigations in South Carolina. **Soil Sci.**, 69:459-69, 1950.
- EIRA, P.A. da; RUSCHEL, A.P.; BRITTO, D.P.P. de S.; MILLER, S.F.; BAUWIN, G.R. Estudo da fertilidade de um solo de campo cerrado. **Pesq. agropec. bras. Sér. Agron.**, 7:119-22, 1972.
- FRANÇA, G.E. de & CARVALHO, M.M. de. Ensaio exploratório de fertilidade de cinco leguminosas tropicais em um solo de cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, 5:147-53, 1970.
- FUZATTO, M.G. & FERRAZ, C.A.M. Correlação entre o efeito da adubação potássica no algodoeiro e a análise química do solo. **Bragantia**, Campinas, 26(26):345-52, 1967.
- FUZATTO, M.G.; VENTURINI, W.R.; CAVALERI, P.A. **Estudo técnico-econômico da adubação do algodoeiro no Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico, 1970. 15p. (Projeto BNDE/ANDA/CIA, 1)
- GOEDERT, W.J.; COREY, R.B.; DYERS, J.K. Lime effects on potassium equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. **Soil Sci.**, 120(2):107-11, 1975.
- GOMES, J. de C. & EZETA, F.N. Nutrição e adubação potássica da mandioca no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. **Anais** . . . Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.487-506.

- KALCKMANN, R.E. & FRATTINI, C.T.A. Contribuição à interpretação das análises de potássio em solos do Rio Grande do Sul. *Pesq. agropec. bras.*, 2:263-7, 1967.
- LIEBHARDT, W.C. The basic cation saturation ratio concept and lime and potassium recommendations on Delaware's Coastal Plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45(3):544-9, 1981.
- LOVADINI, L.A.C.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. Efeitos de calagem e adubação mineral de Siratro cultivado em solo de cerrado. *Bragantia*, Campinas, 36(16):173-8, 1977.
- LUCERO, J.C.; SILENZI, J.C.; VERDOLJAK, M.; ANDREOLI, C. Fertilización potásica de papa (*Solanum tuberosum* L.) en cultivo bajo riego. *Turrialba*, Costa Rica, 33(1):17-23, 1983.
- MCLEAN, E.O. Contrasting concept in soil test interpretation: Sufficiency levels of available nutrients versus basic cation saturation ratios. In: STELLY, M. **Soil test correlating and interpreting the analytical results**. Madison, Wisconsin, Am. Soc. Agron., 1977. p.39-54.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T.; FREIRE, E.S. Adubação da soja. VII. Efeito de doses crescentes de calcário, fósforo e potássio em solo Latossolo Roxo com vegetação de cerrado recém-desbravado. *Bragantia*, Campinas, 27(25):279-89, 1968.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T.; FREIRE, E.S. Adubação da soja. VIII. Efeito de doses crescentes de calcário, fósforo e potássio em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, variação Piracicaba. *Bragantia*, Campinas, 29(8):81-9, 1970.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S.; IGUE, T. Respostas do feijoeiro à adubação com N, P e K em solo orgânico de Ribeirão Preto. *Bragantia*, Campinas, 26(único): V-VIII, 1967. (Nota, 2).
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T.; FREIRE, E.S.; SORDI, G. de. Respostas da soja à calagem e a adubações minerais com fósforo e potássio em solo Latossolo Roxo. *Bragantia*, Campinas, 28(único):XVII-XXI, 1969. (Nota, 4)
- MATOS, A. de O.; AMARAL, F. de A.L. do; CONDÉ, A.R.; GALVÃO, J.D. Avaliação da fertilidade de três solos de Altamira, Pará, pela técnica do elemento faltante. *R. Ceres*, Viçosa, 28(158):351-6, 1981.
- MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. 4 ed. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1982. 80p. (Boletim Técnico, 2)
- MIRANDA, L.T. de. Resultados de experimentos de adubação e sugestões para a interpretação baseada na análise química do solo. In: KRUG, C.A. et al. **Cultura e adubação do milho**. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa, 1966. Cap. 15, p.451-72.
- MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; IGUE, T.; PARANHOS, S.B. Adubação mineral do feijoeiro. X. Efeitos de N, P, K e S e de uma mistura de micronutrientes, em Terra-Roxa-Legítima e Terra-Roxa-Misturada. *Bragantia*, Campinas, 26(21):287-302, 1967.
- MORAIS, F.I. de O. & ROSAND, F.P.C. Efeitos dos equilíbrios entre cálcio, magnésio e potássio no crescimento do cacauzeiro. *R. Theobroma*, 3:21-32, 1973.
- MUZILLI, O.; ALCOVER, M.; IGUE, T.; VAN RAIJ, B. Respostas do trigo a nitrogênio, fósforo e potássio em solos do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. *Anais*. . . Campinas, SBCS, 1976. p.239-43.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M.H. **Applied linear statistical models**: regression, analysis of variance and experimental designs. 2. ed. s.l., Richard D. Irwin Inc. 1985. Cap. 10. p.328-76.
- NICHOLAIDES, J.J.; BRANDY, D.E.; PIHA, M.I. Overcoming potassium limitations. In: AGRONOMIC - economic research on soils of the tropics 1980-1981 technical report. Raleigh, North Carolina University, 1983. p.22-7.
- NOGUEIRA, F.D.; NOVAIS, R.F. de; BEGAZO, J.C.E.O. Adubação NPK do tabaco (*Nicotiana tabacum*) num solo da Zona da Mata, Minas Gerais. I. Componentes da produção. *R. Ceres*, Viçosa, 27(149):56-65, 1980.
- PATELLA, J.F. Influência de quinze anos de adubação NPK sobre o rendimento do trigo e algumas propriedades químicas do solo. *R. bras., Ci. Solo*, Campinas, 4(1):31-5, 1980.
- PINTO NETO, J.F. da C.; SAMPAIO, J. de V.; SOUZA, R.F.; MARQUES, E.S. Experimento de adubação de cana no Recôncavo da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., Salvador, BA, 1957. *Anais*. . . Rio de Janeiro, SBCS, 1962. p.112-5.
- RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Potássio em solo e cerrado. I. Resposta à adubação potássica. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 3(1):29-32, 1979.
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 19(12):1443-8, 1984.
- SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ANDRADE, A. Fontes de fósforo e potássio na fertilização de milho em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 6(3):215-9, 1982.
- SANTOS, P.R.R.S.; NOVAIS, R.F. de; FRANÇA, G.E.; FREIRE, F.M.; SANTOS, H.L. Efeitos da calagem e da adubação fosfatada e potássica sobre a produção de soja no Triângulo e no Alto Paranaíba, Minas Gerais. *R. Ceres*, 29(165):459-70, 1982.
- SANZONOWICZ, C. & JASTER, F. Níveis de NPK em capim-Pangola em solo de campo nativo do Paraná. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 16(2):159-63, 1981.
- SAS INSTITUTE, Cary, EUA. **SAS user's guide**: statistics version. 5 ed. Cary, NC, SAS Institute, 1985. p.171-253.
- SCHOFIELD, R.K. A ratio law governing the equilibrium

- of cations in solution. Proc. 11th. Int. Congr. Pure Appl. Chem. (London), 3:257-61, 1947.
- SILVA, J.R. da & FREIRE, E.S. Efeito de doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio sobre a produção de mandioca em solos de baixa e alta fertilidade. *Bragantia*, Campinas, 27(29):357-64, 1968.
- SILVA, N.M. da; FUZATTO, M.G.; FERRAZ, C.A.M.; GRIDI-PAPP, I.L.; CIA, E.; IGUE, T.; CAVALERI, P.A. *Estudo técnico-econômico de recentes experimentos de adubação do algodoeiro*. Campinas, Instituto Agronômico, 1971. 11p. (Projeto BNDE/ANDA/CIA, 7).
- SOUZA, E.A.; KURAMOTO, N.; FERREIRA, M.E. Adubação NPK do girassol em Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, SP, 1975. *Anais*. . . Campinas, SBCS, 1976. P.181-3.
- SOUZA, L. da S.; SOBRAL, L.F.; ALVES, E.J. Efeitos de N, P, K e S e micronutrientes na produção algodoeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., Santa Maria, RS. *Anais*. . . Santa Maria, SBCS, 1974. p.429-38.
- TEÓFILO SOBRINHO, J.; ALOISI SOBRINHO, J.; IGUE, T.; MENDOÇA, N.T. Efeito de N, P e K na produção do tomateiro rasteiro em Pindorama. *Bragantia*, Campinas, 27:XLVII-L, 1968. (Nota, 12)
- TINKER, P.B. Studies on soil potassium. IV. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertilizer of Nigerian oil palms. *J. Soil Sci.*, 15(1):35-41, 1964.
- WOODRUFF, C.M. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 19(2):167-71, 1955.