

CONCENTRAÇÃO E PRODUTIVIDADE DE ÓLEO E PROTEÍNA DE SOJA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E DA CALAGEM¹

ROBERTO TETSUO TANAKA, HIPÓLITO ASSUNÇÃO ANTONIO MASCARENHAS²,
MARISA APARECIDA BISMARA REGITANO-D'ARCE³ e PAULO BOLLER GALLO⁴

RESUMO - Estudaram-se os efeitos da adubação potássica e calagem sobre o óleo e a proteína da soja (cv. IAC-14). O ensaio foi conduzido num Latossolo Vermelho-Escuro, de Mococa (SP), durante três anos agrícolas, sendo os dois últimos em seu efeito residual. As parcelas constaram da aplicação de calcário (0, 3,5 e 7,0 t/ha), e as subparcelas, de K₂O (0, 150, 300, 450 e 600 kg/ha). O K aumentou o teor de óleo em cerca de 2,2 pontos percentuais e diminuiu o de proteína entre 4,2 e 6,6. A calagem elevou o teor de proteína e diminuiu o de óleo. Na calagem com 3,5 t/ha, a máxima eficiência técnica (MET) em produtividade de óleo foi obtida entre 423 e 438 kg/ha de K₂O. Na calagem de 7,0 t/ha, a MET foi obtida com aplicação de 430 a 480 kg/ha de K₂O. Para alcançar a MET em produtividade de proteína na calagem de 3,5 e 7,0 t/ha, as doses necessárias de K₂O foram de 408 a 453 e 455 e 581 kg/ha, respectivamente.

Termos para indexação: composição química, máxima eficiência técnica.

EFFECT OF LIMING AND POTASSIUM ON SOYBEANS OIL AND PROTEIN CONCENTRATION AND YIELD

ABSTRACT - A study was made on the effects of potassium and liming on soybean ('IAC-14') oil and protein. The experiment was carried out in a Dark-Red Latosol at Mococa, during three years, in which in the last two years the residual effect of fertilizers was studied. A split plot design was used where the main plots consisted of liming (0, 3.5 and 7.0 t/ha), and the sub-plots were of K₂O (0, 150, 300, 450 and 600 kg/ha). The results showed that the K fertilization increased the oil content by 2.2 percentage points in the grains and decreased the protein percentage in 4.2 to 6.6. Liming increased the protein content and decreased the oil content. At the 3.5 and 7.0 t/ha of liming rate, the maximum yield (MY) of oil was obtained with the K₂O application between 423 to 438 and 430 to 480 kg/ha, respectively. To obtain MY of protein at 3.5 and 7.0 t/ha of liming rate, these doses were associated with the application of 408 to 453 and 455 to 581 kg/ha of K₂O, respectively.

Index terms: chemical composition, maximum yield.

INTRODUÇÃO

Basicamente, a soja é produzida para atender à demanda humana e animal de óleo e de proteína.

Apesar do interesse industrial nesses componentes, no Brasil, os teores de óleo e proteína em grãos de soja não são considerados para efeito de comercialização. No entanto, desejável que a alta produtividade de grãos seja também acompanhada de alta concentração daqueles componentes, pois diminui o custo dos produtos derivados da soja. A capacidade das plantas de soja em produzir grãos é uma característica quantitativa, controlada por inúmeros fatores genéticos e muito influenciada por fatores ambientais (Brim, 1973; Sedyama et al., 1981). Alguns são passíveis de alteração pelo homem, como as características químicas do solo. Assim, Nelson et al. (1946), De Mooy et al. (1973), Bhuiya &

¹ Aceito para publicação em 13 de janeiro de 1995.

Trabalho apresentado, com o auxílio da FAPESP, pelo primeiro autor, na XXI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, em Petrolina, PE.

² Eng. Agr., Dr., Inst. Agron., Seção de Leguminosas, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

³ Eng. Agr., Dr., ESALQ/USP, Dep. de Ciência e Tecnol. Agroind., Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP.

⁴ Eng. Agr., Inst. Agron., Estação Experimental de Mococa.

Chowdhury (1974), Gaydou & Arrivets (1983), Gallo et al. (1986), Tanaka et al. (1991) e Mascarenhas et al. (1991), relataram a ocorrência de variações nos teores de óleo e de proteína de soja resultantes do manejo da adubação ou da correção da acidez do solo.

O objetivo deste trabalho foi determinar a magnitude que a adubação potássica associada à calagem causaria sobre a concentração e a produtividade de óleo e de proteína da soja cultivar IAC-14.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um solo Latossolo Vermelho-Escuro álico, A moderado, textura argilosa, que apresentava as seguintes características químicas: pH em CaCl_2 , 4,2; matéria orgânica, 2,1%; P resina, 19 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$; K, 0,06; Ca, 0,50 e Mg, 0,10 (cátions em $\text{meq}/100\text{cm}^3$) e 12% de saturação de bases. O delineamento estatístico foi de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram testadas as doses de calcário dolomítico (0, 3,5 e 7,0 t/ha) e nas subparcelas, as doses de potássio (0, 150 300, 450 e 600 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$) aplicadas na forma de cloreto. Em junho de 1988, o calcário foi aplicado a lanço e incorporado na camada de 0-20 cm do solo; o cloreto de potássio também foi aplicado a lanço e incorporado, mas antecedendo imediatamente a semeadura. O fósforo foi aplicado anualmente no sulco, na base de 60 kg/ha de P_2O_5 , na forma de superfosfato simples. Como cultura-teste, foi escolhida a soja cv. IAC-14, cujas sementes foram devidamente inoculadas com as bactérias fixadoras do N atmosférico. No primeiro cultivo, foi estudado o efeito direto e, nos dois seguintes, os efeitos residuais. No estágio de pleno florescimento das plantas, dos três cultivos, foram amostradas folhas para as determinações dos teores de nutrientes. Após a colheita da soja da área útil para estimar-se a produtividade de grãos, amostras dos grãos foram moídas e passadas em peneira de 40 mesh para as determinações dos teores de proteína e de óleo. Determinou-se inicialmente o teor de nitrogênio total pelo método Kjeldahl, cujo valor foi multiplicado pelo fator convencional 6,25, para estimação do teor de proteína bruta. O teor de óleo foi determinado gravimetricamente após extração das amostras com hexano, a quente, em extrator Soxhlet, segundo os métodos da Association of Official Agricultural Chemists (1955). Após a colheita do ensaio, foi efetuada a amostragem do solo da camada 0-20 cm, em cada subparcela, para monitoramento da sua fertilidade.

Os dados obtidos foram submetidos a análises de

variância e de regressão, sendo apresentados e discutidos somente aqueles que evidenciaram efeitos significativos. A máxima eficiência técnica (MET) e a correspondente dose de adubo potássico foram obtidas derivando-se as equações quadráticas. Variáveis como produtividade de grãos, resultados das análises químicas do solo e das folhas e características físicas, fisiológicas e sanitárias das sementes de soja serão apresentadas e discutidas exaustivamente em outros trabalhos científicos específicos de cada linha de pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito sobre o óleo

Não houve interação significativa entre doses de calcário e de potássio sobre os teores de óleo de soja

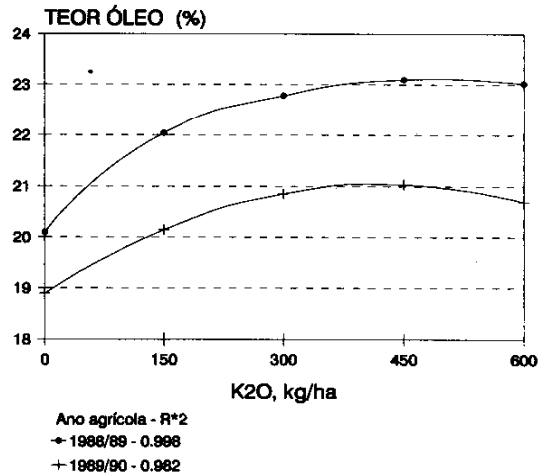


FIG. 1. Efeito da adubação potássica sobre o teor de óleo da soja cultivada em solo Latossolo Vermelho-Escuro álico de Mococa (SP). Média de dois anos agrícolas.

nos três cultivos. A Fig. 1 ilustra somente a resposta, de forma quadrática, às doses de adubação potássica, dos dois primeiros cultivos. No terceiro, não houve efeito também desse fator. Em amendoim, Bhuiya & Chowdhury (1974) verificaram que a adubação potássica não aumentou o teor de proteí-

na, mas o de óleo. O acréscimo no teor de óleo em soja em decorrência da adubação potássica também foi verificado por Nelson et al. (1946) e Morse (1959), tendo os primeiros autores relatado um valor da ordem de 1 ponto percentual de aumento. No presente trabalho, o incremento máximo alcançado pela adubação com potássio foi de 2,2 pontos percentuais no cultivo de 1988/89. A maior concentração de óleo (23,12%) na safra de 1988/89 (efeito direto) seria atingida pela aplicação de 494,5 kg/ha de K_2O , enquanto, na safra seguinte (residual), a máxima concentração (21,0%) seria obtida com a aplicação de 418,8 kg/ha de K_2O .

Sobre a produtividade de óleo, verificou-se que houve interação significativa entre os fatores em estudo, nos três cultivos. A Fig. 2 mostra as curvas de resposta à adubação potássica associada às dosagens de calcário, nos três anos agrícolas.

No cultivo de 1988/89 (Fig. 2a), observaram-se respostas quadráticas à adubação com potássio em quaisquer doses de calagem. Observou-se que, na ausência de adubação potássica, a calagem aplicada na dose máxima proporcionou a menor produtividade de óleo. As plantas de soja de todos os cultivos dos tratamentos que não receberam adubo potássico ou o receberam em menores doses apresentaram, desde aproximadamente 20 dias de idade, sintomas característicos de deficiência desse nutriente, como pequeno desenvolvimento e clorose, inicialmente marginal, iniciando-se na ponta do fótiolo, e posteriormente necrose. As análises químicas das folhas indicaram amplitudes entre 0,47 e 2,17 de K/Ca e entre 1,04 e 6,10 de K/Mg. Relações extremas como essas podem indicar possível desequilíbrio nutricional, com perda no rendimento de óleo. Miranda et al. (1984) verificaram que o desbalanço entre o K e o Mg foi prejudicial à produtividade de soja, que foi induzido pelo excesso do primeiro nutriente. Entre as doses de 150 e 600 kg/ha de K_2O , as produtividades de óleo proporcionadas por 3,5 e 7,0 t/ha de calcário foram semelhantes, indicando a economicidade da menor dose de corretivo. Verificou-se que as mesmas dosagens de K, quando associadas à calagem, resultaram em maiores produtividades, em consequência, principalmente, do maior rendimento de grãos. Sem a calagem, a dose que proporcionou a máxima eficiência técnica (MET) em

produtividade de óleo, de 766 kg/ha, foi de 484,4 kg/ha de K_2O . Já com a calagem de 3,5 t/ha, a dose de 438,3 kg/ha de K_2O proporcionou o maior rendimento de óleo, que foi de 923 kg/ha. Com a aplicação de 7,0 t/ha de calcário, a MET, de 955 kg/ha, foi alcançada com a 430,9 kg/ha de K_2O . Para atingirem aquelas eficiências crescentes, houve, portanto, uma menor necessidade de adubo potássico, à medida que se aplicou mais calcário. Nos tratamentos com a calagem de 3,5 t/ha, observou-se incremento máximo de 20,4% pela aplicação do adubo potássico.

No cultivo de 1989/90 (Fig. 2b), as produtividades foram menores do que as do cultivo anterior, por causa da estiagem que afetou o rendimento de grãos de soja e, conseqüentemente, o de óleo. Verificou-se novamente a equivalência do efeito da calagem entre as doses de 3,5 e 7,0 t/ha, indicando a maior economicidade da primeira. Pelo provável desbalanço catiônico, também relatado por Miranda et al. (1984) e Mascarenhas et al. (1987), na ausência da calagem, a resposta à adubação potássica foi modesta, se comparada com a resposta obtida na presença daquela prática corretiva, evidenciando a atuação da "lei do mínimo", de Liebig. As METs em rendimento de óleo (569 e 593 kg/ha) foram alcançadas com a aplicação de 423,5 e 480,0 kg/ha de K_2O , respectivamente, quando associadas à calagem de 3,5 e 7,0 t/ha. Como no cultivo anterior, os extremos das doses aplicadas de K proporcionaram menores rendimentos de óleo quando associadas à calagem. Na ausência de adubação potássica, a dose maior de corretivo foi limitada por excesso desse fator, enquanto na dose de 3,5 t/ha de calcário foi limitada por falta.

No último cultivo (2º ano de efeito residual), houve uma nítida tendência de resposta linear (Fig. 2c), mostrando que novas combinações de doses de calagem e adubação potássica possibilitariam o aumento da produtividade e assim alcançariam resposta quadrática. Em vista disso, é importante destacar a necessidade de equilíbrio entre nutrientes, principalmente catiônicos, em relação às características químicas e físicas de cada tipo do solo, de forma a proporcionar a máxima eficiência econômica da cultura. Com tal propósito, relações ideais entre os cátions (Ca + Mg)/K do solo da ordem de 28 a 31 para o

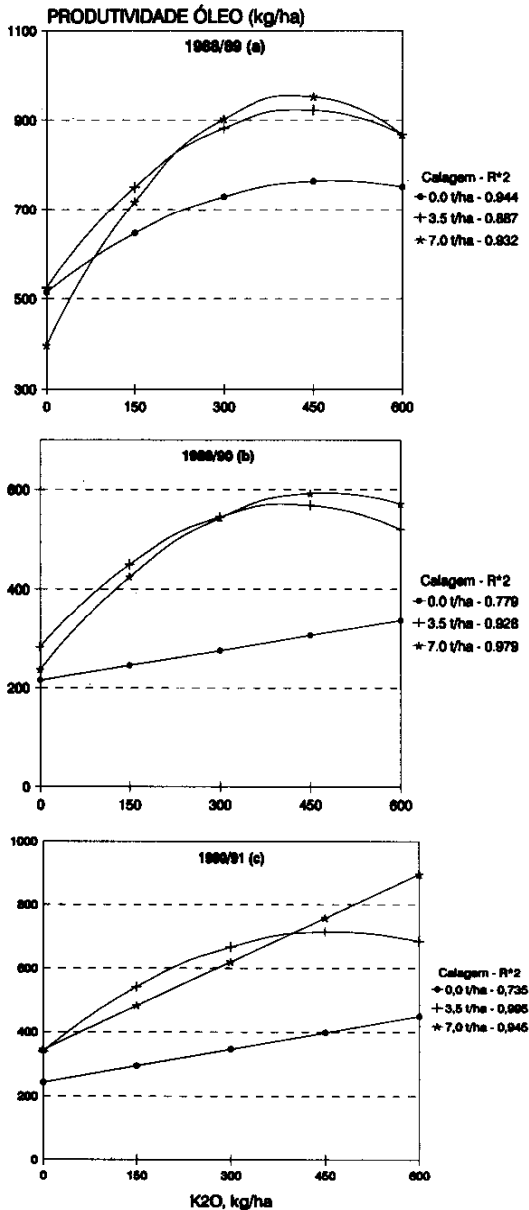


FIG. 2. Efeito da adubação potássica e da calagem sobre a produtividade de óleo da soja cultivada (três anos agrícolas) em solo Latossolo Vermelho-Escuro álico de Mococa (SP).

rendimento da soja no Estado de São Paulo foram relatadas por Mascarenhas et al. (1987).

Efeito sobre a proteína

Sabe-se que existe uma relação inversa entre o teor de óleo e o de proteína nos grãos de soja, cujos valores aproximados são, respectivamente, de 20 e 40%, e que essa relação se deve a fatores genéticos e ambientais (Brim, 1973). Como houve aumento no teor de óleo decorrente da adubação potássica, verificou-se decréscimo no teor protéico. A Fig. 3 demonstra essa tendência. Steinberg, citado por De Mooy et al. (1973), relatou que as plantas de soja deficientes em potássio caracterizavam-se pelo maior teor de aminoácidos nitrogenados nas folhas e hastes e redução nos teores de açúcares e carboidratos. Gaydou & Arrivets (1983) verificaram que a adubação potássica aumentou significativamente o teor de óleo e diminuiu o de proteína em grãos de soja. No cultivo de 1988/89 e de 1990/91, notou-se nitidamente que a calagem, pela melhoria nas condições de fixação biológica do nitrogênio atmosférico, proporcionou, geralmente, maiores teores de proteína, independentemente da dose de potássio aplicada. Tanaka et al. (1991) haviam relatado a ocorrência de aumento na concentração de proteína e a diminuição no teor de óleo da soja, com a prática da calagem.

A queda máxima no teor de proteína decorrente da adubação potássica foi de 6,63 pontos percentuais (44,47 a 37,84%), em tratamentos com 7,0 t/ha de calcário. A menor concentração foi alcançada com a aplicação de 295,4 kg/ha de K₂O. O aumento do teor de proteína na maior dose de calcário e de adubação potássica pode ser atribuído ao equilíbrio ideal entre os nutrientes catiônicos e principalmente ao efeito da calagem em suplantiar (aumentando) o efeito do potássio (diminuindo).

No segundo cultivo, no ano agrícola de 1989/90, não foi observada interação significativa entre os fatores calagem e adubação potássica, conforme ilustrado na Fig. 3b. Na média das três dosagens de calcário, o potássio diminuiu o teor de proteína de 39,99 para 35,43%, pela aplicação de 421,9 kg/ha de K₂O.

No último cultivo, 1990/91 (Fig. 3c), não se observou efeito significativo da adubação potássica

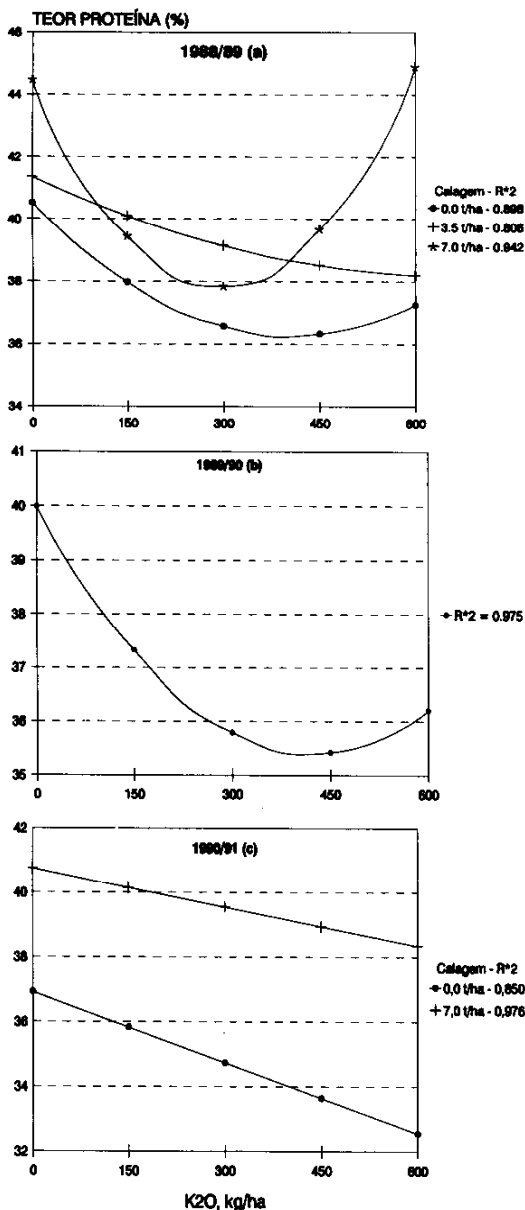


FIG. 3. Efeito da adubação potássica e da calagem sobre o teor de proteína da soja cultivada (três anos agrícolas) em solo Latossolo Vermelho-Escuro álico de Mococa (SP).

quando associada à calagem de 3,5 t/ha; entretanto, nas combinações com 0 e 7,0 t/ha de corretivo, o efeito foi linear e negativo. A alteração no tipo de curva de resposta da cultura aos dois fatores em estudo pode ser atribuída às perdas quantitativas diferenciadas entre os nutrientes por exportação, lixiviação e erosão.

A Fig. 4 apresenta os efeitos das interações entre os fatores calagem e adubação potássica sobre a produtividade de proteína durante os três cultivos. Verificou-se, nas três safras, que a calagem proporcionou rendimentos sempre superiores, quando comparados com outros, na ausência dessa prática. Esse efeito é atribuído à maior fixação biológica do nitrogênio atmosférico e ao aumento de produtividade de grãos, conforme demonstraram Tanaka et al. (1991). Pelas Figs. 4a e 4b, nota-se a perda da eficiência do adubo potássico quando aplicado sem a devida correção do complexo acidez do solo, com conseqüente menor rendimento de proteína.

Apesar de a adubação potássica ter proporcionado menor concentração de proteína nos grãos (Fig. 3), essa prática incrementou a produtividade desse componente. Esse fenômeno ocorreu, pois a taxa de aumento de rendimento de grãos superou a taxa de diminuição do teor de proteína decorrente da adubação potássica. Para ilustrar tal ocorrência, a Tabela 1 mostra os dados do ensaio de 1988/89, fixando-se a calagem em 3,5 t/ha. O potássio aplicado aumentou a produtividade de soja em torno de 117% e reduziu o teor de proteína em 11%; entretanto, resultou em incremento no rendimento de proteína por unidade de área.

A Fig. 4a expressa o rendimento de proteína no efeito direto (1988/89). Com a aplicação de 3,5 t/ha de calcário, a MET de 1581 kg/ha foi alcançada com 414,1 kg/ha de K₂O, enquanto, nos tratamentos com 7,0 t/ha de corretivo, o máximo rendimento (1690 kg/ha) foi obtido com 547,8 kg/ha de K₂O. Os incrementos máximos pela aplicação de K foram de 48 e 92%, quando associada à calagem de 3,5 e 7,0 t/ha, respectivamente.

No efeito residual de 1989/90 (Fig. 4b), verificou-se que a MET (1030 kg/ha) em 3,5 t/ha de corretivo foi obtida com 408,5 kg/ha de K₂O, enquanto, na calagem com 7,0 t/ha, o rendimento máximo de 1.109 kg/ha de proteína foi obtido com 455,3 kg/ha de K₂O. Em relação à testemunha, sem

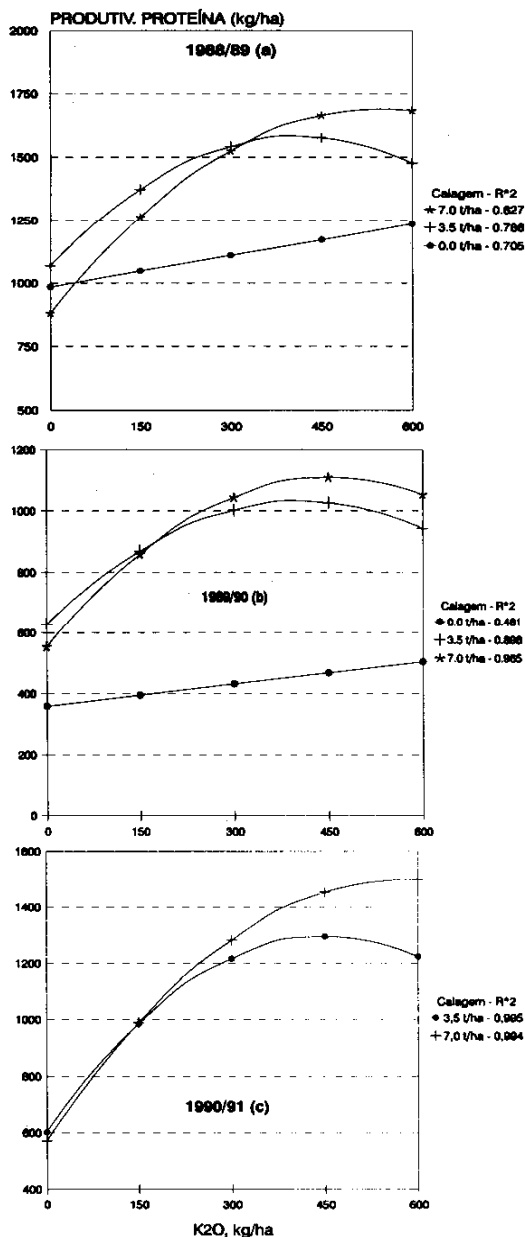


FIG. 4. Efeito da adubação potássica e da calagem sobre a produtividade de proteína da soja cultivada (três anos agrícolas) em solo Latossolo Vermelho-Escuro álico de Mococa (SP).

TABELA 1. Efeito das doses de adubação potássica associada à calagem de 3,5 t/ha sobre a produtividade de grãos de soja, os teores de óleo e proteína e a produtividade desses componentes. Mococa, 1988/89.

K ₂ O	Grãos de soja	Óleo		Proteína	
		Teor	Produtiv.	Teor	Produtiv.
	---kg/ha---	%	kg/ha	%	kg/ha
0	2.570	20,26	521	41,35	1.063
150	3.430	21,67	743	40,09	1.375
300	3.935	22,49	885	39,46	1.553
450	4.085	22,74	929	38,67	1.580
600	3.880	22,40	869	37,87	1.469

aplicação de K, os acréscimos foram de 64 e 101%, respectivamente, quando associados à calagem de 3,5 e 7,0 t/ha.

No último ano de efeito residual, 1990/91 (Fig. 4c), observou-se que o rendimento máximo de 1.296 kg/ha de proteína foi atingido com a aplicação de 453,2 kg/ha de K₂O, quando combinada com a calagem de 3,5 t/ha, enquanto, com a de 7,0 t/ha, a MET de 1.499 kg/ha foi obtida com a aplicação de 581,0 kg/ha de K₂O. O aumento máximo alcançado pela aplicação de K nos tratamentos com 3,5 t/ha de corretivo foi de 115%, enquanto, com 7,0 t/ha, foi de 163%. Esses números comprovaram, na prática, que a calagem proporcionou maior eficiência de aproveitamento do adubo potássico pela cultura da soja.

CONCLUSÕES

1. A adubação potássica aumentou o teor de óleo de grãos de soja em cerca de 2,2 pontos percentuais e diminuiu o de proteína entre 4,2 e 6,6 pontos percentuais.

2. A calagem elevou o teor de proteína e diminuiu o de óleo em grãos de soja.

3. Considerando os efeitos diretos e os residuais na calagem de 3,5 t/ha, a máxima eficiência técnica (MET) em produtividade de óleo foi obtida entre as doses de 423 e 438 kg/ha de K₂O, enquanto, na calagem de 7,0 t/ha, as doses para obtenção de MET estiveram entre 430 e 480 kg/ha de K₂O.

4. Para alcançar a MET em produtividade de proteína na calagem de 3,5 t/ha, as doses variaram entre

408 e 453 kg/ha de K_2O , enquanto, nos tratamentos com 7 t/ha de calcário, as doses variaram entre 455 e 581 kg/ha de K_2O .

AGRADECIMENTOS

À Técnica de Laboratório da Seção de Leguminosas do IAC, Virginia Maria Barbosa Villar, pelo preparo das amostras de sementes, solo e folhas analisadas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. *Official methods of analysis*. 8.ed., Washington, D.C., 1955.
- BHUIYA, Z.H.; CHOWDHURY, S.U. Effects of N, P, K, and S on the protein and oil content of groundnut in Brahmaputra flood-plain soil. *Indian Journal of Agricultural Science*, v.44, p.751-754, 1974.
- BRIM, C.A. Quantitative genetics and breeding. In: CALDWELL, B.E.; HOWELL, R.W.; JUDD, R.W.; JOHNSON, H.W. *Soybeans: improvement, production, and uses*. Madison: American Society of Agronomy, 1973. p.155-186.
- DE MOOY, C.J.; PESEK, J.; SPALDON, E. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B.E.; HOWELL, R.W.; JUDD, R.W.; JOHNSON, H.W. *Soybeans: improvement, production, and uses*. Madison: American Society of Agronomy, 1973. p.267-352.
- GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A.; QUAGGIO, J.A.; BATALIA, O.C. Resposta diferencial das culturas de soja e sorgo à calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, p.253-258, 1986.
- GAYDOU, E.M.; ARRIVETS, J. Effects of phosphorus, potassium, dolomite, and nitrogen fertilization on the quality of soybean. Yields, proteins, and lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.31, n.4, p.765-769, 1983.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C.; LELIS, L.G.L.; BULISANI, E.A.; BRAGA, N.R.; PEREIRA, J.C.V.N.A. *Haste verde e retenção foliar em soja causada por deficiência de potássio*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 15p. (Bol. téc., 119).
- MASCARENHAS, H.A.A.; TEIXEIRA, J.P.F.; NAGAI, V.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; MIRANDA, M.A.C. Rates of liming on the concentration and yield of oil and protein in soybeans. In: INTERNATIONAL MEETING ON FATS & OILS TECHNOLOGY, 1991. Campinas. *Proceedings ...* Campinas: UNICAMP, 1991, p.157-161.
- MIRANDA, M.A.C.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; FALIVENE, S.M.P. Clorose intermerval em folhas de soja induzida por deficiência de magnésio. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., 1984, Campinas. *Anais ...* Londrina: EMBRAPA, 1984, p.703-708.
- MORSE, W.J. Chemical composition of soybean seeds. In: MARKLEY, K.S. *Soybeans and soybean products*. New York: Interscience, 1959. p.135-156.
- NELSON, W.L.; BURKHARDT, L.; COLWELL, W.E. Fruit development, seed quality, chemical composition, and yield of soybeans as affected by potassium and magnesium. *Soil Science Society America Proceedings*, v.10, p.224-229, 1946.
- SEDIYMA, T.; ALMEIDA, L.A.; MIYASAKA, S.; KIHHL, R.A.S. Genética e métodos de melhoramento. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. *A soja no Brasil*. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. p.209-226.
- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C. Effect of liming on soybean protein and oil yield. *Better Crops International*, Atlanta, v.7, n.2, p.9, 1991.