

MODELAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES PARA A CULTURA DA SOJA⁽¹⁾

Flavia Cristina dos Santos⁽²⁾, Julio Cesar Lima Neves⁽³⁾, Roberto Ferreira Novais⁽³⁾, Víctor Hugo Alvarez V.⁽³⁾ & Carlos Sigueyuki Sedyama⁽⁴⁾

RESUMO

A recomendação de adubação para as culturas agrícolas, no Brasil, é feita com base em tabelas que relacionam a classe de disponibilidade do nutriente no solo com a dose a ser aplicada. Este trabalho apresenta uma alternativa para recomendar corretivos e fertilizantes para a cultura da soja, o SIRSo (sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja). O princípio desse sistema é o balanço nutricional, ou seja, a recomendação se faz a partir da diferença entre o requerimento de nutrientes pela planta e o suprimento de nutrientes pelo solo, por resíduos orgânicos, por fertilizantes e pela calagem. O sistema considera ainda o fator sustentabilidade, visando manter uma quantidade de nutriente no solo capaz de garantir produtividade mínima em cultivos subseqüentes. Para recomendar calagem, o sistema considera dois métodos: a neutralização do Al^{3+} e a elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, ou a saturação por bases. O requerimento de nutrientes varia com a produtividade esperada de grãos, com as características do solo e com a taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo. O suprimento pelo solo depende da disponibilidade do nutriente, estimada a partir da análise de solo e da taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado. As comparações entre as recomendações geradas pelo SIRSo e aquelas oriundas das tabelas em uso no País mostram, em geral, que o SIRSo recomenda maior quantidade de nutrientes, principalmente de P e K quando consideradas as maiores produtividades, fato confirmado pela análise de sensibilidade, que mostrou grande variação da dose a ser recomendada desses nutrientes com a produtividade de grãos. Esse fato pode ser considerado como vantagem do SIRSo em relação às tabelas, muitas das quais apresentam pouca ou nenhuma variabilidade das doses em relação à produtividade.

Termos de Indexação: Recomendação de adubação, *Glycine max* (L) Merrill, balanço nutricional.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado da primeira autora. Bolsista FAPEMIG. Recebido para publicação em abril de 2007 e aprovado em abril de 2008.

⁽²⁾ Pesquisadora da Embrapa Cerrados, BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza, Caixa Postal 08223, CEP 73310-970 Planaltina (DF). E-mail: flavia@cpac.embrapa.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. PH Rolfs s/n, CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mail: julio_2003@yahoo.com.br; rfnovais@ufv.br; vhav@ufv.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Fitotecnia/UFV. E-mail: csedyama@ufv.br

SUMMARY: MODELING LIME AND FERTILIZER RECOMMENDATIONS FOR SOYBEAN

Fertilizer recommendations for agricultural crops in Brazil are based on tables that relate indexes of nutrient availability in the soil with the required dose of the nutrient. This study presents an alternative for lime and fertilizer recommendations for soybean, called SIRSo. This lime and fertilizer recommendation system for soybean considers the nutritional balance, i.e., recommendations are based on the difference between plant nutrient requirement and the nutrient supply from the soil through organic residues, fertilizers and liming. The system further takes a sustainability factor into consideration, aiming at the maintenance of soil nutrient levels that ensure a desired minimum yield in subsequent cultivations. The system considers two methods for liming recommendations: Al^{3+} neutralization and increased $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ contents or base saturation. Nutrient requirements vary according to the expected grain yield, the soil characteristics and plant recovery rate of the nutrient applied to the soil. The soil supply depends on the estimated nutrient availability based on the soil analysis, and on the recovery rate of the applied nutrient by the extractor. Comparisons of SIRSo-based recommendations with those of the tables used nationwide show that SIRSo generally recommends higher nutrient quantities, mainly for P and K, when the highest yields are considered. This fact was confirmed by the sensitivity analysis, which detected wide variation of the recommended dose for these nutrients according to the grain yield. This fact is considered an advantage of SIRSo over the tables, where recommendations of doses according to the yield are little or not adjustable at all.

Index terms: Fertilizer recommendation, Glycine max (L) Merrill, nutritional balance.

INTRODUÇÃO

A soja é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo e uma das principais *commodities* agrícolas do Brasil, com área plantada de cerca de 22 milhões de hectares e produtividade média de 2.511 kg ha⁻¹ na safra 2005/06, representando 24 % da Balança Comercial do Agronegócio Brasileiro em 2006 (CONAB, 2006; IBGE, 2006)

Tendo a cultura da soja o Cerrado como principal fronteira agrícola, em geral de solos pobres e ácidos (Souza & Lobato, 2002), programas adequados de correção e adubação do solo tornam-se necessários para o sucesso do uso dessas áreas, visto que esses fatores são os que mais têm contribuído (40 %) para o aumento da produtividade agrícola (Haas, 1997).

As recomendações de corretivos e fertilizantes têm sido feitas com base em tabelas de recomendações em vários Estados ou regiões (Raij, 1985; Tomé Jr., 1997; Alvarez V. & Ribeiro, 1999; Embrapa, 2002; CQFSRS/SC, 2004). No entanto, alguns inconvenientes podem ser citados a respeito da utilização dessas tabelas, como aplicabilidade regional, mesmo com limites geográficos que não correspondem a diferenças edafoclimáticas; não-consideração de demandas nutricionais das plantas variáveis com a produtividade; utilização de faixas de níveis críticos de nutrientes no solo (valores descontínuos) e não de valores contínuos; e recomendação de doses fixas para faixas de produtividade, quando considerada. No entanto, cabe ressaltar que houve evolução nas doses recomendadas

por tabelas, para correção e manutenção da fertilidade do solo, em função da produtividade (CQFSRS/SC, 2004). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi apresentar um sistema alternativo de recomendação de doses de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja, tomando-se como base o equilíbrio entre o requerimento de nutrientes pela planta e os seus suprimentos pelo solo e pelos resíduos orgânicos, considerando, ainda, o fator sustentabilidade da produção.

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Calagem

O SIRSo utiliza dois métodos de cálculo para a recomendação de calagem: a neutralização do Al^{3+} e a elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, ou a saturação por bases (Alvarez V. & Ribeiro, 1999). Em caso de divergências maiores entre os dois métodos quanto às doses de calcário recomendadas, a opção para determinado solo pode ser feita pela estimativa dos valores finais de pH para essas doses e a conveniência agrônoma de se ter um valor de pH maior ou menor. Por exemplo, em regiões com histórico de deficiência de micronutrientes no solo, a conveniência é utilizar o método que resulta, provavelmente, em menor pH final. Para se chegar ao valor de pH estimado após a calagem, é necessário estimar a variação do pH (ΔpH) em função da quantidade de corretivo aplicada. Assim,

utilizou-se a equação de Mello (2000) desenvolvida a partir de trabalhos relacionando ΔpH e valores de acidez potencial ($H + Al$):

$$\Delta pH = -0,0234647 + 1,49415 \frac{1}{(H + Al)}; R^2 = 0,814 \quad (1)$$

em que ΔpH é a variação estimada do pH, em unidade de pH por $t\ ha^{-1}$ de calcário (PRNT 100 %), e ($H + Al$) é a acidez potencial, em $cmol_c\ dm^{-3}$.

Estima-se o pH após a calagem (pH final) somando-se o valor estimado pela equação 1 ao pH atual do solo:

$$pH\ final = pH\ atual + \Delta pH \quad (2)$$

Recomendação de adubação

O fundamento do SIRSo é o balanço entre o requerimento de nutrientes pela planta e o suprimento de nutrientes pelo solo e por resíduos orgânicos (Figura 1). Para conseguir esse balanço, o SIRSo trabalha com dois subsistemas: (a) subsistema planta-quantidade de nutrientes requerida pela planta e para garantir produtividade mínima dos cultivos subsequentes; (b) subsistema solo-quantidade de nutrientes disponível no solo e também fornecida pelos resíduos orgânicos à planta. Cabe ressaltar que os resíduos orgânicos considerados neste trabalho são os resíduos das culturas, ou seja, a palhada.

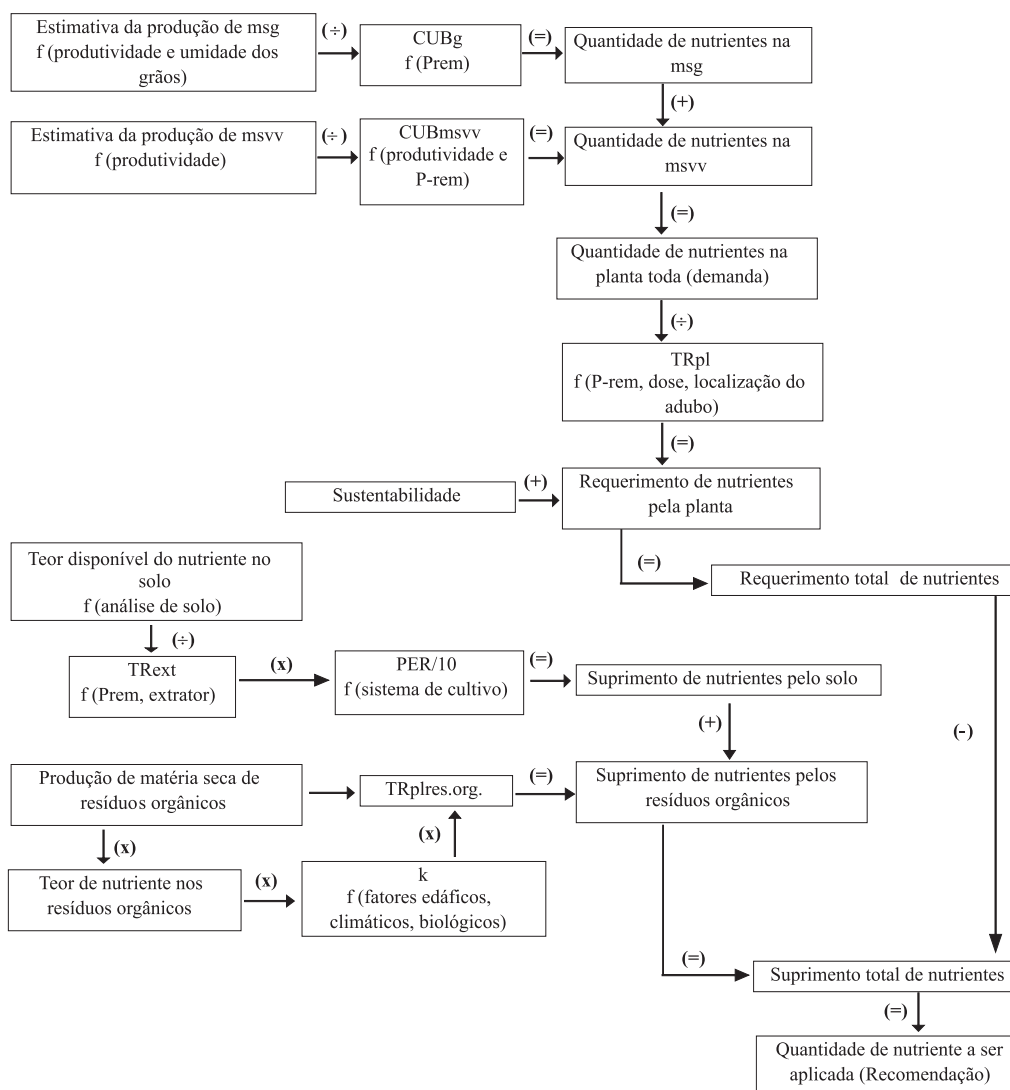


Figura 1. Fluxograma para cálculo da dose de nutriente a ser recomendada pelo SIRSo. msg: matéria seca de grãos; f: função; msvv: matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens; CUBg: coeficiente de utilização biológica dos grãos; CUBmsvv: coeficiente de utilização biológica da matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens; P-rem: fósforo remanescente; TRpl: taxa de recuperação, pela planta, do nutriente aplicado via fertilizante; TRext: taxa de recuperação, pelo extrator do nutriente aplicado via fertilizante; PER: profundidade efetiva do sistema radicular; TRplres.org.: taxa de recuperação, pela planta, dos nutrientes provenientes de resíduos orgânicos.

Subsistema planta

Requerimento de nutrientes pela planta

Para se obter o requerimento de nutrientes pela planta é necessário dispor de dados do acúmulo de matéria seca de grãos (msg) e das partes vegetativas mais vagens (msvv). A produção de matéria seca de grãos é obtida a partir dos dados de produtividade de grãos, descontando-se 13 % de umidade em base úmida dos grãos por essa ser a umidade-padrão para comparação e comercialização. A produção de matéria seca da parte vegetativa da planta mais vagens é obtida pela diferença entre a produção de matéria seca total e a matéria seca de grãos.

Dados de Garcia (1979), Colasante & Costa (1981), Beaver & Cooper (1982), Cardoso & Rezende (1988), Melges et al. (1989) e Koutroubas et al. (1998), relacionando produtividade de grãos e produção de matéria seca total de soja, foram utilizados para gerar uma equação de regressão para estimar a produção de matéria seca total-MST-(kg ha⁻¹) a partir da produtividade de grãos-Prod-(kg ha⁻¹):

$$MST = 43400,9 + 14936,7^{***} \log(\text{Pr od}), R^2 = 0,618 \quad (3)$$

$$\forall 1742 \leq \text{Pr od} \leq 5534$$

A matéria seca de partes vegetativas (raízes, hastes e folhas) mais vagens é obtida por diferença.

O passo seguinte é obter o valor do coeficiente de utilização biológica (CUB) de cada nutriente nos diferentes compartimentos da planta (grãos e partes vegetativas mais vagens). O CUB representa a produção de matéria seca por unidade de nutriente acumulada, expressa em kg kg⁻¹ para macronutrientes e kg g⁻¹ para micronutrientes (Barros et al., 1986). Para a determinação do CUB dos grãos e do CUB das partes vegetativas mais vagens, há necessidade de se determinar o acúmulo de nutrientes nessas partes.

O CUB é uma medida da eficiência da planta em converter nutriente absorvido em matéria seca. Dessa forma, pode-se dizer que plantas com CUB alto de determinado nutriente são mais eficientes que plantas com CUB baixo, considerando-se dada produtividade de grãos.

Não foi encontrada relação entre o CUB de grãos e a produtividade com os dados utilizados neste trabalho. Dessa forma, utilizaram-se valores médios de CUB de grãos para cada nutriente (Quadro 1).

Cabe ressaltar que no SIRSo não há recomendações para N, por considerar que o requerimento pela planta é atendido pela fixação biológica deste nutriente e pelos resíduos orgânicos incorporados ao solo.

A eficiência das plantas em transformar P e S absorvidos em biomassa varia entre solos, dependendo de seus valores de capacidade tampão de fósforo (CTP) (Muniz, 1983; Novais & Smyth, 1999). Dessa forma, ao se utilizar um valor médio de CUB para esses nutrientes, há necessidade de se corrigir o valor médio

Quadro 1. Valores médios dos coeficientes de utilização biológica (CUB) de macro e micronutrientes dos grãos de soja, não dependentes da capacidade tampão do solo, e seus respectivos coeficientes de variação (CV)

Nutriente	CUB	CV
	Macronutriente (kg kg ⁻¹)	%
K	50,4	12,2
Ca	320,8	28,1
Mg	354,1	13,2
	Micronutriente (kg g ⁻¹)	
Cu	57,6	66,7
Fe	6,7	41,3
Zn	18,8	35,9
Mn	32,5	29,6
B	44,3	36,2

Os CUBs de P e S dos grãos não se encontram neste quadro, pois seus valores variam com o fósforo remanescente do solo (P-rem). Fonte: Adaptado de Ohlrogge & Kamprath (1968), Bataglia et al. (1976, 1977, 1981, 1984), Brose et al. (1979), Cordeiro et al. (1979), Al-Ithawi et al. (1980), Mascarenhas et al. (1980), Parker et al. (1981), Vargas et al. (1982), Hiroce (1985), Flannery (1989), Tanaka & Mascarenhas (1992), Malavolta et al. (1997), Sfredo et al. (1997), Yamada (1999), Pavinato (2000).

de acordo com a CTP do solo. A correção é feita por meio de equações obtidas da seguinte forma: com os valores de CUB desses nutrientes nos grãos de plantas cultivadas em solos com textura arenosa, para os quais P-rem = 55 mg L⁻¹; com os valores de CUB de plantas cultivadas em solos com textura média, para os quais P-rem = 30 mg L⁻¹; e com valores de CUB de plantas cultivadas em solos com textura argilosa, para os quais P-rem = 5 mg L⁻¹. Com esses pontos, foram geradas as equações do CUBP e CUBS dos grãos em função do P-rem (Quadro 2). Caso não seja informado o P-rem ou o teor de argila (com o qual se pode estimar o P-rem), o SIRSo utiliza o valor médio de CUBP (169,2 kg kg⁻¹) e de CUBS (314,0 kg kg⁻¹) dos grãos.

Para o CUB da matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens, também foram obtidas relações com a produtividade de grãos e com a CTP do solo. Para Ca, Mg, S e micronutrientes, não foi verificada relação entre CUB e produtividade, por isso foram utilizados os valores médios (Quadro 3).

Para a matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens (Quadro 3), observou-se maior variabilidade nos valores de CUB em relação aos de grãos (Quadro 1). Isso pode ser explicado pelo fato de a maior parte dos nutrientes acumulados nos grãos serem proveniente da translocação das partes vegetativas, o que causa maior "tamponamento" em relação a eventuais estresses nutricionais que a planta possa sofrer.

Quadro 2. Equações para estimativa dos coeficientes de utilização biológica de fósforo e enxofre (CUBP e CUBS), em kg kg⁻¹, dos grãos em função do valor de P-rem em mg L⁻¹

Equação	R ²	Intervalo de utilização
CUBP = 266,88 – 2,616P-rem	0,937	∇ 5 ≤ P-rem ≤ 55
CUBS = 529,23 – 4,08P-rem	0,842	∇ 5 ≤ P-rem ≤ 55

Fonte: Adaptado de Bataglia et al. (1976, 1977).

Quadro 3. Valores médios dos coeficientes de utilização biológica (CUB) de macro e micronutrientes da matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens, não dependentes da capacidade tampão do solo, e seus respectivos coeficientes de variação (CV)

Nutriente	CUB	CV
	Macronutriente (kg kg ⁻¹)	%
Ca	107,1	85,4
Mg	193,4	39,6
	Micronutriente (kg g ⁻¹)	
Cu	192,0	74,7
Fe	7,8	74,0
Zn	182,9	98,9
Mn	15,4	65,2
B	89,3	102,2

Os valores do CUB de P, K e S não se encontram no quadro por variarem com a produtividade de grãos (P e K) e com o P-rem do solo (P e S).

Fonte: Adaptado de Ohlrogge (1963), Ohlrogge & Kamprath (1968), Mascarenhas (1972), Bataglia et al. (1976, 1981), Meurer et al. (1981), Venturi & Amaducci (1988), Flannery (1986), Vitti & Luz (1998) e Yamada (1999).

Para os nutrientes P e K, foi observada redução no valor de CUB da matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens com o aumento da produtividade de grãos (Quadro 4), indicando que plantas mais produtivas são menos eficientes na utilização desses nutrientes.

Para relacionar o CUB de P e S da matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens com a CTP dos solos, partiu-se do pressuposto de que a tendência da variação do CUB dos nutrientes da matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens com os valores de P-rem é a mesma dos valores de CUB de grãos. Assim, seguiu-se o mesmo procedimento utilizado para os grãos, ou seja, pontos foram gerados relacionando CUB e P-rem. Para o P, como o CUB da matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens variou também com a produtividade, uma equação de regressão múltipla foi ajustada (Quadro 4), relacionando CUBP com a produtividade e com os valores de P-rem. Para S, uma equação de regressão foi ajustada relacionando os valores de CUB com os valores de P-rem (Quadro 4).

Se não houver dados de teor de argila ou de P-rem, o sistema somente considera a variação do CUBP com a produtividade (utilizando a equação $C\hat{U}BP = 359,286^{***}Prod^{-0,781}$, $R^2 = 0,338$, $\forall 1,340 \leq Prod \leq 6,788$, $n = 29$), e para S utiliza o valor médio de CUBS (580,7 kg kg⁻¹).

O quociente entre a matéria seca de grãos e o CUB do nutriente nos grãos fornece a quantidade de nutriente acumulada nos grãos, e o quociente entre a matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens e o CUB do nutriente nos componentes da planta fornece a quantidade de nutriente acumulada na matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens. A soma da quantidade de nutrientes acumulada nos grãos e partes vegetativas mais vagens resulta na quantidade total de nutriente acumulada na parte aérea, determinando a demanda de nutriente pela planta.

Quadro 4. Equações para estimar o coeficiente de utilização biológica de K (CUBK) em kg kg⁻¹, em função da produtividade de grãos (Prod) em kg ha⁻¹; do CUBP em kg kg⁻¹, em função da produtividade de grãos (Prod) em kg ha⁻¹; e do P-rem em mg L⁻¹ e do CUBS em kg kg⁻¹, em função do P-rem, da matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens

Equação	R ²	Intervalo de utilização
$CUBK = 37,6816,57^{***}Prod^{-1,0422}$	0,785	∇ 1.340 ≤ Prod ≤ 6.788
$CUBP = 2,022,352 - 0,4170Prod + 0,00003434^{***}Prod^2 - 9,3420^{***}P\text{-rem}$	0,950	∇ 5 ≤ Prem ≤ 55 e ∇ 2.000 ≤ Prod ≤ 6.000
$CUBS = 977,805 - 8,165P\text{-rem}$	0,938	∇ 5 ≤ Prem ≤ 55

***: Significativo a 0,1 %.

Fonte: Adaptado de Ohlrogge (1966), Ohlrogge & Kamprath (1968), Mascarenhas (1972), Bataglia et al. (1976, 1977, 1981), Brose et al. (1979), Meurer et al. (1981), Venturi & Amaducci (1988), Flannery (1986), Vitti & Luz (1998) e Yamada (1999).

Para chegar ao requerimento de nutriente pela planta, há necessidade de se considerar a taxa de recuperação, pela planta, do nutriente aplicado ao solo como fertilizante (TR_{pl}), pois a planta não absorve 100 % do nutriente aplicado, devido a fatores como perdas e competição da planta com o solo.

A TR_{pl} indica a eficiência da planta na absorção do nutriente proveniente do adubo e é definida como a quantidade de nutriente absorvida por unidade de nutriente aplicado (Craswell & Godwin, 1984), sendo expressa pela seguinte equação:

$$TR_{pl} = \frac{\text{nutriente absorvido pela cultura fertilizada} - \text{nutriente absorvido pela cultura não fertilizada}}{\text{quantidade do nutriente aplicado}} \quad (4)$$

Os valores da TR_{pl} utilizados no SIRSo (Quadro 5) não contemplam todos os fatores que influenciam essa variável, dada a carência de dados que permitam a quantificação dos relacionamentos. Para nutrientes como Mg e micronutrientes, há apenas o valor médio da taxa de recuperação, considerando doses e fontes mais comuns dos nutrientes. Para Ca e S, utilizaram-se taxas médias para culturas diversas (Quadro 5), pois não foram encontrados dados para a cultura da soja. Para P, foi considerada a variação quanto à CTP do solo, baseada em trabalho de Muniz (1983) com soja cultivada em casa de vegetação até os 45 dias da emergência e aplicação de fonte solúvel de P incorporada ao solo. Todavia, a relação estimada por esse autor foi corrigida com base em vários outros trabalhos de campo que consideram a planta adulta (Quadro 6) (Welch et al., 1949; Bureau et al., 1953; Hanway & Weber, 1971; Randall et al., 1975a; Ham & Cadwell, 1978; Al-Ithawi et al., 1980; Porto et al., 1980; Bataglia et al., 1984). O trabalho de Muniz (1983) foi utilizado por abranger solos com ampla variação de P-rem, o que não acontece com os demais (Quadro 6).

Há dificuldade em estimar a dose de P a ser aplicada no sulco de plantio, a partir da recomendação, a lanço, e incorporada na camada de 0–20 cm. Para

Quadro 5. Valores médios de taxa de recuperação, pela planta, do nutriente aplicado ao solo via fertilizante (TR_{pl}) para Ca, Mg, S e micronutrientes

Nutriente	TR_{pl}
	%
Ca	50
Mg	55
S	50
Micronutrientes	5

Fonte: Adaptado de Ohlrogge & Kamprath (1968), Vegas Colmenarez (1987) e Varvel & Peterson (1992).

essa conversão, espera-se que a variação na TR_{pl} com o P-rem seja diferente quanto à localização do fertilizante fosfatado, ou seja, para solos com maiores valores de P-rem (solos arenosos) o fator de conversão (Fc) é menor, e para solos com menores valores de P-rem (solos argilosos) o fator de conversão é maior. Inicialmente, baseado em dados de vários trabalhos (Bureau et al., 1953; Hanway & Weber, 1971; Randall et al., 1975a; Ham & Cadwell, 1978; Al-Ithawi et al., 1980; Porto et al., 1980; Bataglia et al., 1984), estimou-se o valor de $Fc = 3$ para solos de textura média (P-rem = 30 mg L⁻¹), ou seja, a dose aplicada no sulco é três vezes menor que a aplicada a lanço. Para solos argilosos (P-rem = 5 mg L⁻¹), foi estipulado um valor de $Fc = 4$, e para solos arenosos (P-rem = 55 mg L⁻¹), $Fc = 2$. Com esses pontos, foi gerada uma equação (Equação 5) para estimar o fator de conversão da dose aplicada a lanço para a dose aplicada no sulco em função do P-rem dos solos. Recomenda-se que, em trabalhos futuros, esse assunto seja mais bem estudado para aprimorar essa equação. Procedimento semelhante foi adotado por Novais & Smyth (1999):

$$Fc = 4,2 - 0,04 \text{ P-rem} \quad (5)$$

Para K, foi considerada apenas a influência das doses do fertilizante na TR_{pl} (Quadro 7).

Como a dose de K a ser recomendada depende da taxa de recuperação do K pela planta, e vice-versa, utiliza-se a quantidade desse nutriente na planta (Figura 1) como se fosse a dose de K a ser aplicada. Para doses de K maiores que 70 kg ha⁻¹ (84 kg ha⁻¹

Quadro 6. Taxa de recuperação, pela planta, do fósforo para fonte solúvel ($TR_{pl}P_s$), em percentagem, em função do P-rem em mg L⁻¹, para aplicação a lanço e incorporada na camada de 0–20 cm

Equação	R ²	Intervalo de utilização
$TR_{pl}P_s = (4,508^{***} e^{0,0347P\text{-rem}})$	0,837	$\forall 2,6 \leq P\text{-rem} \leq 40,2$

***: Significativo a 0,1 %.

Fonte: Adaptado de Muniz (1983).

Quadro 7. Taxa de recuperação do K ($TR_{pl}K$) pela planta, em percentagem, em função da dose de K em kg ha⁻¹

Equação	R ²	Intervalo de utilização
$TR_{pl}K = (87,506^{***} e^{-0,0042Dose\ K})$	0,998	$\forall 33 \leq Dose\ K \leq 200$

***: Significativo a 0,1 %.

Fonte: Adaptado de Rosolem & Nakagawa (1985), Gill & Kamprath (1990).

de K₂O), de modo particular nos solos com textura arenosa, a adubação deve ser parcelada, quando esta for aplicada no sulco de plantio, principalmente se o fertilizante utilizado for o KCl. Esse cuidado visa evitar os efeitos danosos do elevado índice salino desse fertilizante. O SIRSo contempla várias combinações de parcelamento da dose de K a ser recomendada, bem como considera dose única para aplicações a lanço.

Quantidade de nutriente para sustentabilidade do solo

No SIRSo, a sustentabilidade do solo é considerada por meio da estimativa de uma quantidade de nutriente a ser mantida nele, ou mesmo a ser adicionada, para garantir uma produtividade mínima de grãos em cultivos subseqüentes, ou seja, a sustentabilidade da produção. Pode-se adotar, para este fim, uma quantidade mínima de nutrientes disponíveis no solo, não considerados no cálculo do suprimento, ou o equivalente em nutrientes para determinada produtividade de grãos de soja.

Subsistema solo

Nutriente fornecido pelo solo

Para obter dados sobre essa variável, foram considerados trabalhos a respeito da profundidade efetiva do sistema radicular (PER) da soja e da taxa de recuperação, por extratores mais comuns, dos nutrientes aplicados ao solo, ou mesmo dos nutrientes do solo (TR_{ext}).

As equações de regressão para estimar a concentração dos nutrientes recuperados pelos extratores encontram-se no quadro 8. A recuperação pelos extratores aplicados ao solo varia com a CTP do solo a concentração de argila, a dose e localização do fertili-

zante, e o extrator utilizado na análise, bem como com a fonte do nutriente. No SIRSo são utilizadas equações que relacionam a recuperação do nutriente aplicado ao solo como fertilizante, com o extrator e o P-rem, para o P; com o P-rem para o S; e com o extrator, o P-rem e o teor de argila para o Zn (Quadro 9). Estudos deverão investigar os valores da taxa de recuperação pelos extratores do nutriente aplicado ao solo, considerando outros fatores que também influenciam nessa recuperação, como pH, teor e qualidade de matéria orgânica e concentrações de outros nutrientes.

Em estudos de Campello (1993) e Fernández Rojas (1995), em que há valores de P obtidos na primeira extração pela resina de troca aniônica, segundo método de Raij & Quaggio (1983), e valores de P obtidos em extrações sucessivas por esse extrator (P lábil), demonstrou-se que a relação entre P 1ª extração e P total das extrações sucessivas varia com o valor de P-rem dos solos. Essa relação representa a TR_{ext} Resina, que, conseqüentemente, varia com o P-rem do solo (Quadro 9).

Para P pelo Mehlich-1, tem-se a estimativa da TR_{ext} em função do P-rem, por ser esse extrator sensível à capacidade tampão do solo. Isso ocorre devido à exaustão do extrator, causando uma redução da sua concentração ácida, pela protonação da superfície de óxidos hidratados de Fe e Al, que podem adsorver os ânions SO₄²⁻, ou mesmo readsorver o P já extraído (Holford & Mattingly, 1979; Holford, 1980; Muniz, 1983).

No subsistema solo, considera-se que o volume de solo em um hectare é igual a 1000 x 1000 x profundidade efetiva do sistema radicular (PER), em dm. Dessa forma, para converter os dados da análise de solo em mg dm⁻³ para kg ha⁻¹, multiplica-se pela PER. Os valores obtidos pela análise de solo divididos

Quadro 8. Equações de regressão para estimar as concentrações de nutrientes recuperados pelos extratores, em função das doses aplicadas ao solo⁽¹⁾

Nutriente	Extrator	Equação	R ²
K	Mehlich-1	$K\hat{r}ec. = 4,0 + 0,767758**Kapl$	0,957
Ca	KCl 1mol L ⁻¹	$Ca\hat{r}ec. = 0,2 + 0,766102**Caapl$	0,918
Mg	KCl 1mol L ⁻¹	$Mg\hat{r}ec. = 0,3 + 0,798972**Mgapl$	0,906
Cu	Mehlich-1	$Cu\hat{r}ec. = -0,1 + 0,775335**Cuapl$	0,977
Cu	DTPA	$Cu\hat{r}ec. = 0,9 + 0,488900**Cuapl$	0,997
Fe	Mehlich-1	$Fe\hat{r}ec. = 218,7 + 0,415825**Feapl$	0,973
Fe	DTPA	$Fe\hat{r}ec. = 65,3 + 0,186155**Feapl$	0,955
Mn	Mehlich-1	$Mn\hat{r}ec. = 88,0 + 0,887525**Mnapl$	0,965
Mn	DTPA	$Mn\hat{r}ec. = 38,6 + 0,692005**Mnapl$	0,939
B	Água quente	$B\hat{r}ec. = -0,0074689 + 0,452205**Bapl$	0,963

⁽¹⁾ K, Cu, Fe, Mn e B são dados em mg dm⁻³ e Ca e Mg em cmol_c dm⁻³. **: Significativo a 1 %.

Fonte: Adaptado de Mello (2000), Santos Neto (2003), Aspiazú (2004).

pelos valores de taxa de recuperação pelo extrator (Quadros 8 e 9) e multiplicado pelo PER, geram a quantidade de nutrientes no solo.

Nutriente fornecido pelos resíduos orgânicos

A escassez de dados da taxa de liberação dos nutrientes de resíduos orgânicos (constante k) em condições tropicais dificulta a obtenção de uma medida segura do fornecimento de nutrientes a partir deles. Entretanto, dados sobre decomposição e liberação de nutrientes de resíduos orgânicos (Buchanan & King, 1993; Luna-Orea, 1996; Oliveira, 1999; Andrade et al., 2000) serviram como base para obtenção dos valores das taxas de liberação dos diversos nutrientes (Quadro 10). Dividiu-se a quantidade de nutrientes

fornecidos pelos resíduos orgânicos de leguminosas e gramíneas pelas diferentes taxas de liberação dos nutrientes.

A carência de dados não possibilitou o estabelecimento das taxas de recuperação, pela planta, dos nutrientes fornecido pelos resíduos orgânicos. Dessa forma, essa taxa foi considerada 90 % tanto para gramíneas quanto para leguminosas (Quadro 10).

Os valores do quadro 10 das taxas de liberação e da taxa de recuperação, pela planta, dos nutrientes de resíduos orgânicos devem ser utilizados juntamente com os valores de produção de matéria seca e concentração de nutrientes (Quadros 11 e 12) na previsão da quantidade de nutrientes fornecida pelos resíduos orgânicos.

Quadro 9. Equações de regressão para estimar a taxa de recuperação, pelo extrator, do nutriente⁽¹⁾ aplicado via fertilizante (TR_{ext})⁽²⁾, em função do P-rem⁽³⁾

Nutriente	Extrator	Equação	R ²
P	Resina	$\hat{TR}_{ext} = 0,419^{***}P\text{-rem}^{0,128099}$	0,694
P	Mehlich - 1	$\hat{TR}_{ext} = 0,0672821 + 0,0121615^{**}P\text{-rem}$	0,681
S	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ em HOAc	$\hat{TR}_{ext} = 0,04 + 0,0057^{**}P\text{-rem}$	0,955
Zn	Mehlich - 1	$\hat{TR}_{ext} = 0,360254 - 0,0023386^{ns}P\text{-rem} + 0,000119843^{**}(P\text{-rem})^2$	0,932
Zn	DTPA	$\hat{TR}_{ext} = 0,48 - 0,004^{**}argila$	0,310

⁽¹⁾ em mg dm⁻³, ⁽²⁾ em mg dm⁻³/mg dm⁻³; ⁽³⁾ em mg L⁻¹. ns, **, ***: Não-significativo, significativo a 1 % e 0,1 %, respectivamente. Fonte: Adaptado de Campello (1993), Fernández Rojas (1995), Mello (2000) e Santos Neto (2003).

Quadro 10. Taxa de liberação dos nutrientes pelos resíduos vegetais (k), por ciclo, e taxa de recuperação, em percentagem, pela planta, dos nutrientes dos resíduos orgânicos ($TR_{pres.org.}$) de gramíneas e leguminosas

Nutriente	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	Gramínea									
k (%)	70	80	70	70	70	70	70	70	70	70
	Leguminosa									
k (%)	80	90	80	80	80	80	80	80	80	80
$TR_{pres.org.}$ (%)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

Quadro 11. Produção média de matéria seca total (MS) e concentração de macronutrientes de diversas culturas

Cultura	MS	P	K	Ca	Mg	S
	t ha ⁻¹	dag kg ⁻¹				
Milho, milheto e sorgo	15,26	0,25	1,68	0,30	0,27	0,17
<i>Brachiaria brizantha</i>	6,00	0,20	1,83	0,22	0,20	0,17
Aveia, trigo e triticale	3,54	0,16	2,00	0,38	0,17	0,17
Guandu, mucuna, tremoço e crotalária	5,55	0,20	1,76	0,78	0,28	0,17
Média	6,83	0,19	1,75	0,44	0,23	0,17

Fonte: Adaptado de Dalla Rosa, (1981), Ceretta et al. (1994), Motta (1994), Coelho & França (1995), Hernani et al. (1995), Scalea (1995), Séguéy & Bouzinac (1995), Magalhães (1997), Borkert et al. (1999), Zago (2001).

Quadro 12. Produção média de matéria seca total (MS) e concentração de micronutrientes de diversas culturas

Cultura	MS t ha ⁻¹	mg kg ⁻¹				
		Cu	Fe	Zn	Mn	B
Milho e sorgo	14,22	15,88	485,34	32,65	37,33	19,53
<i>B. brizantha</i>	6,00	3,33	503,50	29,67	153,83	19,53
Aveia preta	10,33	9,00	491,39	21,00	286,05	19,53
Guandu e mucuna preta	5,63	22,64	491,39	27,84	119,89	19,53
Tremoço	10,09	21,20	491,39	41,51	125,72	19,53
Média	9,26	14,41	492,60	30,53	144,56	19,53

Fonte: Adaptado de Dalla Rosa, (1981), Ceretta et al. (1994), Motta (1994), Coelho & França (1995), Hernani et al. (1995), Scalea (1995), Séguy & Bouzinac (1995), Magalhães (1997), Borkert et al. (1999), Zago (2001).

APLICAÇÃO DO SISTEMA

Recomendação de calagem

Considerando um solo com pH 5,0 e teores de Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H + Al e P-rem iguais a 0,8; 0,9; 0,6; 2,4 cmol_c dm⁻³ e 25 mg L⁻¹, respectivamente, recomendam-se 586 kg ha⁻¹ pelo método de neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ (PRNT do calcário de 87 %, superfície de cobertura igual a 100 % e profundidade de incorporação de 10 cm); e 251 kg ha⁻¹ pelo método da saturação por bases (saturação por bases esperada igual a 50 %, PRNT do calcário de 87 %, superfície de cobertura igual a 100 % e profundidade de incorporação de 10 cm). Pode-se optar pela recomendação de 251 kg ha⁻¹, que resulta em menor pH final do solo (5,15) em relação ao do primeiro método (5,35), que satisfaz o requerimento da cultura em Ca e Mg para uma produtividade esperada de 4.000 kg ha⁻¹ de grãos.

Recomendação de adubação

Considerando produtividade de grãos de soja e para a sustentabilidade (valor de escolha do agricultor ou técnico, com o intuito de deixar no solo uma reserva de nutrientes para o próximo cultivo – essa escolha vai depender do preço da soja, e dos fertilizantes, de modo a se manter a fertilidade do solo em nível conveniente e não zerá-la, como teoricamente o sistema permite) de 3.800 e 1.100 kg ha⁻¹, respectivamente; disponibilidade muito baixa a baixa para todos os nutrientes; P-rem de 25 mg L⁻¹ e sistema plantio convencional, com a cultura do milho antecedendo à da soja, com produção total de 4.000 kg ha⁻¹ de matéria seca, faz-se a seguinte seqüência de cálculos para a recomendação de P de acordo com as equações apresentadas no desenvolvimento do sistema: (a) usando o valor de 3.800 kg ha⁻¹ de produtividade de grãos na equação 3, obtém-se o valor de 10.069 kg ha⁻¹

de matéria seca total (MST). A matéria seca de grãos (msg) é obtida considerando 13 % de umidade: 3.800 x 0,87 = 3.306 kg ha⁻¹ de msg. A matéria seca das partes vegetativas da planta mais vagens (msvv) é obtida por diferença entre a MST e msg: 10.069 – 3.306 = 6.763 kg ha⁻¹ de msvv; (b) CUBP dos grãos (CUBPg) é calculado utilizando a equação para esse nutriente apresentada no quadro 2, que resulta no valor de 201,48 kg kg⁻¹. Dividindo-se a msg pelo CUBPg, tem-se: 3.306/201,48 = 16,4 kg de P na msg; (c) CUBP da msvv (CUBPmsvv) é calculado utilizando a equação para esse nutriente apresentada no quadro 4, que resulta no valor de 700,11 kg kg⁻¹. Dividindo-se a msvv pelo CUBPmsvv, tem-se: 6.763/700,11 = 9,7 kg de P na msvv; (d) somando-se os dois valores, tem-se: 16,4 + 9,7 = 26,1 de P na parte aérea da planta (demanda); (e) para se calcular o requerimento de nutrientes, há necessidade de se definir a taxa de recuperação, pela planta, do P aplicado ao solo, a lancha e incorporado via fertilizante, utilizando a equação do quadro 6, que resulta em 10,7 %; (f) dividindo-se a demanda da planta pela taxa de recuperação (dividida por 100), tem-se o requerimento de nutrientes pela planta: 26,1/0,107 = 243,9 kg de P; (g) essa mesma seqüência de cálculos, mas utilizando o valor de 1.100 kg ha⁻¹ para a sustentabilidade da produção, resulta em requerimento de 52,0 kg de P; e (h) para se calcular o requerimento total, soma-se o requerimento da planta e da sustentabilidade: 243,9 + 52,0 = 295,9 kg de P como requerimento total de P aplicado a lancha e incorporado. Para aplicação no sulco de plantio, utiliza-se o fator de correção calculado pela equação 5, que resulta em 3,2. Logo: 295,9/3,2 = 92,5 kg de requerimento total de P aplicado no sulco de plantio.

Seguindo a mesma seqüência de cálculos, no quadro 13 são apresentadas as recomendações das doses de nutrientes (considerando disponibilidade baixa dos nutrientes no solo) para as diferentes produtividades. Observa-se uma variação contínua

das doses recomendadas com a produtividade de grãos da soja. As doses de K são parceladas em duas ou três aplicações de acordo com a dose recomendada, respeitando-se um máximo de 70 kg ha⁻¹ de K (84 kg ha⁻¹ de K₂O) no plantio para se evitar efeito salino que possa prejudicar a germinação das sementes. O Ca e o Mg são fornecidos via calagem, no entanto o sistema faz o balanço para verificar se as demandas desses dois nutrientes foram atendidas pela calagem.

Comparação entre recomendações

As recomendações de P e K geradas pelo SIRSo foram comparadas com as recomendações de tabelas em uso em várias regiões agrícolas do País, com teores baixos dos nutrientes (Quadro 14). Observa-se que, para as menores produtividades, as recomendações pelo SIRSo se assemelham àquelas das tabelas. No entanto, considerando as produtividades mais altas, o SIRSo recomenda doses maiores que as indicadas

Quadro 13. Doses dos nutrientes a serem recomendadas pelo SIRSo para diferentes produtividades da soja

Produtividade (grãos)	P (M-1) ⁽¹⁾	P (RA) ⁽²⁾	K	Ca ⁽³⁾	Mg ⁽³⁾	S	Cu ⁽¹⁾	Fe ⁽¹⁾	Zn ⁽¹⁾	Mn ⁽¹⁾	B
2.000	34,0	39,0	26,0			0,0	1,5	0,0	4,5	0,5	2,5
2.500	44,5	50,0	59,0			4,5	2,0	0,0	6,0	1,5	3,0
3.000	55,5	61,0	101,5			8,5	2,5	0,0	7,5	2,0	3,5
3.500	66,5	72,0	154,5			12,0	3,0	3,0	8,5	2,5	4,0
4.000	78,0	83,0	186,5			15,0	3,5	5,5	9,5	3,0	4,5
4.500	89,0	94,0	234,0			18,0	4,0	8,0	10,5	3,5	5,0

⁽¹⁾ Considerando análise pelo extrator Mehlich-1. ⁽²⁾ Considerando análise pela Resina de troca aniônica. ⁽³⁾ O Ca e o Mg são fornecidos pela calagem e, somados ao Ca e Mg do solo e resíduos orgânicos, não há necessidade de recomendação adicional desses nutrientes.

Quadro 14. Doses de P e K recomendadas em relação ao P-rem, ao extrator e à produtividade de grãos, pelo SIRSo⁽¹⁾ e por algumas tabelas de importância no País

Nutriente	Prem	Produt. SIRSo ⁽¹⁾	SIRSo ⁽²⁾	IAC-SP	CFSEMG-MG	CQFS-SC/RS	CNPSO-PR	CPAC-Cerrado	
									mg L ⁻¹
P	3	2.500	56	57	35	52	46	41	74 ou 39 ⁽⁵⁾
	28	2.500	44	40	35	52	52	41	74 ou 35 ⁽⁵⁾
	52	2.500	39	33	35	52	57	41	66 ou 31 ⁽⁵⁾
K ⁽³⁾		2.500	61	61	58	100	75	116+75 ⁽⁴⁾	83
P	3	3.000	70	71	39	52			
	28	3.000	54	51	39	52			
	52	3.000	50	44	39	52			
K		3.000	84	84	66	100			
P	3	3.500	84	85	⁽⁶⁾				
	28	3.500	65	61	⁽⁶⁾				
	52	3.500	61	55	⁽⁶⁾				
K		3.500	135	135	66				
P	3	4.000	98	99	⁽⁶⁾				
	28	4.000	76	72	⁽⁶⁾				
	52	4.000	72	66	⁽⁶⁾				
K		4.000	167	167	66				

⁽¹⁾ Considerando plantio convencional e sustentabilidade zero para melhor comparação com os resultados das tabelas. ⁽²⁾ Considerando análise pelo Mehlich-1. ⁽³⁾ Considerando análise pela Resina (apenas para P). ⁽⁴⁾ Considerando parcelamento das doses, procurando manter o máximo de 60 kg ha⁻¹ de K no plantio, para se evitar “queima” das sementes. ⁽⁵⁾ 116 kg ha⁻¹ aplicados a lanço e incorporado mais 75 kg ha⁻¹ aplicados no sulco. ⁽⁶⁾ 74 kg ha⁻¹ aplicados a lanço e incorporados ou 39 kg ha⁻¹ aplicados no sulco, idem para os demais só modificando-se os valores. ⁽⁷⁾ O IAC-SP considera não ser possível obter essa produtividade com aplicação localizada de P em solos com teores muito baixos desse elemento

pelas tabelas, tanto para P quanto para K, o que está de acordo com estudos que demonstram subrecomendação de K, quando seguidas as indicações das tabelas (Borkert et al., 1997).

Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade objetiva avaliar o efeito de cada variável sobre as recomendações geradas pelo SIRSo. Assim, para cada nutriente procurou-se relacionar as variáveis que mais influenciam as doses recomendadas, submetendo cada uma à variação e mantendo-se as demais constantes.

Analisando a figura 2, observa-se, de forma geral, que produtividade e sustentabilidade são as variáveis que mais influenciam as doses recomendadas (maiores declividades), tanto para macro quanto para micronutrientes. Exceção para o S, em que o P-rem é a variável principal na variação das doses

recomendadas. Isso se justifica por ser o S um nutriente que tem sua disponibilidade influenciada pelo poder-tampão do solo (medido indiretamente pelo P-rem), como ocorre com o P, em especial, e o Zn. O teor disponível do nutriente para P e K interfere menos, no entanto, para os demais nutrientes e essa variável influencia muito na dose recomendada, principalmente para o Ca e micronutrientes. A quantidade de resíduos orgânicos no solo pouco interfere nas doses a serem recomendadas.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o desenvolvimento de sistemas baseados no balanço nutricional é eficiente para a recomendação da adubação para soja, com a vantagem de variação contínua das recomendações com a

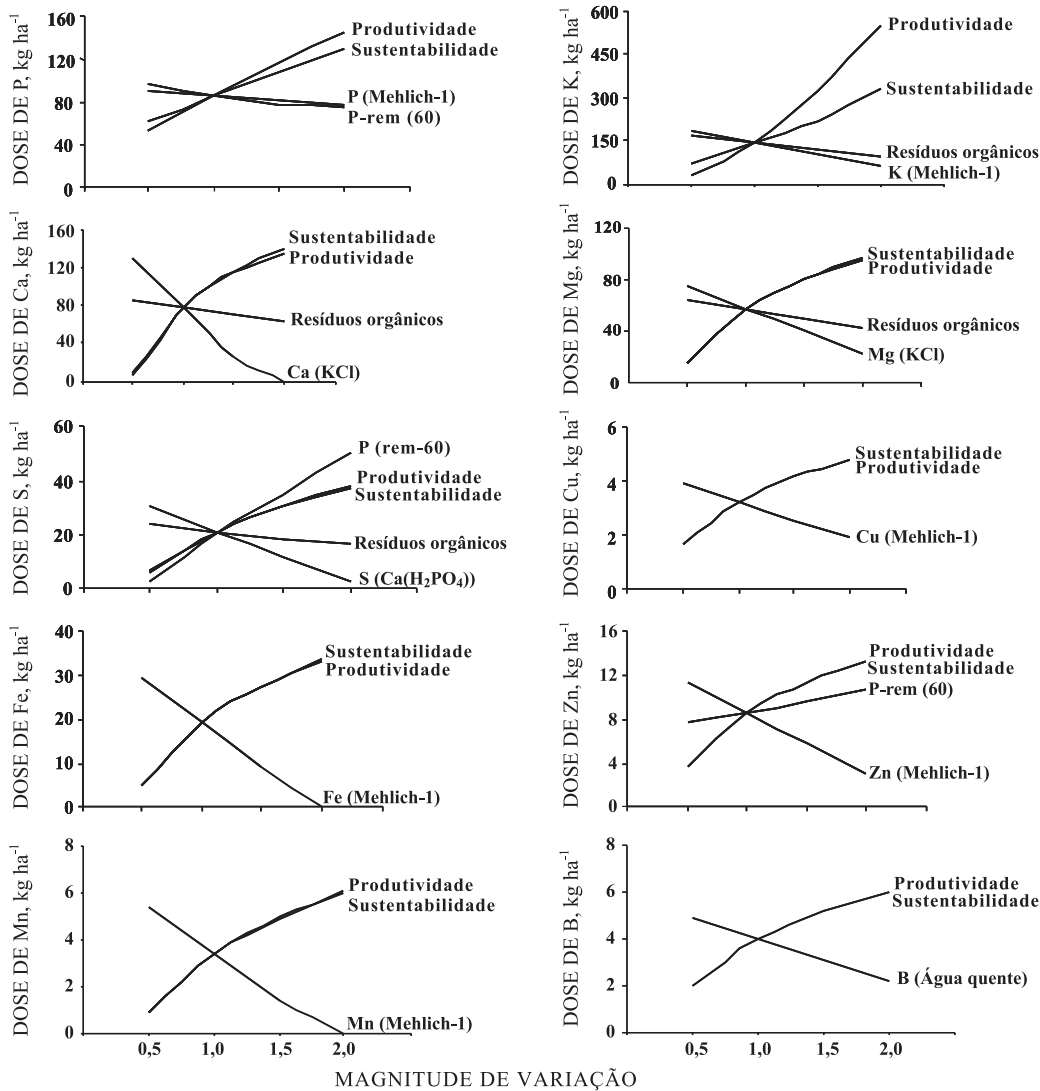


Figura 2. Análise de sensibilidade para a variação dos valores dos componentes utilizados na estimativa das doses de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e B a serem aplicadas.

produtividade de grãos e características do solo. No entanto, o SIRSo pode ser melhorado com dados de pesquisas, principalmente relacionadas à taxa de recuperação, pela planta, do nutriente aplicado ao solo; variação de CUB de P, S e Zn com o P-rem; relação entre dose de P aplicada a lanço e no sulco e, quanto aos micronutrientes, dados que relacionam todas as variáveis consideradas neste estudo.

LITERATURA CITADA

- AL-ITHAWI, B.; DEIBERT, E.J. & OLSON, R.A. Applied N and moisture level effects on yield, depth of root activity, and nutrient by soybeans. *Agron. J.*, 72:827-832, 1980.
- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, MG, CFSEMG, 1999. 359p.
- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S. & FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:777-785, 2000.
- ASPIAZÚ, I. Extração de ferro e manganês por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais e da Bahia. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 46p. (Tese de Mestrado)
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARMO, D.N. & NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma metodologia. *R. Árvore*, 10:106-112, 1986.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. & MIYASAKA, S. Extração e níveis de nutrientes. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C., eds. A soja no Brasil. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1981. 1062p.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. & NAGAI, V. Adubos fosfatados na absorção de fósforo pela soja em presença e ausência de calagem. *Bragantia*, 43:467-478, 1984.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; TEIXEIRA, J.P.F. & TISSELI FILHO, O. Acúmulo de matéria seca e nutrientes, em soja cultivar Santa Rosa. *Bragantia*, 35:237-247, 1976.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. & TISSELI FILHO, O. Composição mineral das sementes de nove cultivares de soja. *Bragantia*, 36:47-50, 1977.
- BEAVER, J.S. & COOPER, R.L. Dry matter accumulation patterns and seed yield components of two indeterminate soybean cultivars. *Agron. J.*, 74:380-383, 1982.
- BORKERT, C.M.; FARIAS, J.R.B.; SFREDO, G.J.; TUTIDA, F. & SPOLADORI, C.L. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo álico. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:1119-1129, 1997.
- BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E. & OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais da biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo para semeadura direta com rotação de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. Anais. Brasília, SBCS/Embrapa-CPAC, 1999. CD-ROM
- BROSE, E.; FREIRE, J.R.J. & MÜLLER, L. Relações entre genótipos de soja (*Glycine max*. (L.) Merrill), fixação simbiótica do nitrogênio e rendimento de grãos. *Agron. Sulriograndense*, 15:179-198, 1979.
- BUCHANAN, M. & KING, L.D. Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues in no-till and conventional till agroecosystems. *Agron. J.*, 85:631-638, 1993.
- BUREAU, M.F.; MEDERSKI, J. & EVANS, C.E. The effects of phosphatic fertilizer materials and soil phosphorus level on the yield and phosphorus uptake of soybeans. *Agron. J.*, 45:150-154, 1953.
- CAMPELLO, M.R. Avaliação da reversibilidade de fósforo não-lábil para lábil em solos com diferentes características químicas, físicas e mineralógicas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 63p. (Tese de Mestrado)
- CARDOSO, D.A.B. & REZENDE, P.M. Maximização da exploração da soja. IV. Efeito do espaçamento, densidade e altura de corte na produção de feno de grãos da rebrota. *Pesq. Agropec. Bras.*, 23:759-767, 1988.
- CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A. & SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosa na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:215-220, 1994.
- COELHO, A.M. & FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho. *Inf. Agron.*, 66:1-25, 1995. (Arquivo do Agrônomo, 2)
- COLASANTE, L.O. & COSTA, J.A. Índice de colheita e rendimento biológico, na comparação da eficiência de variedades de soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, 16:225-230, 1981.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/indicadores/0207-balanca-saldo.pdf>> Acesso em: 31 maio de 2006.
- CORDEIRO, D.S.; SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. & SILVEIRA, R.I. Extração de macronutrientes pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em função dos níveis de NPK. *An. ESALQ*, 36:551-604, 1979.
- CRASWELL, E.T. & GODWIN, D.C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. In: TINKER, P.B. & LAUCHLI, A., eds. Advances in plant nutrition. New York, Praeger Scientific, 1984. v.1. p.1-55.

- DALLA ROSA, A. Uma tese sobre solo; Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas dos solos degradados pelo cultivo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981. 115p. (Tese de Mestrado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja Tecnologias de produção de soja - Paraná - 2003. Londrina, Embrapa Soja, 2002. 195p. (Sistemas de Produção, 2)
- FERNÁNDEZ ROJAS, I.E.J. Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 94p. (Tese de Doutorado)
- FLANNERY, R.L. Plant food uptake in a maximum yield soybean study. *Better Crops*, 70:6-7, 1986.
- FLANNERY, R.L. The use of maximum yield research technology in soybean production. In: MUNSON, R.D., ed. *The physiology, biochemistry, nutrition and bioengineering of soybeans: Implications for future management*. Norcross, PPI/PPIC, 1989. p.160-174.
- GARCIA, A. Estudo de índice de colheita e de outras características agrônomicas de dez cultivares de soja, *Glycine Max* (L.) Merrill, e de suas correlações com a produção de grãos, em duas épocas de semeadura. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1979. 76p. (Tese de Mestrado)
- GILL, D.W. & KAMPRATH, E.J. Potassium uptake and recovery by an upland rice-soybean rotation on an Oxisol. *Agron. J.*, 82:329-333, 1990.
- HAAS, F.D. Plantio direto, fatores que interferem na eficiência da adubação. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, Passo Fundo, 1997. Resumo de palestras. Passo Fundo, 1997. 64p.
- HAM, G.E. & CALDWELL, A.C. Fertilizer placement effects on soybeans seed yield, N₂ fixation, and ³³P uptake. *Agron. J.*, 70:779-783, 1978.
- HANWAY, J.J. & WEBER, C.R. Accumulation of N, P and K by soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plants. *Agron. J.*, 63:406-408, 1971.
- HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C.; PITOL, C. & SALTON, J.C. Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul. Dourados, Embrapa-CPAO, 1995. 93p. (Embrapa-CPAO. Documentos, 4)
- HIROCE, R. Estimativa de extração e de exportação de macronutrientes pelas dez principais culturas do estado de São Paulo. *Agrônomo*, 37:161-165, 1985.
- HOLFORD, I.C.R. Effects of phosphate buffer capacity on critical levels and relationship between soil tests and labile phosphate in wheat – Growing soils. *Aust. J. Soil Res.*, 18:405-414, 1980.
- HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E.G. Effects of phosphate buffering on the extraction of labile phosphate by plants and by soil tests. *Aust. J. Soil Res.*, 17:511-514, 1979.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção agrícola municipal. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?ti=1&tf=99999&e=v&p=PA&z=t&o=10>> Acesso em: 31 maio de 2006.
- KOUTROUBAS, S.D.; PAPAKOSTA, D.K. & GAGIANAS, A.A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. *Eur. J. Agron.*, 9:1-10, 1998.
- LUNA-OREA, P.; WAGGER, M.G. & GUMPERTZ, M.L. Decomposition and nutrient release dynamics of two tropical legume cover crops. *Agron. J.*, 88:758-764, 1996.
- MAGALHÃES, R.T. Evolução das propriedades físicas e químicas de solos submetidos ao manejo pelo Sistema Barreirão. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 1997. 86p. (Tese de Mestrado)
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MASCARENHAS, H.A.A. Acúmulo de matéria seca, absorção e distribuição de elementos na soja, durante o seu ciclo vegetativo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1972. 101p. (Tese de Doutorado)
- MASCARENHAS, H.A.A.; NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T.; BULISANI, E.A. & HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *R. Bras. Ci. Solo*, 4:92-96, 1980.
- MELGES, E.; LOPES, N.F. & OLIVA, M.A. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. *Pesq. Agropec. Bras.*, 24:1073-1080, 1989.
- MELLO, M.S. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de calagem e fertilizante para a cultura de tomate. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91p. (Tese de Mestrado)
- MEURER, E.J.; MA WANG, G. & WANG, S.R. Função dos nutrientes e sintomas de deficiências. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C., eds. *A soja no Brasil*. Campinas, ITAL, 1981. p.156-167.
- MOTTA, A.C.V. Dinâmica de micronutrientes no sistema plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 4., Cruz Alta, 1994. Anais. Cruz Alta, 1994. p.139-154.
- MUNIZ, A.S. Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 79p. (Tese de Mestrado)
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- OHLROGGE, A.J. & KAMPRATH, E. Fertilizer use on soybeans. In: DINAUER, R.C., ed. *Changing patterns in fertilizer use*. Madison, Soil Science Society of America, 1968. p.273-295.

- OHLROGGE, A.J. Mineral nutrition of soybean. In: NORMAN, A.G., ed. *The soybean*, New York, Academic Press, 1963. p.125-160.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P. & PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:2359-2362, 1999.
- PARKER, M.B.; BOSWELL, F.C.; OHKI, K.; SHUMAN, L.M. & WILSON, D.O. Manganese effects on yield and nutrient concentration in leaves and seed of soybean cultivars. *Agron. J.*, 73:643-646, 1981.
- PAVINATO, A. A experiência da aplicação da atual metodologia de recomendação de corretivos e fertilizantes. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD ROM.
- PORTO, M.C.M.; SANTOS FILHO, J.M.; BARNI, N.A.; MINOR, H.C. & BERGAMASCHI, H. Resposta da soja (*Glycine max* (L) Merrill) à irrigação e níveis de fertilidade do solo. II: Absorção de nutrientes. *Agron. Sulriograndense*, 16:45-56, 1980.
- RAIJ, B.van. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1985. 107p. (Boletim Técnico, 100)
- RAIJ, B.van & GUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31p. (Boletim, 81)
- RANDALL, G.W.; SCHULTE, E.E. & COREY, R.B. Soil Mn availability to soybeans as affected by mono and diammonium phosphate. *Agron. J.*, 67:705-709, 1975a.
- ROSOLEM, C.A. & NAKAGAWA, J. Potassium uptake by soybean as affected by exchangeable potassium in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 16:707-726, 1985.
- SANTOS NETO, J.A. Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por diferentes extratores em solos da Bahia e de Minas Gerais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 51p. (Tese de Mestrado)
- SCALEA, M.J.A. Cultura do milheto e seu uso no plantio direto no cerrado. In: LANDERS, J.N., ed. Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado. Goiânia, Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1995. p.246-254.
- SÉGUY, L. & BOUZINAC, S. O plantio direto no Cerrado úmido. *Inf. Agron.*, 69:1-4, 1995.
- SFREDO, J.G.; BORKERT, C.M.; NEPOMUCENO, A.L. & OLIVEIRA, M.C.N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:41-45, 1997.
- SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E. eds. *Cerrado: Correção do solo e adubação*. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. 416p.
- TANAKA, R.T. & MASCARENHAS, H.A.A. Soja. Nutrição, correção do solo e adubação. Campinas, Fundação Cargil, 1992. 60p. (Série Técnica, 7)
- TOMÉ Jr., J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, Agropecuária, 1997. 247p.
- VARGAS, M.A.T.; PERES, J.R.R. & SUHET, A.R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para soja em um solo sob Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:1127-1132, 1982.
- VARVEL, G.E. & PETERSON, T.A. Nitrogen fertilizer recovery by soybean in monoculture and rotation systems. *Agron. J.*, 84:215-218, 1992.
- VEGAS COLMENAREZ, F.O. Eficiência agrícola de um fosfato natural parcialmente solubilizado e de um fosfato de fusão para arroz, soja e capim colômbio. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1987. 129p. (Tese de Mestrado)
- VENTURI, G. & AMADUCCI, M.T. La soja. Madrid, Mundi-Prensa, 1988. 254p.
- VITTI, G.C. & LUZ, P.H.C. Manejo químico do solo para alta produtividade da soja. In: CÂMARA, G.M.S., ed. *Tecnologia da produção*. Piracicaba, 1998. p.84-112.
- WELCH, C.D.; HALL, N.S. & NELSON, W.L. Utilization of fertilizer and soil phosphorus by soybeans. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 14:231-235, 1949.
- YAMADA, T. Adubação da soja para alta produtividade: implantação de programa de monitoramento nutricional. *Inf. Agron.*, 86:1-7, 1999.
- ZAGO, C.P. Forragens conservadas para o período da seca (silagem com pré-secagem). In: LARA CABEZÁS, W.A.R. & FREITAS, P.L., eds. *Plantio direto na integração lavoura-pecuária*. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2001. p.101-121.