

Probabilidade de resposta da cana-de-açúcar à adubação potássica em razão da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ do solo⁽¹⁾

Roberto dos Anjos Reis Junior⁽²⁾

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a probabilidade de resposta da produção de cana-de-açúcar à adubação potássica, em razão da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo. Foram compilados dados de 106 experimentos de adubação potássica na cana-de-açúcar. Em cada experimento foi registrado o ciclo de cultivo (cana-planta ou cana-soca), os teores de K, Ca e Mg do solo antes da adubação potássica, a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$, e se houve, ou não, resposta estatisticamente significativa da produção à adubação potássica. Foi utilizado o método estatístico de regressão logística, efetuado pelo procedimento CATMOD do Statistical Analysis System. A característica ciclo de cultivo foi eliminada do modelo, pois esta se apresentou como não-significativa no ajuste estatístico. A relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ do solo influenciou a probabilidade de resposta da produção de cana-de-açúcar à adubação potássica. À medida que a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ aumentou, a probabilidade de resposta da produção de cana-de-açúcar à adubação potássica diminuiu. A relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo foi classificada em baixa (<0,2547), média (0,2547 a 0,3349) e alta (>0,3349). A relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo deve ser usada como mais um critério para orientar a adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar.

Termos para indexação: *Saccharum officinarum*, nutrientes minerais, absorção de nutrientes, rendimento.

Probability of sugarcane response to potassium fertilizer as a function of soil $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ ratio

Abstract – This study was carried out to evaluate the effect of soil $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ ratio on sugarcane yield response probability to potassium fertilizer. Results of 106 experiments of potassium fertilizer on sugarcane and their soil exchangeable K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} were studied, evaluating the $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ ratio in each experiment. The statistical method of logistic regression was used, carried out through CATMOD procedure of Statistical Analysis System. There was no difference of behavior of this ratio between plant cane and ratoons; therefore this characteristic was not significant during the adjustment of the statistical model. Soil $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ ratio affected sugarcane yield response likelihood. The increase of $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ ratio decreased the yield response probability. The $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ ratio was classified as low (<0.2547), medium (0.2547 to 0.3349) and high (>0.3349). The soil $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ ratio should be used as another criterion to guide the potassium fertilizer recommendation to sugarcane crops.

Index terms: *Saccharum officinarum*, mineral nutrients, nutrient uptake, yields.

Introdução

O Brasil colhe mais de 320 milhões de toneladas de cana-de-açúcar em quase cinco milhões de hectares, produzindo mais de 12 bilhões de litros de álcool e 13 milhões de toneladas de açúcar (Agriannual

98, 1998). Para a obtenção de altas produtividades na cultura da cana-de-açúcar, todas as tecnologias disponíveis e relativas à condução da cultura têm de ser empregadas (Orlando Filho et al., 1996). Dentre estas tecnologias, a adubação assume papel de alta importância para o aumento de produtividade da cana-de-açúcar, representando até 30% dos seus custos de produção (Zambello Júnior et al., 1981b). Assim, a análise do solo passou a ser usada com bastante intensidade pelos produtores, com o fim de estabelecer as recomendações econômicas e eficientes de fertilizantes (Orlando Filho et al., 1996).

⁽¹⁾Aceito para publicação em 25 de setembro de 2000.

Trabalho apresentado no FertBIO98, Caxambu, MG, 1998.

⁽²⁾Fundação Chapadão, Caixa Postal 39, CEP 79560-000 Chapadão do Sul, MS. E-mail: reisjr@hotmail.com

O K se destaca dentre os nutrientes usados na adubação da cana-de-açúcar, pois este é o nutriente exportado em maior quantidade por essa cultura, além de influenciar sua qualidade. Um princípio normalmente usado para orientar a recomendação de adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar é a avaliação da disponibilidade desse nutriente no solo. Normalmente, são determinados os teores considerados trocáveis no solo, e as interpretações dessas análises são baseadas em faixas de fertilidade, admitindo-se valores mínimos críticos, abaixo dos quais o desenvolvimento vegetal é limitado (Orlando Filho et al., 1996). Entretanto, Castro & Meneghelli (1989) constataram que alguns solos com baixos teores de K^+ trocável não respondem à adubação potássica, enquanto outros, com teores de K^+ considerados satisfatórios, respondem à aplicação de adubo potássico. Esse critério tradicionalmente usado não é totalmente satisfatório e diversos autores tentaram melhorá-lo com a introdução da relação entre K, Ca e Mg no solo (Prezzotti & Defelipo, 1987). Assim, deverão ser estudadas técnicas que permitam calibrar a recomendação de adubação potássica na cana-de-açúcar que possibilitem o uso racional de adubos, e, conseqüentemente, a redução de custos de produção e perdas de fertilizantes nessa cultura.

A interação entre K, Ca e Mg ocorre tanto nas plantas quanto no solo, e é objeto de vários estudos (Reis Júnior, 1995). Íons cujas propriedades químicas são similares competem por sítios de adsorção, absorção e transporte na superfície radicular, o que normalmente ocorre entre K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (Fageria et al., 1991). Devido à dinâmica das reações de troca iônica nos solos, é importante considerar as interações entre K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , pois o excesso de um poderá prejudicar os processos de adsorção do outro e, conseqüentemente, influir diretamente nos processos de absorção pelas plantas (Orlando Filho et al., 1996).

A interação entre K, Ca e Mg pode ocorrer freqüentemente em culturas cultivadas em solos pobres em Mg ou em culturas que requerem grandes quantidades de K para uma alta produção e boa qualidade dos produtos agrícolas; interações significativas do Ca com K podem ocorrer quando um solo é deficiente em um ou ambos nutrientes (Usherwood, 1982).

A relação entre K, Ca e Mg afeta os teores de K na solução do solo (Raij, 1982), influenciando sua absorção pela planta. Quando o suprimento de K^+ é abundante, ocorre muitas vezes o consumo de luxo, merecendo atenção pelo efeito sobre a composição mineral da planta e pela sua possível interferência na absorção e disponibilidade fisiológica de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Marschner, 1995).

Rosolem et al. (1984) constataram a importância da relação entre teores de K, Ca e Mg no solo sobre a resposta da produção de sorgo sacarino à adubação potássica. Por meio de revisão de literatura, constatou-se que a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo, em ensaios de adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar, foi menor naqueles que apresentaram aumento estatisticamente significativo de produção. Talvez a relação entre estes três nutrientes possa explicar o fato de que alguns solos com teores médios de K respondem à adubação potássica, enquanto outros não.

Castro & Meneghelli (1989) utilizaram nova metodologia para avaliar a probabilidade de resposta da produção de culturas em razão da relação entre K, Ca e Mg, estabelecendo um índice da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo que indique a possível resposta à adubação potássica. Mas estes autores utilizaram informações de experimentos de adubação potássica realizados em diversas culturas e em diferentes países. Portanto, para garantir maior confiança em um índice da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo, que indique a probabilidade de resposta da produção de cana-de-açúcar à adubação potássica, é necessário que tal índice seja estabelecido com experimentos realizados nesta cultura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a probabilidade de resposta da produção de cana-de-açúcar à adubação potássica em razão da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo e estabelecer índices que avaliem esta relação e indiquem a probabilidade de resposta à adubação potássica na cana-de-açúcar.

Material e Métodos

Foram utilizados resultados de 106 ensaios com adubação potássica na cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca, variedades CB41-76, CB45-3, CB47-89, CB49-260, CB47-355, CB46-47, CB38-22, SP71-1078, SP71-1406

e SP71-6163) e respectivas análises de solos obtidos na literatura (Tabela 1). Destes experimentos foram avaliados os teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo antes da instalação dos ensaios e se houve ou não resposta da produção à adubação potássica (aumento estatisticamente significativo de produção de cana-de-açúcar pelo teste F a 5% de probabilidade). A partir dos teores de K, Ca e Mg no solo (em $mmol_c\ dm^{-3}$), foi calculada a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ para todos os experimentos. Após ter sido relacionada a presença ou ausência de resposta da produção à adubação potássica na cana-de-açúcar, indicadas por S (sim) ou N (não), respectivamente, com as respectivas relações $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ em todos os experimentos, foi realizada análise estatística com o objetivo de estabelecer correlações entre respostas à adubação potássica e as relações $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo.

O método estatístico utilizado foi a regressão logística (Neter et al., 1985) realizada pelo procedimento CATMOD do Statistical Analysis System (SAS Institute, 1985), o que permitiu estimar o intercepto (a) e os parâmetros (b) e (c) da fórmula:

$$p = 1 - \frac{e^{(a+bX+cY)}}{1 + e^{(a+bX+cY)}}$$

onde: p é a probabilidade de resposta à adubação potássica; a é o intercepto da equação; b e c são parâmetros da equação; X é a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo; Y é o ciclo de cultivo (cana-planta = -1; cana-soca = +1).

Como no presente trabalho se têm respostas dicotômicas, ou seja, SIM e NÃO, foi assumido que, quando a resposta (R) é NÃO, R é igual a um ($R = 1$), e quando a resposta é SIM, R é igual a zero ($R = 0$). A partir daí, procurou-se estabelecer $p = \text{Prob} (R = 0/X)$, onde X é a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo; logo, $1 - p = \text{prob} (R = 1/X)$, e se estabelece o modelo $\ln [p/(1-p)] = a + bX + cY$, conforme metodologia descrita por Castro & Meneghelli (1989).

Foi ajustada uma equação do terceiro grau entre probabilidade de resposta à adubação potássica e relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo, utilizando-se a relação entre K, Ca e Mg como variável independente. Para definir a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo a partir da qual as probabilidades de resposta à adubação potássica tornam-se cada vez menores, determinou-se o ponto de inflexão do modelo ajustado entre probabilidade de resposta à adubação potássica e relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo, no qual ocorre a máxima declividade do modelo ajustado.

A razão $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo foi classificada nas classes baixa, média e alta. Foram consideradas como baixas as razões que estiveram associadas à probabilidade de resposta superior a 60%, enquanto as razões associadas à probabilidade de resposta entre 40 e 60% foram conside-

radas como médias, e as razões associadas à probabilidade de resposta inferior a 40% foram consideradas como altas.

Foram determinadas as frequências de experimentos com resposta de produção em função da adubação potássica, e realizados em solos que apresentaram teores baixos, médios e altos de K, segundo a classificação proposta pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1989), e relações $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ baixas, médias e altas segundo classificação descrita acima.

Resultados e Discussão

Com os dados da Tabela 1 foi possível estimar os parâmetros da função logística. Verificou-se que não houve diferença de comportamento desta relação entre cana-planta e cana-soca, pois esta característica apresentou-se como não-significativa no ajuste do modelo. Desta forma, a variável ciclo de cultivo foi eliminada do modelo, e nova análise estatística foi realizada para determinação do intercepto a e do parâmetro b. Assim, para a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$, determinou-se $a = -3,3125$, e $b = 11,4363$, significativos a 1% de probabilidade.

A Figura 1 ilustra o comportamento da probabilidade de resposta da cana-de-açúcar à adubação potássica. À medida que a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo aumenta, a probabilidade de resposta à adubação potássica diminui. No modelo ajustado, o ponto de inflexão indica o momento de maior declividade da função, ou seja, a máxima redução da probabilidade de resposta à adubação potássica, com o mínimo de aumento da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$. O ponto de inflexão do modelo ocorreu quando a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ foi igual a 0,3330, que corresponde a 40,5% de probabilidade de resposta à adubação potássica, segundo a regressão logística. Assim, a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo igual a 0,3330 seria o valor crítico em torno do qual pequenos aumentos da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ resultam em grandes reduções da probabilidade de respostas à adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. Segundo Castro & Meneghelli (1989), o interesse deste tipo de trabalho é determinar o ponto a partir do qual o solo passa a responder à adubação potássica. Assim, considerando a mesma probabilidade de 50% adotada por Castro & Meneghelli (1989), uma vez que a variável estudada é dicotômica,

Tabela 1. Variedade de cana-de-açúcar, ciclo, teor de potássio trocável ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), relação $\text{K}^+ (\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})^{-0,5}$ no solo, resposta à adubação potássica, e respectiva autoria do trabalho.

Variedade	Ciclo ⁽¹⁾	Teor de K	$\text{K}^+ (\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})^{-0,5}$	Resposta ⁽²⁾	Autor
SP71-6163	S	0,30	0,0541	S	Chalita (1991)
CB 3822	P	0,50	0,0590	S	Alvarez et al. (1963)
CB 3822	P	0,50	0,0842	S	Alvarez et al. (1963)
SP71-6163	S	0,70	0,0862	S	Chalita (1991)
CB 3822	P	0,70	0,0885	S	Alvarez et al. (1963)
CB 4069	P	0,40	0,0938	S	Alvarez & Freire (1962)
CB 3822	P	0,50	0,0945	S	Alvarez et al. (1963)
CB 3822	P	0,70	0,1006	S	Alvarez et al. (1963)
CB 3822	P	0,90	0,1037	S	Alvarez et al. (1963)
CB 4176	P	1,10	0,1079	S	Alvarez et al. (1991)
CB 3822	P	0,70	0,1151	S	Alvarez et al. (1963)
CB 4176	P	0,63	0,1238	S	Malavolta et al. (1963)
CB 3822	P	0,90	0,1252	S	Alvarez et al. (1963)
CB 3822	P	0,70	0,1253	S	Alvarez et al. (1963)
CB 4789	P	0,70	0,1278	N	Reis & Cabala-Rosand (1986)
CB 4176	S	0,50	0,1291	N	Espironelo et al. (1981)
CB 453	P	0,49	0,1299	S	Cavalcanti et al. (1989)
CB 3822	P	0,70	0,1352	S	Alvarez et al. (1963)
CB 4176	P	1,20	0,1368	S	Alvarez et al. (1991)
CB 4176	P	1,03	0,1412	S	Malavolta et al. (1963)
CB 453	P	0,80	0,1433	N	Azeredo et al. (1980)
CB 3822	P	0,90	0,1478	S	Alvarez et al. (1963)
SP71-6163	S	0,60	0,1486	S	Chalita (1991)
CB 3822	P	1,20	0,1536	S	Alvarez et al. (1963)
CB 4176	P	1,60	0,1540	S	Alvarez et al. (1991)
CB 4176	P	0,41	0,1547	S	Silveira et al. (1980)
CB41-76	P	0,77	0,1566	S	Guedes et al. (1980)
CB 4176	P	1,20	0,1604	S	Alvarez et al. (1991)
CB 4176	P	0,82	0,1605	S	Espironelo et al. (1977)
CB 4176	P	0,82	0,1605	N	Guedes et al. (1979)
CB 3822	P	0,80	0,1623	S	Alvarez et al. (1963)
SP71-6163	P	0,80	0,1633	S	Chalita (1991)
CB 4176	P	1,00	0,1644	S	Alvarez et al. (1991)
CB 4176	S	1,00	0,1644	S	Espironelo et al. (1981)
CB 453	P	1,51	0,1677	N	Azeredo et al. (1984)
CB 453	P	0,56	0,1696	S	Cavalcanti et al. (1989)
CB 4789	P	0,90	0,1696	S	Azeredo et al. (1980)
CB 4176	P	1,20	0,1697	S	Alvarez et al. (1991)
CB 453	P	0,64	0,1709	N	Espironelo et al. (1977)
CB 453	P	0,64	0,1709	N	Gondim et al. (1980)
CB 4176	P	1,12	0,1735	S	Malavolta et al. (1963)
CB 4176	S	0,70	0,1750	N	Espironelo et al. (1981)
CB 4176	S	1,00	0,1768	S	Espironelo et al. (1981)
CB 4176	P	1,09	0,1781	S	Malavolta et al. (1963)
CB 4789	P	1,10	0,1784	N	Reis & Cabala-Rosand (1986)
CB 3822	P	1,50	0,1802	S	Alvarez et al. (1963)
CB 4176	S	1,00	0,1826	S	Espironelo et al. (1981)
CB 4789	P	1,30	0,1838	N	Reis & Cabala-Rosand (1986)
CB 4176	P	1,30	0,1838	S	Alvarez et al. (1991)

Continua...

Tabela 1. (Continuação)

Variedade	Ciclo ⁽¹⁾	Teor de K	K ⁺ (Ca ²⁺ +Mg ²⁺) ^{-0,5}	Resposta ⁽²⁾	Autor
CB 3822	P	1,50	0,1848	S	Alvarez et al. (1963)
CB 453	P	1,18	0,1860	N	Manhães et al. (1978)
CB 4176	S	1,10	0,1886	N	Espironelo et al. (1981)
CB 453	P	0,66	0,1920	S	Cavalcanti et al. (1989)
CB 4789	P	1,40	0,1960	N	Reis & Cabala-Rosand (1986)
CB 4176	P	1,53	0,2028	S	Malavolta et al. (1963)
SP71-1406	S	1,10	0,2068	S	Chalita (1991)
CB 453	P	1,28	0,2074	S	Manhães et al. (1978)
CB 4176	P	1,60	0,2101	N	Alvarez et al. (1991)
CB 3822	P	0,70	0,2120	S	Alvarez et al. (1963)
SP71-6163	P	0,70	0,2120	S	Chalita (1991)
CB 4176	P	1,38	0,2146	S	Malavolta et al. (1963)
SP71-6163	P	1,20	0,2202	S	Chalita (1991)
SP71-6163	S	0,80	0,2202	S	Chalita (1991)
CB 4176	P	1,80	0,2216	S	Alvarez et al. (1991)
SP71-6163	S	1,30	0,2216	S	Chalita (1991)
CB 453	P	1,30	0,2297	S	Azeredo et al. (1980)
CB 4176	S	1,40	0,2302	N	Espironelo et al. (1981)
CB 4176	P	1,26	0,2306	S	Malavolta et al. (1963)
CB 453	P	2,05	0,2332	N	Manhães et al. (1978)
CB 4789	P	2,39	0,2347	N	Azeredo et al. (1980)
CB 4176	P	1,27	0,2350	S	Malavolta et al. (1963)
SP71-1406	S	0,70	0,2360	S	Chalita (1991)
CB 4176	P	1,40	0,2366	S	Alvarez et al. (1991)
CB 4176	P	1,50	0,2372	S	Alvarez et al. (1991)
SP71-6163	P	1,30	0,2381	S	Chalita (1991)
CB 4176	P	1,20	0,2400	N	Alvarez et al. (1991)
CB 4176	P	1,38	0,2432	S	Malavolta et al. (1963)
CB 3822	P	0,90	0,2468	S	Alvarez et al. (1963)
CB 4176	S	1,51	0,2481	S	Zambello Júnior et al. (1981a, 1981b)
CB 4176	S	1,51	0,2481	S	Zambello Júnior et al. (1981a, 1981b)
SP71-1406	P	1,30	0,2525	S	Chalita (1991)
SP71-6163	S	0,80	0,2582	S	Chalita (1991)
CB 4176	S	1,20	0,2619	N	Espironelo et al. (1981)
CB 4176	S	2,59	0,2620	N	Zambello Júnior et al. (1977)
CB 47355	S	2,59	0,2620	N	Zambello Júnior et al. (1977)
CB 4647	S	2,59	0,2620	N	Zambello Júnior et al. (1977)
CB 4176	P	2,70	0,2622	S	Malavolta et al. (1963)
SP70-1078	S	1,00	0,2774	S	Chalita (1991)
CB 4176	P	1,56	0,2796	S	Malavolta et al. (1963)
CB 4176	P	2,06	0,2799	S	Malavolta et al. (1963)
CB 4176	P	1,80	0,2811	S	Alvarez et al. (1991)
CB 4176	P	1,70	0,2833	S	Alvarez et al. (1991)
CB 4176	S	1,10	0,2840	S	Zambello Júnior et al. (1981a, 1981b)
CB 4176	S	1,10	0,2840	S	Zambello Júnior et al. (1981a, 1981b)
CB 453	P	1,82	0,2871	N	Azeredo et al. (1984)
SP71-6163	P	1,10	0,2919	S	Chalita (1991)
CB 4176	S	1,00	0,3015	N	Espironelo et al. (1981)
CB 453	P	3,30	0,3459	N	Azeredo et al. (1980)
CB 4176	P	2,70	0,3515	N	Alvarez et al. (1991)

Continua...

Tabela 1. (Continuação)

Variedade	Ciclo ⁽¹⁾	Teor de K	$K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$	Resposta ⁽²⁾	Autor
CB 49260	P	1,20	0,3801	N	Zambello Júnior et al. (1981c)
CB 453	P	5,12	0,3912	N	Azeredo et al. (1980)
CB 4789	P	2,90	0,3940	N	Azeredo et al. (1980)
CB 4176	S	5,01	0,4298	N	Zambello Júnior et al. (1981a, 1981b)
SP70-1078	P	5,30	0,7480	N	Chalita (1991)
SP71-6163	P	5,30	0,8487	N	Chalita (1991)
SP71-6163	P	7,00	1,4113	N	Chalita (1991)

⁽¹⁾P: cana-planta; S: cana-soca; ⁽²⁾S: sim; N: não.

ou seja, resposta (SIM) ou não resposta (NÃO) ao K, procurou-se estimar o valor (X) a partir do qual espera-se que não haja resposta à adubação potássica, onde $p = \text{Prob}(R = 0/X)$. Como $p = 0,50$ e $1-p = \text{Prob}(R = 1/X)$, chega-se ao modelo $\ln [p/(1-p)] = a + bX$ (Castro & Meneghelli, 1989). Substituindo-se p no modelo, tem-se: $\ln [0,5/(1-0,5)] = a + bX$. Logo, $\ln(1) = a + bX$ e então $0 = a + bX$ e, portanto, $X = -a/b$ (Castro & Meneghelli, 1989). Usando a equação descrita acima, determinou-se o índice de 0,2896 para a relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo como o ponto a partir do qual espera-se que não ocorra resposta à adubação potássica na cana-de-açúcar. Este valor de 0,2896 está próximo do ponto de inflexão do modelo ajustado (Figura 1). Dos 11 experimentos de adubação potássica realizados em solos com relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ superior a 0,2896 e avaliados neste trabalho, apenas um apresentou resposta da produção à adubação potássica. Isto possivelmente demonstra a segurança da determinação deste valor “crítico” na avaliação da probabilidade de resposta à adubação potássica em razão da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo.

Na classificação dos valores da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo foram considerados como baixos os valores inferiores a 0,2547, enquanto os valores compreendidos entre 0,2547 e 0,3349 foram considerados como médios e valores superiores a 0,3349 foram considerados como altos. O limite superior da classe baixa (0,2547) foi menor que o encontrado no ponto de inflexão do modelo ajustado (Figura 1), e menor que o valor a partir do qual se espera que não ocorra resposta à adubação potássica na cana-de-açúcar. É possível que isto aumente a confiabilidade dos valores da rela-

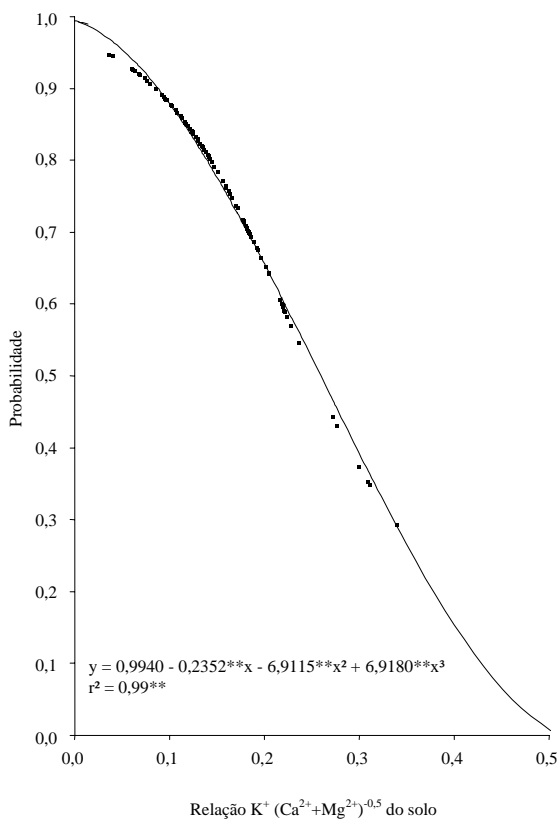


Figura 1. Probabilidade de resposta de produção da cana-de-açúcar à adubação potássica em função da relação $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ do solo.

ção $K^+ (Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ no solo considerados como baixos.

A Tabela 2 ilustra a frequência de experimentos com aumento estatisticamente significativo de produção em razão da adubação potássica em solos sob

Tabela 2. Frequência de experimentos com aumento significativo de produção de cana-de-açúcar em razão da adubação potássica em solos sob diferentes combinações entre teor de potássio trocável e relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5}.

Teor de K^+ trocável	Relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$) ^{-0,5}			Porcentagem
	Baixa (<0,2547)	Média (0,2547-0,3349)	Alta (>0,3349)	
Baixo (<1,6 mmol _c dm ⁻³)	39/48	5/6	0/0	81,5
Médio (1,6-3,0 mmol _c dm ⁻³)	24/31	3/5	0/1	72,9
Alto (>3,0 mmol _c dm ⁻³)	0/2	2/5	0/8	13,3
Porcentagem	77,7	62,5	0,0	

diferentes combinações de classes de teor de K trocável e relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} no solo. Por exemplo, 48 experimentos de adubação potássica na cana-de-açúcar foram realizados em solos que apresentaram baixo teor de K trocável e baixa relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5}, sendo que destes 48 experimentos, 39 apresentaram aumento significativo de produção. Baixas relações K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} no solo forneceram frequência de experimentos com resposta de produção semelhante àquelas observadas em solos com baixos teores de K no solo, pois enquanto 81,5% dos experimentos realizados em solos de baixo teor de K trocável apresentaram aumento de produção, 77,7% dos experimentos realizados em solos com baixa relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} apresentaram aumento de produção. Ao avaliar as respostas nas classes médias de teor de K trocável e da relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} no solo nota-se uma diferença entre as frequências de resposta. A frequência de resposta de produção em solos com teores médios de K trocável (72,9%) foi superior à frequência de resposta de produção em solos com média relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} (62,5%).

Estes dados permitem inferir que a relação entre K, Ca e Mg é um critério que ofereceu probabilidade de respostas de produção semelhantes às obtidas com o teor de K trocável.

A avaliação da relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} no solo, juntamente com a interpretação do teor de K trocável no solo, pode permitir maior segurança ao recomendar a adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. O uso desta relação possibilita calibrar a necessidade de adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar indicada pela avaliação do teor de K trocável no solo, pois ao utilizar esta relação, considera-se o equilíbrio entre K, Ca e Mg disponíveis no solo.

A relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} no solo deve ser usada como mais um critério para orientar a adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar.

Apesar de este trabalho ter sido voltado para a cultura da cana-de-açúcar e para determinadas variedades desta cultura, este novo enfoque da interpretação da análise de solo e recomendação de adubação potássica pode ser usado em outras variedades/culturas, desde que existam dados de pesquisa suficientes para a realização da regressão logística.

Conclusões

1. A relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} do solo influencia a probabilidade de resposta da produção da cana-de-açúcar à adubação potássica.
2. Relações K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} no solo inferiores a 0,2547 estão associadas a probabilidades de resposta da produção à adubação potássica superiores a 75%.
3. A relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} no solo pode ser classificada em baixa (<0,2547), média (0,2547 a 0,3349) e alta (>0,3349).
4. A avaliação da relação K^+ ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$)^{-0,5} no solo deve ser usada juntamente com a avaliação do teor de K trocável no solo para orientar a adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar.

Referências

- AGRIANUAL 98: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 1998. p. 176.
- ALVAREZ, R.; FREIRE, E. S. Adubação da cana-de-açúcar. VI. Fracionamento da dose de potássio. **Bragantia**, Campinas, v. 21, p. 31-43, 1962.

- ALVAREZ, R.; SEGALLA, A. L.; WUTKE, A. C. P. Adubação da cana-de-açúcar. VIII. Adubação mineral em solos Massapê-Salmourão (1957-58). **Bragantia**, Campinas, v. 22, p. 657-675, 1963.
- ALVAREZ, R.; WUTKE, A. C.; ARRUDA, H. V.; RAIJ, B. van; GOMES, A. C.; ZINK, F. Adubação da cana-de-açúcar. XIV. Adubação N-P-K em Latossolo Roxo. **Bragantia**, Campinas, v. 50, p. 359-374, 1991.
- AZEREDO, D. F.; ROBAINA, A. A.; MANHÃES, M. S. Adubação mineral (NPK) em cana planta nos Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (Zona da Mata). **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 65, n. 6, p. 19-28, 1980.
- AZEREDO, D. F.; ROBAINA, A. A.; ZANOTTI, N. E. Adubação mineral em cana-de-açúcar no Estado do Espírito Santo. **Saccharum STAB**, Piracicaba, v. 7, p. 38-43, 1984.
- CASTRO, A. F.; MENEGHELLI, N. A. As relações $K^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})^{1/2}$ e $K^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ no solo e as respostas a adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 6, p. 751-760, jun. 1989.
- CAVALCANTI, F. J. A.; REIS, O. V.; SANTOS, V. F. Teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio em experimentos com cana-de-açúcar em Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 6, p. 25-33, 1989.
- CHALITA, R. **Calibração de adubação potássica através da análise química do solo, para a cultura de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Esalq, 1991. 155 p. Dissertação de Mestrado.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (Lavras, MG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Lavras, 1989. 159 p.
- ESPIRONELLO, A.; OLIVEIRA, H.; LEPSCH, J. F.; NAGAI, V.; PEREIRA, J. C. V. N. A. Efeitos da adubação N-P-K, em três profundidades, em soca de cana-de-açúcar: I. Produção de cana e de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: STAB, 1981. p. 88-109.
- ESPIRONELLO, A.; OLIVEIRA, H.; NAGAI, V. Efeitos de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (cana planta) em anos consecutivos de plantio: I. Resultados de 1974/75 e 1975/76. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 1, p. 76-81, 1977.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of fields crops**. New York: M. Dekker, 1991. 476 p.
- GONDIM, G. S.; ROSÁRIO, L. B.; AGOSTINI, J. A. E.; BRITTO, D. S. P. Adubação NPK da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em solo de Linhares, ES. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 95, n. 1, p. 22-30, 1980.
- GUEDES, G. A. A.; SILVEIRA, J. F.; SIQUEIRA, J. O. Efeito de níveis de N, P e K no rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar (cana planta), cultivado em Latossolo Vermelho Escuro. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 42-45, 1980.
- GUEDES, G. A. A.; SIQUEIRA, J. O.; SILVEIRA, J. F. Efeito do parcelamento de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (cana-planta) na região de Três Pontas, Estado de Minas Gerais. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 94, p. 41-44, 1979.
- MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; COURY, T.; ABREU, C. P.; VALSECCHI, O.; HAAG, H. P.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; MELLO, F. A. F.; ARZOLLA, J. D. P.; ARZOLLA, S.; RANZANI, G.; KIEHL, E. J.; CROCOMO, O. J.; MENARD, L. N.; NOVAIS, R. F.; FREIRE, O.; OLIVEIRA, E. R. **A diagnose foliar na cana-de-açúcar: IV. Resultados de 40 ensaios fatoriais NPK 3x3x3, primeiro corte no Estado de São Paulo**. Piracicaba: Esalq, 1963. 47 p.
- MANHÃES, M. S.; AZEREDO, D. F.; PEIXOTO, A. A. Adubação N-P-K em cana-de-açúcar na Zona da Mata de Minas Gerais. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 91, p. 20-26, 1978.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models: regressions, analysis of variance and experimental designs**. 2. ed. Homewood: R. D. Irwing, 1985. 842 p.
- ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.
- PREZZOTI, L. C.; DEFELIPO, B. V. Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11, p. 109-114, 1987.
- RAIJ, B. van. Disponibilidade de potássio em solos do Brasil. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILII, O.; USHERWOOD, N. R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p. 67-76.

- REIS, E. L.; CABALA-ROSAND, P. Respostas da cana-de-açúcar ao nitrogênio, fósforo e potássio em solo de tabuleiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 10, p. 129-134, 1986.
- REIS JÚNIOR, R. A. **Produção, qualidade de tubérculos e teores de potássio no solo e no peciolo de batateira em resposta à adubação potássica**. Viçosa: UFV, 1995. 115 p. Dissertação de Mestrado.
- 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 12, p. 1443-1448, dez. 1984.
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS user's guide**: statistical version. 5. ed. Cary, 1985. p. 171-253.
- SILVEIRA, J. F.; SIQUEIRA, J. O.; GUEDES, A. A. Interação P x K x Calcário em cana-de-açúcar (cana planta). **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 95, n. 1, p. 18-21, 1980.
- USHERWOOD, N. R. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILII, O.; USHERWOOD, N. R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p. 227-248.
- ZAMBELLO JÚNIOR, E.; HAAG, H. P.; ORLANDO FILHO, J. Adubação N-P-K e localização de fertilizante em soqueiras de cana-de-açúcar, variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 97, p. 45-55, 1981a.
- ZAMBELLO JÚNIOR, E.; HAAG, H. P.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) em soqueiras de cana-de-açúcar para diferentes épocas de amostragem foliar. **Boletim Técnico PLANALSUCAR**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 5-32, 1981b.
- ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ISMIZUCA, M.; ORLANDO FILHO, J. Adubação da cana-de-açúcar em solos de cerrado no Estado do Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: STAB, 1981c. p. 136-147.
- ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J.; COLLETI, J. F.; ROSSETO, A. J. Adubação de soqueiras em três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) cultivados em Terra Roxa estruturada no Estado de São Paulo. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 89, n. 3, p. 11-17, 1977.