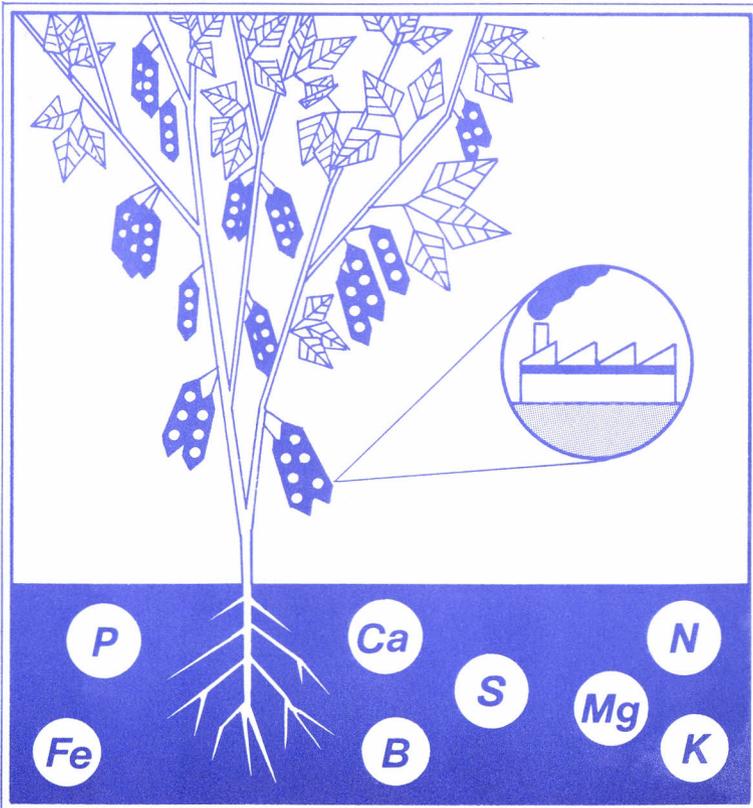




Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro Nacional de Pesquisa de Soja – CNPSo
Londrina, PR

IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO E DA NUTRIÇÃO NA QUALIDADE DA SOJA





EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA

Vinculada ao Ministério da Agricultura

Centro Nacional de Pesquisa de Soja - CNPSo

Londrina, PR



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

presidente

FERNANDO COLLOR DE MELLO

ministro da agricultura e reforma agrária

ANTONIO CABRERA MANO FILHO

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

presidente

CARLOS MAGNO CAMPOS DA ROCHA

diretores

ALI ALDERSI SAAB

DÉCIO LUIZ GAZZONI

TÚLIO BARBOSA

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA

chefe

RUBENS JOSÉ CAMPO

chefe adjunto técnico

NORMAN NEUMAIER

chefe adjunto de apoio

LUIZ CARLOS MIRANDA

As informações contidas neste documento somente poderão ser reproduzidas com a autorização expressa da Área de Difusão de Tecnologia do CNPSo.

**IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO E DA NUTRIÇÃO NA
QUALIDADE DA SOJA**

Gedi Jorge Sfredo

Mercedes C. Carrão-Panizzi

Londrina, PR

1990

Exemplares desta publicação podem ser solicitados ao:

SETOR DE COMUNICAÇÃO

Rod. Carlos João Strass (Londrina/Warta)

Acesso Orlando Amaral

Telefone: (0432) 20.4166

Telex: (432) 208

Caixa Postal, 1061

86.001 - Londrina, PR

Tiragem: 2.000 exemplares

COMITÊ DE PUBLICAÇÕES

Léo Pires Ferreira (Presidente)

Antonio Ricardo Panizzi

Carlos Caio Machado

Francisco C. Krzyzanowski

Ivan Carlos Corso

José de Barros França Neto

Ivania A. L. Donadio (Secretária)

Normalização: Ivania A. L. Donadio

SETOR DE COMUNICAÇÃO

Responsável: Sandra Zambudio

Fotolitos: Hêlvio Borini Zemuner

Composição: Ione Aparecida dos Santos

Digitação: Sandra Regina da Silva

Revisão: Sara Piccinini Dotto

Capa e Arte Final: Danilo Estevão

Impressão: Décio de Assis

Acabamento: Nilson Valentim de Souza

Sfredo, Gedi Jorge

Importância da adubação e da nutrição na qualidade da soja por Gedi Jorge Sfredo e Mercedes C. Carrão Panizzi. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1990. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 40).

57 p.

1. Soja-Adubação. 2. Soja-Adubação-Macronutriente. 3. Soja-Adubação-Micronutriente. 4. Soja-Nutrição. 5. Soja-Grão. 6. Soja-Grão-Qualidade. I. Carrão-Panizzi, Mercedes C. II. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. III. Título. IV. Série.

CDD: 633.34891

© EMBRAPA, 1990

Conforme Lei 5.988 de 14.12.73.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	5
2. SITUAÇÃO DA PRODUÇÃO	6
3. VALOR NUTRITIVO DA SOJA.....	12
4. FUNÇÕES DOS NUTRIENTES.....	19
4.1. Macronutrientes - N, P, t, Ca, Mg e S	19
4.1.1. Nitrogênio (N)	19
4.1.2. Fósforo (P)	20
4.1.3. Potássio (K)	21
4.1.4. Cálcio (Ca)	21
4.1.5. Magnésio (Mg)	22
4.1.6. Enxofre (S)	22
4.2. Micronutrientes (Fe, Mn, An, Cu, B, Mo, Cl, Ni e Co).....	23
4.2.1. Ferro (Fe)	23
4.2.2. Boro (B)	23
4.2.3. Cloro (Cl).....	24
4.2.4. Molibdênio (Mo)	24
4.2.5. Cobre (Cu)	24
4.2.6. Zinco (Zn)	25
4.2.7. Manganês (Mn).....	25
4.2.8. Níquel (Ni)	26
4.2.9. Cobalto (Co)	26
5. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA SOJA	26
5.1. Extração e exportação de nutrientes	26
5.2. Acúmulo de matéria seca da planta	29
5.3. Acúmulo de nutrientes na planta	30

6. RESPOSTAS DA SOJA A NUTRIENTES APLICADOS.....	31
6.1. Nitrogênio (N).....	31
6.2. Potássio (K).....	32
6.3. Enxofre (S).....	36
6.4. Molibdênio (Mo).....	39
6.5. Interação entre nutrientes.....	43
6.5.1. Nitrogênio e Potássio (N e K).....	43
6.5.2. Fósforo e Potássio (P e K).....	44
6.5.3. Nitrogênio e Enxofre (N e S).....	45
6.5.4. Fósforo, Enxofre e Molibdênio (P, S e Mo).....	47
6.5.5. Enxofre e Zinco (S e Zn).....	51
BIBLIOGRAFIA.....	52

IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO E DA NUTRIÇÃO NA QUALIDADE DA SOJA¹

*Gedi Jorge Sfredo²
Mercedes C. Carrão-Panizzi²*

1. INTRODUÇÃO

A soja vem, há quinze anos, constituindo-se na principal cultura do Sul do Brasil. A ampla demanda do grão e dos seus derivados nos mercados interno e externo estimulou a expansão desta oleaginosa para regiões de menores latitudes como os cerrados do Brasil Central e algumas regiões limítrofes do trópico semi-árido. Devido a isso, a área cultivada evoluiu de 0,8 milhões de hectares em 1966/70, para 11,5 milhões em 1988/89, com aumento da produção de 0,9 para cerca de 20,0 milhões de toneladas, no mesmo período.

O diagnóstico da produção da soja no Brasil mostra que o aumento da produção, nos últimos seis anos, tem decorrido basicamente do aumento da área cultivada. Há uma expectativa de que a produção de soja continue apresentando acréscimos, pelo menos até o final deste século, pois, além da contínua expansão da demanda mundial de alimentos, prin-

¹ Trabalho apresentado no "I Simpósio sobre adubação e qualidade dos produtos agrícola" 15 a 18/08/89. Ilha Solteira, SP.

² Eng^o Agr^o Pesquisador da EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo) - Cx. Postal 1061. CEP 86.001 - Londrina, PR.

principalmente os protéicos, espera-se, no nível interno, um incremento substancial do consumo de proteína da soja na alimentação humana, seja de forma direta ou no enriquecimento de outros alimentos. Além do aumento na produção de grãos de soja, deve-se ter como prioridade a manutenção ou o aumento na qualidade do produto final. Para a obtenção de uma melhor qualidade da soja é necessário considerar as seguintes características:

- o teor e a qualidade da proteína, no caso do consumo humano ou animal;
- as características tecnológicas desejáveis para o preparo de alimentos à base de soja (sabor, aparência, etc.);
- o grau de aceitação do consumidor: nesse caso, campanhas devem ser iniciadas para o brasileiro consumir mais soja;
- o teor e a qualidade do óleo da soja destinada às indústrias de processamento; e
- resíduos de produtos químicos aplicados à cultura.

Essas características estão basicamente ligadas ao controle genético da planta, porém a expressão das mesmas depende de vários fatores, entre os quais: adubação e nutrição mineral da planta, doenças, pragas, clima, etc.

2. SITUAÇÃO DA PRODUÇÃO

A Tabela 1 mostra a evolução da produção de soja dos principais países produtores do mundo.

Os Estados Unidos continuam sendo o maior produtor mundial. Entretanto, no período de 1971 a 1975, sua produção equivalia a 66% do total, enquanto na safra 1988/89 foi de 44% do total. Mesmo com esse decréscimo em relação à produção mundial, sua produção estabilizou-se em 50 milhões de toneladas. Nota-se que o Brasil e a Argentina estão aumentando sua produção anualmente. Isso se deve, principalmente, ao aumento da área de plantio nesses países.

A produção do Brasil, na safra 1988/89, equivale a 21% da produção mundial, enquanto que no período de 1971 a 1975 não passava dos 10%. E, a continuar no ritmo acelerado de aumento de produção, em torno de 10% ao ano, chegará ao ano 2000 com uma produção de 40 milhões de toneladas. A maior preocupação deve estar voltada para a produção de alimentos, em quantidade e qualidade, suficiente para abaste-

TABELA 1. Área, produção e produtividade da soja no Brasil e no mundo, nos períodos de 1971 a 1975 e 1982/83 a 1988/89.

Período/ Ano País Produtor	1971 a 1975		1982/83 a 1986/87		1987/88		1988/89	
	Área ¹	Prod ¹ kg/ha	Área	Prod. kg/ha	Área	Prod. kg/ha	Área	Prod kg/ha
E.U.A.	-	34.80	25.73	52.94	23.06	52.33	22.99	41.15
Brasil	3.70	5.61	9.29	15.99	10.51	17.80	11.50	20.00
China	-	9.50	7.86	10.12	8.45	12.18	8.30	11.00
Argentina	-	0.22	3.06	6.45	4.26	9.90	5.00	11.00
Outros	-	3.00	6.11	7.46	7.62	10.65	7.89	11.11
TOTAL		53.13	52.05	92.96	53.89	102.86	55.69	94.25
			1790	1910	1790	1910	1910	1690

¹ Área = milhões de hectare; produção = milhões de toneladas
Fonte: (Foreign Agricultural Service: Oil Seeds and Products. (1982-88).

cer o consumo interno e incrementar a exportação, acompanhando o crescimento da população mundial.

Comparando a produção de grãos de oleaginosas, no Brasil, verifica-se que a soja corresponde a 92% da produção total (Tabela 2). A Tabela 3 mostra que 93% da produção e do consumo de óleos vegetais equivalem ao óleo de soja. Esses dados mostram a importância da soja quanto à produção e ao consumo de óleo vegetal, quando comparada a outras oleaginosas, para a população brasileira.

TABELA 2. Participação da soja na produção de oleaginosas, nas safras 1982/83 a 1986/87, 1987/88 e 1988/89, no Brasil.

Safras	Oleaginosas ¹ (1000 t)	Soja (1000 t)	Soja/Oleaginosas (%)
1987/88	19.350	17.800	91.99
1988/89	21.580	20.000	92.68

¹ Inclui soja, caroço de algodão e amendoim.

Fonte: Foreign Agricultural Service: Oil Seeds and Products, 1982-88).

Na Tabela 4, verifica-se que o consumo interno de grãos manteve-se estável de 85/86 a 89/90 e, com isso, o "superavit" aumentou devido ao aumento da produção.

Quanto à torta e ao farelo, tanto a produção como o consumo interno ficaram estáveis e, conseqüentemente, o "superavit" também. Na oferta e na demanda de óleo, verifica-se que a produção manteve-se mais ou menos estável, a partir de 1980/81 até 1989/90 e o consumo de 1980/81 a 1985/86. (Tabela 4).

A partir de 1986/87, houve um aumento de 30% no consumo, estabilizando daí em diante. Esse aumento significativo deveu-se, provavelmente, à substituição de óleos de algodão e de palmeiras, usados no Nordeste do Brasil, pelo óleo de soja. A tendência, a curto e a médio prazos, é o aumento da produção e do consumo de óleo de soja no Brasil, pois dos óleos vegetais encontrados no mercado, somente o óleo de algodão tem preço abaixo do preço do óleo de soja.

TABELA 3. Participação do óleo de soja na produção e no consumo aparente de óleos vegetais, no período de 1977/78 a 1984/85, no Brasil.

Ano Comercial ¹	Produção			Consumo aparente		
	Total ²	Soja	Soja/Total	Total ³	Soja	Soja/Total
1977/78	1723	1585	92	1153	1025	89
1978/79	1824	1629	89	1241	1110	89
1979/80	1918	1669	87	1455	1309	90
1980/81	2765	2463	89	1653	1516	92
1981/82	2822	2585	92	1592	1490	94
1982/83	2663	2392	90	1614	1505	93
1983/84	2656	2408	91	1679	1575	94
1984/85	2539	2353	93	1692	1580	93

¹ O ano comercial de 1977/78 a 1981/82, tinha início em 01 de março e término em final de fevereiro e, a partir de 1982/83, com início em 01 de fevereiro e término em 31 de janeiro.

² Inclui óleos de soja, algodão, amendoim e girassol.

³ Inclui óleos de soja, algodão, amendoim, girassol e oliva.

Fonte: Foreign Agriculture Circular: Oils Seeds and Products 1982/88.

TABELA 4. Oferta e demanda de grãos, farelo e óleo de soja, no período de 1985/86 a 1989/90, no Brasil.

(1000t)

PRODUTO	Oferta				Demanda				Estoque final	Superavit	
	ANO	Estoque inicial	Produção	Importação	Total	Esmagamento	Consumo interno	Exportação		Total	t
ÓLEO (Jan-Fev)											
1985/86 (85)	107	2587	107	2801	-	1596	935	2531	270	991	38,3
1986/87 (86)	270	2319	158	2747	-	2074	413	2487	260	245	10,6
1987/88 (87)	260	2605	59	2924	-	1832	975	2807	117	773	29,7
1988/89 (88)	117	2525	20	2662	-	1900	650	2550	112	625	24,8
1989/90 (89)	112	2780	70	2962	-	2000	825	2825	137	780	28,1

GRÃOS (Jan-Fev)											
1985/86 (85)	681	18278	378	19337	13774	14899	3456	18355	982	3379	18,5
1986/87 (86)	982	14100	337	15419	12332	13377	1192	14569	850	723	5,1
1987/88 (87)	850	17300	441	18591	13820	15031	3290	18321	270	2269	13,1
1988/89 (88)	270	17800	300	18370	13500	14810	2800	17610	760	2990	16,8
1989/90 (89)	760	20000	50	20810	14800	16150	3900	20050	760	3850	19,3

Continua...

TABELA 4. Continuação.

(1000t)

PRODUTO	Oferta				Demanda				Estoque final	Superavit	
	ANO	Estoque inicial	Produção	Importação	Total	Esmagamento	Consumo interno	Exportação		Total	t
FARELO (Jan-Fev)											
1985/86 (85)	363	10688	0	11051	-	2120	8628	10748	303	8568	80,2
1986/87 (86)	303	9590	0	9893	-	2649	6961	9610	283	6941	72,4
1987/88 (87)	283	10782	0	11065	-	2779	8030	10809	256	8003	74,2
1988/89 (88)	256	10500	0	10756	-	2250	8000	10250	506	8250	78,6
1989/90 (89)	506	11500	0	12006	-	2700	8800	11500	506	8800	76,5

¹ Consumo interno + exportação

² Superavit: diferença entre produção e consumo interno (t ou % da produção total)

Fonte: (Foreign Agriculture Circular: Oil Seeds and Products. (1982-88).

A Tabela 5 ilustra o rendimento industrial da torta, do farelo e do óleo de soja no Brasil. Em 1969/70, o rendimento industrial de torta e farelo, em relação à quantidade de grãos esmagados, era de 67%, passando a 77%, em 1974/75, mantendo-se até o momento. Para o óleo, ocorreu o mesmo, aumentando de 16%, em 1969/70, para 19%, em 1989/90.

TABELA 5. Rendimento industrial de torta e farelo e óleo de soja no período de 1969/70 a 1989/90, no Brasil.

Ano Comercial ¹	Grãos	Torta e Farelo		Óleo	
	Quantidade esmagada (1000t)	Produção (1000t)	Rendimento industrial %	Produção (1000t)	Rendimento industrial %
1969/70	612	413	67,48	99	16,18
1974/75	4302	3337	77,57	797	18,53
1985/86	13774	10688	77,60	2587	18,78
1986/87	12332	9590	77,76	2319	18,80
1987/88	13820	10782	78,02	2605	18,85
1988/89	13850	10500	75,81	2525	18,23
1989/90	14800	11500	77,70	2780	18,78

¹ Ano comercial: até 1974/75, março e abril; a partir de 1985/86, janeiro e fevereiro (1985/86 - jan-fev de 1985).

Fonte: Foreign Agriculture Circular: Oil Seeds and Products. (1982-88).

3. VALOR NUTRITIVO DA SOJA

A análise química do grão mostra que a soja é uma excelente fonte de proteína e calorias, sendo classificada como um dos cinco principais alimentos fornecedores de proteína (carne, leite, ovos, queijo e soja). (Tabela 6).

TABELA 6. Composição química da soja e de outros alimentos.

Alimento ¹ (100g),	Calorias	Glicídios Proteínas Lipídios			Ca	P	Fe
		(g)					
Trigo integral	353,7	70,10	12,70	2,50	37386	4,3	
Feijão preto	343,6	62,37	20,74	1,27	145471	4,3	
Soja grão	395,0	30,00	36,10	17,70	226546	8,8	
Carne bovina	111,0	0,00	21,00	3,00	12224	3,2	
Carne frango	106,7	0,00	19,70	3,10	2200	1,9	
Carne porco	181,0	0,00	18,50	11,90	6220	2,0	
Fígado boi	130,3	0,00	20,20	5,50	8373	12,1	
Fígado galinha	137,0	2,40	22,40	4,20	16240	7,4	
Ovos galinha	150,9	0,00	12,30	11,30	73224	3,1	
Leite vaca "C"	63,0	5,00	3,10	3,50	114102	0,1	

¹ Análises feitas em alimentos crus.

Fonte: Franco (1986).

A Tabela 6 mostra que, entre vegetais e animais, a soja é a que tem maior teor de proteína. Apesar de maior quantidade, em termos de qualidade, a proteína da soja é inferior a dos animais. Considerando o valor biológico da proteína [Coeficiente de Eficiência Protéica (CEP): ganho de peso/proteína consumida], o qual determina sua qualidade, a soja corresponde a 80% do leite (CEPcaseína= 2,5 e CEPsoja= 2,0).

Por qualidade de proteína, entende-se a quantidade adequada dos aminoácidos essenciais que devem estar presentes numa dieta, para que ocorra formação de tecidos e crescimento no homem e nos animais. A soja apresenta um bom balanceamento desses aminoácidos, quando comparada com outros vegetais. Entretanto, como é comum às leguminosas, a soja apresenta baixo teor de aminoácidos sulfurados, metionina e cistina (Tabela 7).

TABELA 7. Aminoácidos que compõem a proteína de soja. (gramas/16 gramas de nitrogênio).

Aminoácidos	Padrão FAO ¹	Grão ²
Isoleucina	4,2	4,5
Leucina	4,8	7,8
Lisina	4,2	6,4
Metionina	2,2	1,3
Cistina	4,2	1,3
Fenilalanina	2,8	4,9
Tirosina	2,8	3,1
Treonina	2,8	3,9
Triptofano	1,4	1,3
Valina	4,2	4,8
Arginina	-	7,2
Histidina	-	2,5
Alanina	-	4,3
Ácido Aspártico	-	11,7
Ácido Glutâmico	-	18,7
Glicina	-	4,2
Prolina	-	5,5
Serina	-	5,1

¹ Gordon (1970)

² FAO, Roma (1968).

Pela Tabela 7, verifica-se que a composição média de metionina e cistina na soja é de 1,3 g/16g de N, enquanto a FAO recomenda um mínimo de 2,2 para metionina e 4,2 para cistina. Apesar desses teores baixos em aminoácidos sulfurados, já existem cultivares de soja que apresentam teores maiores. Em 1982, encontraram-se, na cultivar IAC-2 valores de 1,9g/16 g de N para metionina e 7,3g para cistina, que resultaram num CEP de 2,78, acima, portanto, do CEP da caseína.

Como uma dieta alimentar é a soma de vários componentes, a combinação de soja com cereais completa o bloco dos aminoácidos essenciais, fornecendo uma proteína completa. Os cereais apresentam alto te-

or de aminoácidos sulfurados, mas baixos teores de lisina, que é alto na soja, e a combinação desses grãos torna a proteína com propriedades semelhantes às propriedades dos animais.

O óleo, em alto teor, fornece as calorias necessárias ao organismo, permitindo que a proteína seja metabolizada para constituir novos tecidos e promover o crescimento, ao invés de fornecer energia, o que é comum em dietas de baixo conteúdo calórico. Convém salientar que os lipídios encontrados na soja não são colesterol, como ocorre com os produtos animais. Em geral, as cultivares comerciais de soja apresentam 20% de óleo nos grãos, porém, há uma variação de 13,2% a 23,5% no material genético do germoplasma de soja.

A composição de ácidos graxos saturados (palmítico e esteárico) e insaturados (oléico, linoléico e linolênico) encontra-se na Tabela 8.

TABELA 8. Composição de ácidos graxos no óleo de soja.

Ácidos Graxos	Fórmula estrutural	Teor no óleo de soja (%)
Palmítico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	11
Esteárico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	3
Oléico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	22
Linoléico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	56
Linolênico	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	8

Fonte: Wilcox (1989)

O ácido linolênico contém três ligações duplas, o que facilita sua oxidação, resultando em instabilidade de sabor do óleo de soja. Há programas de melhoramento que visam a melhoria da qualidade do óleo através da redução do teor de ácido linolênico, o qual deve ficar em torno de 2%.

Segundo Howell & Collins (1957), as condições ambientais influem na composição de ácidos graxos dos grãos de soja, não sendo influenciada, porém, pela qualidade e intensidade de luz, pelos nutrientes N, P,

K, S e micronutrientes e nem pelo conteúdo de clorofila das folhas.

Três isoenzimas, lipoxigenase-1 (L-1), lipoxigenase-2 (L-2) e lipoxigenase-3 (L-3) são encontradas em altas concentrações nos grãos de soja e são responsáveis pela oxidação e instabilidade do óleo, resultando no sabor rançoso. Estes sabores desagradáveis afetam a qualidade do óleo e a dos de produtos alimentícios de soja. Tratamentos térmicos inibem a ação dessas enzimas, porém, altas temperaturas podem insolubilizar a proteína. Alguns nutrientes essenciais à soja, quando presentes no óleo de soja, dentre eles Cu, Fe e Mn, reduzem drasticamente a estabilidade do óleo.

Comparando a composição química da soja com a de outros alimentos, fica evidente a sua superioridade em relação aos outros vegetais e a sua equivalência em relação aos produtos animais (Tabela 6). Além disso, a soja é uma razoável fonte de minerais, principalmente ferro, cuja quantidade é superior à dose diária recomendada (Tabela 9). Quanto

TABELA 9. Conteúdo mineral da soja-grão e níveis de atendimento às necessidades nutricionais.

Mineral	Teor - (%)	RDA ¹ (%)
Cálcio	0.16 - 0.47	39
Fósforo	0.42 - 0.82	77
Magnésio	0.22 - 0.24	66
	mg/kg	
Zinco	37	24
Ferro	90 - 150	120

¹ Baseado na "recomendação diária permitida" (RDA) do Food and Nutritional Board, N.A.S. (S.S.A.) para homens adultos (22 - 35 anos; peso=70kg).

Fonte: Smith & Circle (1972).

aos teores de ferro, a soja é igual ao fígado de boi e de galinha, os quais são as fontes mais conhecidas deste elemento (Tabela 6). Cem gramas

de grãos de soja apresentam, em média, cerca de 260 mg de sódio e 740 mg de potássio, o que permite ser recomendada em dietas de pacientes com elevada pressão arterial. Entretanto, a soja não é uma boa fonte de cálcio e zinco, apresentando cerca de um terço e um quarto, respectivamente, da recomendação diária (Tabela 9). Recomenda-se, portanto, que estes elementos sejam sempre complementados em produtos de soja, principalmente se forem destinados às crianças que não recebem uma dieta variada.

A soja é rica em agentes quelantes naturais que podem diminuir a disponibilidade de nutrientes minerais da proteína da soja nos alimentos. O mais conhecido deles é o ácido fítico ou ácido inositol hexafosfórico (Prattley & Stanley 1982, citado por Wilson 1987). A atividade do quelato é, contudo, pH dependente. Em pH ácido, o ácido fítico forma um complexo insolúvel somente com proteínas 7S. A mais provável região de ligação dentro da estrutura primária da proteína 7S é na vizinhança da ligação lisina-arginina ou lisina-histidina. O complexo não é facilmente rompido com tratamento a quente, porque o ponto isoelétrico de precipitação da proteína 7S da solução é próximo a pH 4,5. Quantidades grandes de ácido fítico podem acompanhar a proteína durante o processo de extração (Prattley et al 1982). Como o pH do concentrado aumenta no processamento de alimento, fitina (Ca₅Mg-phytate) pode se formar.

Entretanto, como um complexo fitina-proteína é relativamente mais solúvel em água e menos estável a quente, a afinidade por minerais e cátions divalentes é aumentada.

O ácido fítico pode ser dissociado da proteína "in vitro" em torno de pH 10 com alta energia iônica ou "in vivo" no desenvolvimento alcalino no intestino. O ácido fítico livre, entretanto, retém as propriedades quelantes em alto pH, fornecendo sais insolúveis, resistentes à hidrólise, com Cu, Zn, Ni, Mn, Fe e Ca (Cosgrove 1966, citado por Wilson 1987). Esses cátions devem estar livres em solução no duodeno, para atuar com os carregadores de proteínas que facilitam a absorção mineral. Assim, sais do ácido fítico reduzem a biodisponibilidade e podem comprometer significativamente a necessidade alimentar, especialmente na dieta de crianças.

A alternativa efetiva será desenvolver germoplasma de soja que tenha, naturalmente, baixo teor de ácido fítico.

Há alta correlação de acúmulo de fitatos com o total de fósforo absorvido pelas plantas. À medida que as práticas de produção agrícola

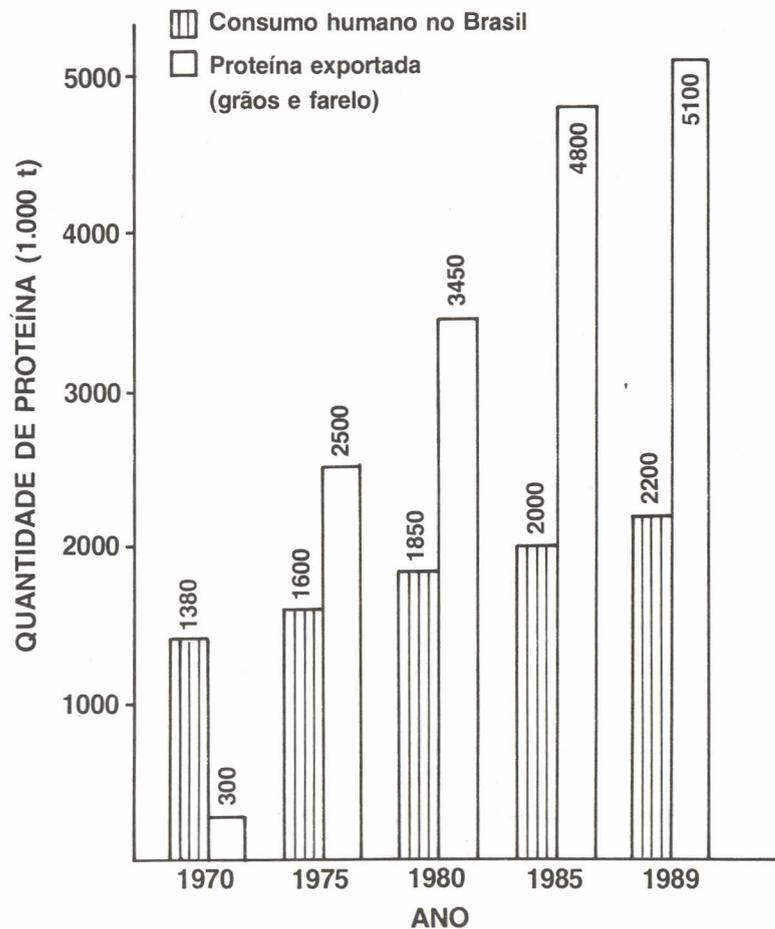


FIG. 1. Necessidade anual de proteína para consumo humano no Brasil e proteína de soja exportada de 1970 a 1989.

Foreign Agriculture Circular: Oil Seeds and Products (1988).

progridem, através de melhor manejo e fertilização, tanto a quantidade como a qualidade dos produtos crescerão. Para muitas culturas, as práticas de adubação que aumentam a produtividade também direcionam para produtos de melhor qualidade. Em outros casos, a melhor qualidade é obtida aquém da produtividade máxima, ou através de ajuste na taxa e na relação dos nutrientes fornecidos.

Após discutir o valor nutritivo da soja, resta saber se haveria produção de proteína de soja disponível para o consumo humano no Brasil. A Fig. 1 ilustra a situação de 1970 até 1989, onde verifica-se que a necessidade de proteína para o consumo humano no Brasil (20kg/pessoa/ano) é equivalente a 43% da proteína exportada como grão e farelo de soja, em 1988. Caso o consumo de proteína no Brasil aumente consideravelmente nos próximos anos o País está apto a abastecer a população, talvez sem prejuízos na exportação, pois a produção vem aumentando ano a ano (Tabela 4).

4. FUNÇÕES DOS NUTRIENTES

4.1. Macronutrientes - N, P, K, Ca, Mg e S

4.1.1. Nitrogênio (N)

O N pode ser absorvido como aminoácido, uréia, amônio, nitrato e N^2 pelas leguminosas. A forma predominante é a de nitrato e, quando isso acontece, o NO_3^- deve ser reduzido a NH_4^+ para o N ser transformado em aminoácidos e proteínas.

O N é um constituinte de aminoácidos, nucleotídeos e coenzimas. A pequena fração, presente como NO_3^- ou NH_4^+ , tem como função ativar enzimas. Cerca de 90% do N total da planta encontram-se em forma orgânica (aminoácidos livres, proteínas, amidos, purinas, pirimidinas, ácidos nucléicos, vitaminas, etc.). É um nutriente bastante móvel no floema provocando sintomas de deficiência, inicialmente, nas partes velhas da planta. Esses sintomas são clorose total seguida de necrose, devido à menor produção de clorofila. Quando a planta é deficiente em N, a re-

lação carboidratos solúveis/proteína é maior pois há falta de N para a síntese de proteínas.

Uma particularidade do N é o acúmulo de NO_3^- nas plantas que ocorre quando não há reação de redução pelo sistema enzimático. Uma enzima responsável por essa redução é o dinucleotídeo de flavina e adenina (FAD), que possui o Mo como grupo prostético. O acúmulo de nitrato em plantas alimentícias é prejudicial ao homem e aos animais, devido à sua redução a NO_2^- no tubo digestivo, que se combina com a hemoglobina do sangue produzindo a metahemoglobina que não funciona como transportadora de O_2 , ocasionando deficiência de O_2 .

4.1.2. Fósforo (P)

O ácido fosfórico, H_3PO_4 dá, por dissociação, três espécies iônicas H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} . A primeira é a forma predominante na faixa de pH 4,0 a 8,0, na qual vive a maioria das plantas. O P absorvido na forma mineral é rapidamente incorporado aos compostos orgânicos, pois 80% são encontrados como fosfohexases e difosfato de uridina logo após a absorção, a qual é fortemente influenciada pela concentração de Mg^{2+} no meio, exercendo efeito sinérgico.

Encontram-se, principalmente, os seguintes compostos contendo P:

- ésteres de carboidratos (desdobramento respiratório dos açúcares);
- nucleotídeos (síntese de proteínas, código genético), RNA e DNA;
- fosfolipídeos;
- ácido fítico e seus sais de Ca e Mg (reserva de P na semente);
- fosfatos de adenosina (AMP, ADP, ATP);

O principal papel do P na fisiologia da planta é fornecer energia para as reações biossintéticas e para o metabolismo vegetal. Havendo deficiência, o P não metabólico localizado no vacúolo pode sair da célula, sendo direcionado para os órgãos mais novos da planta. Este nutriente apresenta fácil mobilidade no interior da planta e, por isso, os sintomas de deficiência aparecem, em primeiro lugar, nas partes velhas que apresentam coloração verde-azulada e menor crescimento.

4.1.3. Potássio (K)

É absorvido como K^+ e, assim, é transportado pelo xilema de onde passa rapidamente para o floema. Cerca de 70% do K total acham-se na forma iônica, livre na célula, de onde podem ser retirados pela água. Os 30% restantes são adsorvidos às proteínas, das quais se libertam quando a planta envelhece. A função melhor esclarecida do K é a de ativador enzimático, pois cerca de 60 enzimas requerem sua presença, muitas vezes em caráter insubstituível para sua ativação, tais como, enzimas para o desdobramento de açúcares e enzimas para síntese de amido e proteína.

Apesar do K não fazer parte dos compostos da planta, a concentração encontrada nela é alta (no caso da soja, cerca de 2%). Uma explicação para isso é a baixa afinidade entre o K e a proteína enzimática, pois ele pode ser substituído por outros cátions como Na^+ e Mg^{2+} .

O K regula a abertura e o fechamento dos estômatos nas células-guarda e a turgidez do tecido, criando condições favoráveis para as reações da fotossíntese e outros processos metabólicos.

O K diminui a incidência de doenças da soja mais do que qualquer outro nutriente. Também aumenta a resistência ao acamamento, pois acelera a lignificação das células do esclerênquima, principalmente em presença de nitrogênio.

Uma das características da deficiência de K é a necrose dos bordos e ápices das folhas mais velhas. Essa necrose pode ser explicada pela formação da putrescina, cuja síntese não é inibida na ausência do K.

4.1.4. Cálcio (Ca)

A absorção do cálcio é como Ca^{2+} , sendo diminuída em presença de altas concentrações de K^+ e de Mg^{2+} no meio. O cálcio é transportado no xilema, de forma unidirecional, sob controle metabólico. A maior parte do Ca na planta está em formas insolúveis em água: pectato, oxalato ou adsorvido às proteínas.

O Ca mantém a integridade funcional da membrana celular; na sua falta, essa membrana torna-se porosa podendo perder íons já absorvidos e também absorver íons indesejáveis. A germinação do pólen e o cresci-

mento do tubo polínico são dificultados quando há carência de Ca. Há enzimas relacionadas com o metabolismo do P que são ativadas pelo Ca (ATPases de membrana).

A deficiência de Ca afeta os pontos de crescimento, tanto da raiz como da parte aérea, e o sintoma aparece nas partes mais novas da planta, como atrofiamento no sistema radicular e morte da gema apical. Há retardamento da emergência das folhas primárias que, quando emergem, adquirem forma de taça (encarquilhamento).

4.1.5. Magnésio (Mg)

É absorvido como Mg^{2+} , sendo fortemente influenciado pela presença de K^+ e Ca^{2+} no meio. O Mg corresponde a 2,7% do peso da clorofila fazendo parte na sua composição química (50% do Mg contido nas folhas estão no cloroplasto). A clorofila é o único composto estável, abundante nas plantas, que contém um átomo de Mg não dissociável.

O Mg ativa mais enzimas do que qualquer outro elemento. É ativador de várias enzimas relacionadas à síntese de carboidratos e outras envolvidas na síntese de ácidos nucleicos. As transaminases também são enzimas que necessitam de Mg para a síntese de proteínas. Assim, plantas deficientes têm maior relação N solúvel/N protéico.

O Mg é muito móvel no floema, por isso os sintomas de carência, como clorose internerval, começam nas folhas mais velhas.

4.1.6. Enxofre (S)

A absorção se dá predominantemente na forma de SO_4^{2-} , podendo também ser absorvido como S orgânico, na forma de SO_2 (ar) e S molhável (defensivos), pelas folhas. Aproximadamente, 90% do total do S encontrado na planta estão na forma orgânica (cistina, cisteína, metionina, proteínas, glicosídeos e vitaminas). O S é componente de proteínas, inclusive de enzimas, onde o grupo ativo pode ser o radical sulfidrilo (SH). É componente de enzimas e coenzimas e participa do metabolismo dos carboidratos e dos lipídios, através da formação de tioésteres.

A falta de S provoca uma série de distúrbios metabólicos:

- a) diminuição na fotossíntese e na atividade respiratória;
- b) queda na síntese de proteínas com o aparecimento de altas relações N solúvel/N protéico;
- c) redução no teor de gorduras;
- d) diminuição nas fixações livre e simbiótica do N^2 do ar.

Os sintomas de deficiência de S, como clorose uniforme, aparecem primeiro nas folhas novas, devido a sua difícil movimentação na planta.

4.2. Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni e Co)

4.2.1. Ferro (Fe)

O Fe pode ser absorvido como Fe^{2+} ou Fe^{3+} , com predominância da primeira. Quando absorvido como Fe^{3+} , pode ser reduzido na superfície externa do plasmalema da raiz por elétrons doados por citocromos ou flavinas.

As funções enzimáticas do Fe incluem a catalase, a peroxidase, a aconitase, a nitrogenase, os citocromos a, b e c, a hemoglobina, a ferredoxina e as redutases do nitrito e do sulfito. Na carência de Fe, há menos RNA e síntese de proteína, pois há uma proteína ribossômica que contém Fe.

Como 75% do Fe das folhas estão nos cloroplastos, quando há deficiência, diminui o teor de clorofila e o número de cloroplastos. A mobilidade do Fe no floema é baixa e, por isso, sua deficiência aparece nas partes mais novas da planta, o sintoma é clorose uniforme nessas folhas.

4.2.2. Boro (B)

Na faixa de pH entre 4,0 e 8,0, ideal para a maioria das plantas, o B é absorvido como H_3BO_3 e $H_2BO_3^-$. Como não foi encontrado qualquer composto vital em que o B faça parte e nem foi identificada qualquer reação metabólica que não ocorra em sua ausência, a função e o modo de ação desse nutriente ainda são um enigma. Há, também, a dificuldade de definir suas concentrações adequadas e tóxicas na planta. Há indicação que o B esteja ligado com o transporte de carboidratos no interior

da planta. É necessário para a formação da parede celular, para a alongação e a divisão da célula, sugerindo sua participação na síntese do RNA. Como consequência, sua deficiência desorganiza os vasos condutores, há menor germinação do grão de pólen, menor crescimento do tubo polínico, encurtamento dos internódios, deformação de folhas e frutos, menor nodulação nas leguminosas e morte da gema apical.

Como o B é pouco móvel na planta, os sintomas aparecem nas folhas mais novas, que ficam encarquilhadas.

4.2.3. Cloro (Cl)

O cloro é absorvido como Cl^- e não entra na constituição de compostos orgânicos das plantas superiores. Sabe-se que é necessário para a operação de fotólise da água, ou seja, no fotossistema II. É transportador de elétrons, reduzindo oxidantes durante a fase luminosa da fotossíntese.

4.2.4. Molibdênio (Mo)

Quando o pH do meio é igual ou maior que 5,0, o Mo é absorvido predominantemente como MoO_4^{2-} . Faz parte da redutase do nitrato e sua falta provoca acúmulo de nitrato na planta. A nitrogenase também contém Mo e é necessária para a fixação simbiótica do N_2 .

Sua deficiência causa clorose, devido à deficiência de nitrogênio, pois o Mo está envolvido na redução do nitrato e na fixação simbiótica de N_2 . Os sintomas de deficiência aparecem nas folhas novas, pois ele é imóvel na planta.

4.2.5. Cobre (Cu)

A absorção é na forma de Cu^{2+} , a qual é inibida por altas concentrações de P, Zn, Fe e Mn.

Há várias enzimas contendo Cu ou por ele ativadas, como as oxidases (lacase, polifenol oxidase, ácido ascórbico, do citocromo e diamin oxidase). A nodulação é menor em leguminosas carentes em cobre. A menor oxidase do citocromo, na carência de Cu, ocasiona elevação no nível de O_2 , condição desfavorável para a redução do N_2 a NH_3 .

Plantas deficientes em Cu mostram menor síntese de proteínas e

diminuição na atividade fotossintética, uma vez que este nutriente é ativador de enzimas que participam do transporte eletrônico terminal da respiração e da fotossíntese (plastocianina). Os sintomas de deficiência ocorrem nos tecidos mais novos, devido à sua baixa mobilidade na planta. Com a deficiência de Cu há redução no crescimento da planta e a cor fica verde-acinzentado ou verde-azulado, com diminuição dos espaços internodais.

4.2.6. Zinco (Zn)

É absorvido como Zn^{2+} , sendo assim transportado no xilema. Apresenta pouca afinidade com quelantes orgânicos e por isso é pouco móvel na planta. Alta concentração de fósforo no substrato diminui a absorção de Zn. Existem várias enzimas ativadas pelo Zn, como sintetase do triptofano, desidrogenase (alcoólica, glutâmica e láctica), aldolases e anidrase carbônica. Na síntese do triptofano, a ausência de Zn diminui a síntese do AIA e, por isso, as células ficam menores. Deficiência de Zn diminui o nível de RNA, diminuindo a síntese de proteína, através da RNAase que hidrolisa o RNA.

Os sintomas típicos de carência de Zn consistem no encurtamento dos internódios e na produção de folhas novas pequenas, cloróticas e lanceoladas. Na soja, as folhas ficam cloróticas entre as nervuras e com manchas douradas.

4.2.7. Manganês (Mn)

É absorvido como Mn^{2+} e transportado no xilema na forma iônica, devido à pouca estabilidade dos quelatos de Mn. As funções do Mn^{2+} lembram as do Mg^{2+} . O Mn é ativador de muitas enzimas, como descarboxilases, hidrolases e transferidoras de grupos (fosfoquinases e fosfotransferases). Participa da reação de fotólise da água no fotossistema II, da formação de clorofila e da formação, da multiplicação e do funcionamento dos cloroplastos.

Sua redistribuição no floema é baixa e, por isso, os sintomas de deficiência aparecem, inicialmente, nas partes novas da planta. As folhas ficam com clorose internerval, semelhante ao que ocorre na deficiência de Mg.

4.2.8. Níquel (Ni)

Em 1973, foi encontrado que a adição de Ni aumentou o peso de nódulos e de grãos de soja (Bertrand & De Wolf 1973, citados por Scherer & Briskin 1989). Polacco & Havir (1979), citados por Scherer & Briskin (1989), observaram que a urease dos grãos de soja é uma metaloenzima contendo níquel e que a soja, crescendo em solução nutritiva deficiente em Ni, acumula níveis tóxicos de uréia nas folhas (Eskew et al. 1984).

Winkler et al (1983), citados por Scherer & Briskin (1979), destacam que a urease é uma enzima com Ni e, embora o metal não seja necessário para a síntese da urease, é essencial para a estrutura e o adequado funcionamento da enzima.

4.2.9. Cobalto (Co)

O Co é essencial para a fixação do N_2 através de bactérias. Os nódulos do rizóbio necessitam de Co para sintetizar a vitamina B_{12} como a enzima cobamida. Portanto, deficiência de Co pode ocasionar deficiência de nitrogênio na soja, devido à baixa fixação simbiótica.

5. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA SOJA

5.1. Extração e exportação de nutrientes

Na Tabela 10, estão apresentados os valores comparativos da extração de N, P e K pela soja, em relação a trigo, milho e girassol, demonstrando que, entre as culturas estudadas, somente o girassol extrai mais fósforo e potássio que a soja.

A Tabela 11 mostra as quantidades de nutrientes absorvidos pela soja, relatadas por Bataglia & Mascarenhas (1977). De acordo com esses autores, a extração de nutrientes pela parte aérea da planta (grãos + palha) obedece à seguinte ordem: $N > K > Ca > Mg > P > S$. Entretanto, dos macronutrientes, 84% de N, 87% de P, 56% de K, 15% de Ca, 22% de Mg e 65% de S são exportados pelos grãos, o que, com base

na quantidade dos nutrientes exportados, a ordem se altera: $N > K > P > Ca > Mg = S$.

TABELA 10. Quantidades de N, P_2O_5 e K_2O extraídas por quatro culturas, para cada 1000 kg de grãos produzidos. EMBRAPA-CNPSO. Londrina, PR. 1985.

Culturas	Produção de grãos em kg	kg		
		N	P_2O_5	K_2O
Soja	1000	77	14	38
Girassol	1000	52	26	51
Trigo	1000	29	8	10
Milho	1000	29	5	36

TABELA 11. Extração e exportação de nutrientes em plantas de soja para uma produção de 1.000 kg de grãos.

Nutrientes	Extração				Exportação	
	grãos e palha		grãos		grãos	
	A ¹	B ²	A ¹	B ²	A ¹	B ²
	kg				%	
N	76,0	77,4	64,0	64,4	84,2	83,2
P	5,7	6,0	5,0	4,7	87,0	78,3
K	32,0	32,0	18,0	16,5	56,3	50,8
Ca	20,0	12,8	3,0	3,2	15,0	25,0
Mg	9,1	4,4	2,0	2,2	22,0	50,0
S	3,1	7,7	2,0	2,3	65,0	30,0
	g				%	
B	77,0		24,0		31,2	
Cl	515,0		237,0		46,0	
Cu	26,0		14,0		53,8	
Fe	460,0		115,0		25,0	
Mn	130,0		43,0		33,1	
Mo	6,0		5,0		83,3	
Zn	61,0		43,0		70,5	

Fontes: ¹ Bataglia & Mascarenhas (1977).

² Cordeiro et al. (1979).

Cordeiro et al. (1979) encontraram para N, P e K valores próximos aos encontrados por Bataglia & Mascarenhas (1977). Para exportação de macronutrientes, a ordem decrescente também é a mesma.

A Tabela 12 mostra as concentrações de nutrientes usadas para diagnóstico foliar, como auxílio às análises de solo para recomendações de adubação. Os valores considerados suficientes ou médios, nessa tabela, devem ser usados apenas como indicação complementar à análise do solo. Isto deve ser levado em conta, pois, em casos de pouco desenvolvimento das plantas, pode resultar em uma concentração de nutrientes nas folhas em nível adequado, devido ao efeito de diluição dentro da planta.

TABELA 12. Concentrações de nutrientes usadas na interpretação dos resultados das análises de folhas de soja do terço superior da planta, no início da floração¹.

Elemento	Deficiente ou muito baixo	Baixo	Suficiente ou médio	Alto	Excessivo ou muito alto
----- % -----					
N	<3,25	3,25 - 4,00	4,01 - 5,50	5,51 - 7,00	>7,00
P	<0,16	0,16 - 0,25	0,26 - 0,50	0,51 - 0,80	>0,80
K	<1,25	1,25 - 1,70	1,71 - 2,50	2,51 - 2,75	>2,75
Ca	<0,20	0,20 - 0,35	0,36 - 2,00	2,01 - 3,00	>3,00
Mg	<0,10	0,10 - 0,25	0,26 - 1,00	1,01 - 1,50	>1,50
S	<0,15	0,15 - 0,20	0,21 - 0,40	>0,40	-
----- ppm -----					
Mn	<15	15 - 20	21 - 100	101 - 250	>250
Fe	<30	30 - 50	51 - 350	351 - 500	>500
B	<10	10 - 20	21 - 55	56 - 80	>80
Cu	<5	5 - 9	10 - 30	31 - 50	>50
Zn	<11	11 - 20	21 - 50	51 - 75	>75
Mo	<0,5	0,5 - 0,9	1,0 - 5,0	5,1 - 10	>10

¹ Valores de concentrações médias utilizadas para interpretação de análises de folhas de soja, nas Universidades de Purdue, Michigan, Minnesota, Missouri, Ohio e Wisconsin.

Fonte: Peck (1979).

5.2. Acúmulo de matéria seca na planta

Antes da descrição de alguns aspectos inerentes à absorção de nutrientes pela soja, é necessário tecer algumas considerações a respeito da sua curva de crescimento. A Fig. 2 mostra, através da análise de regressão, os pontos de inflexão do peso da matéria seca de plantas de soja ('IAC-2'). Vê-se que o ponto de inflexão calculado (idade da planta onde o crescimento é acelerado) ocorre aos 61 dias e que o ponto de maior acúmulo de matéria seca ocorre aos 96 dias após a emergência. É preciso considerar que as observações exemplificadas foram feitas em cultivar de hábito de crescimento indeterminado. Em cultivar de hábito determinado, cujo crescimento cessa no florescimento, é provável que os pontos acima referidos assumam outras posições na curva.

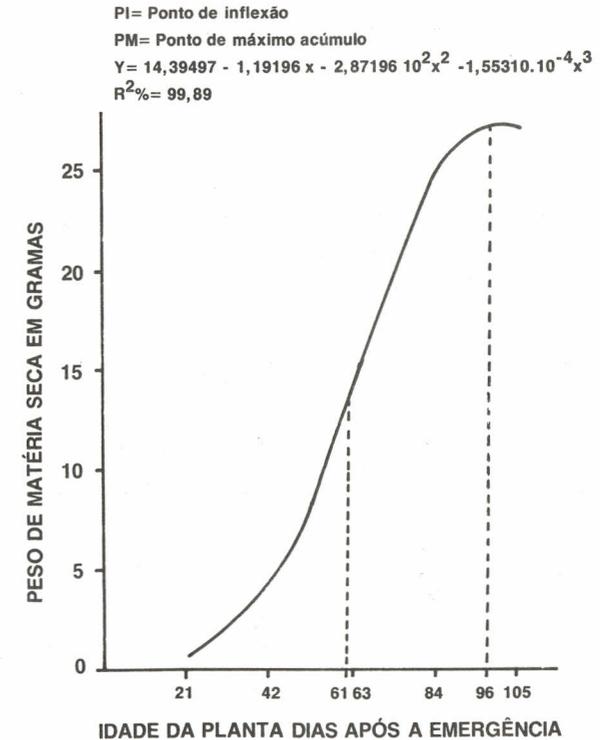


FIG. 2. Pontos de máximo acúmulo e ponto de inflexão do peso da matéria seca de plantas de soja (Cultivar 'IAC-2'), em função da idade. Cordeiro et al. 1979.

5.3. Acúmulo de nutrientes na planta

Com a determinação da marcha de absorção dos macronutrientes pela cultivar IAC-2, de hábito de crescimento indeterminado, podem ser discutidos alguns aspectos de caráter prático, inerentes às informações contidos na Tabela 13.

Pelo exposto na Tabela 13, pode-se dizer que:

- em ordem decrescente, a planta de soja é mais exigente em $N > K > Ca > Mg > P > S$;
- o ponto de máximo acúmulo de todos os nutrientes estudados está entre 80 e 85 dias de idade;
- o início do período de maior absorção dos macronutrientes está entre 50 e 56 dias de idade da planta de soja; e
- o "período crítico", período de intensa absorção para todos os macronutrientes, possui uma amplitude de 28 a 34 dias, quando as plantas absorvem cerca de 50% de suas necessidades.

TABELA 13. Quantidade total do nutriente acumulado, porcentagem do total acumulado e período crítico, em relação à idade da planta.

Macro nutrientes	Pontos de inflexão		Ponto de máximo acúmulo		Período crítico (dia) ²
	idade da planta ¹	% do total acumulado	idade da planta ¹	total acumulado (mg/planta)	
Nitrogênio	53	52	83	383	30
Fósforo	52	52	80	26	28
Potássio	53	51	82	191	29
Calcio	56	51	85	158	29
Magnésio	50	47	84	57	34
Enxofre	54	50	84	18	30

¹ Dias após a emergência.

² Período de intensa absorção.

Fonte: Cordeiro et al. (1979).

6. RESPOSTAS DA SOJA A NUTRIENTES APLICADOS

Já foram discutidas as principais funções dos diversos nutrientes para o bom desenvolvimento da planta. A seguir, são apresentados resultados que ilustram as respostas de alguns desses nutrientes sobre a produção e a qualidade de grãos de soja.

6.1. Nitrogênio (N)

A Tabela 14 mostra os efeitos da aplicação de N sobre a produção de grãos e o conteúdo de proteína.

TABELA 14. Efeito da aplicação de N sobre a produção de grãos e o conteúdo de proteína da soja.

A N O S	Doses de N aplicados (kg/ha)					
	0	37.5	75	150	300	600
	Produção de grãos (kg/ha)					
1978	1641	1726	1779	1811	1865	2045
1979	2711	2917	2930	3085	3038	2999
1980	792	867	881	872	867	866
	Conteúdo de proteína nas sementes(%)					
1978	44.38	45.99	46.38	46.79	48.28	48.20
1979	42.69	45.93	46.45	46.54	46.02	45.99
1980	43.88	45.02	45.18	45.35	45.26	45.28

Fonte: Xiao et al. (1989).

Conforme os autores, o ano de 1978 foi seco e o de 1980 com excesso de chuvas. Portanto, só 1979 foi um ano normal, quando verificaram que a dose mínima (37,5 kg/ha) produziu mais que a testemunha e igual aos demais tratamentos. O mesmo aconteceu com a porcentagem de proteína. Mostraram, também, que houve correlação negativa entre o acúmulo de nitrato nos caules novos da soja e o teor de proteína nas sementes

($r=0,90$), em oito cultivares de soja estudadas. A cultivar Jilin 20 com 289.25 u mol/g na matéria seca de nitratos e 38.75 % de proteína comparada com a cultivar Dabaimei com 164,66 u mol de nitratos e 42,63% de proteína ilustram muito bem esta correlação (Changfu & Yinong 1989).

6.2. Potássio (K)

McNew (1953) afirma que muitas doenças de plantas têm sido controladas mais pelo uso do adubo potássio do que por qualquer outra substância, talvez porque o K seja essencial para catalizar as atividades celulares.

Ellett (1973) atribui o efeito do K na diminuição dos danos por doenças à influência deste cátion no desenvolvimento estrutural, favorecendo o espessamento de paredes externas da epiderme. Outros aspectos importantes incluem o efeito dos níveis de K na atividade enzimática, na síntese de proteínas e na proporção de compostos nitrogenados não protéicos e carboidratos solúveis em plantas (Kiraly 1976). A resistência ao alastramento de uma doença está mais relacionada à composição química dos conteúdos da célula, embora a espessura e o grau de lignificação das paredes celulares sejam importantes.

Estudos realizados mostraram que o K reduziu, em 70% dos casos, as doenças bacterianas e fúngicas (Perrenoud 1977). O papel do K no controle de doenças de plantas é, sem dúvida, influenciado por muitos fatores, incluindo clima, práticas de manejo, como rotação de culturas e irrigação, e resistência genética das cultivares. Em geral, a adubação potássica é mais propensa a aumentar a resistência da planta às doenças, quando o K, no solo, encontra-se num nível de disponibilidade no qual uma resposta na produção é também esperada.

Em um experimento conduzido nos EUA, a adição de K reduziu a proporção de sementes infectadas por *Phomopsis* de 75%, com baixo K, para 13%, com alto K, em duas cultivares (Crittendem & Svec 1974).

A Tabela 15 mostra o efeito da infecção por *Phomopsis* em soja.

Griffith (1977), estudando a influência do K em três estados dos EUA, verificou que a aplicação de 112 kg/ha de K proporcionou a diminuição porcentual de sementes infectadas e danificadas de 27% para 5%, em média (Tabela 16).

TABELA 15. Efeito do K na produtividade da soja, susceptibilidade às doenças e prejuízo econômico.

K ₂ O (kg/ha)	Produtividade (kg/ha)	Sementes doentes (%)	Prejuízo US\$/saco
0	2508	31	0.82
132	3102	12	0.33

Fonte: Griffith (1977)

TABELA 16. Influência do K sobre sementes de soja danificadas e com doença.

K	Sementes danificadas e com doença		
	Virgínia	Carolina do Norte	Ohio
kg/ha	----- % -----		
0	12	37	31
112	1	3	12

Fonte: Griffith (1977).

A Tabela 17 (Jeffers et al. 1982) mostra que de 23% foi possível diminuir para 6,5% a incidência de fungos em geral nas sementes de soja, com a aplicação de 60 kg/ha de K. A produção aumentou, em média, de 1650 kg/ha, sem K, para 2350 kg/ha, com 60 kg de K. A incidência de *Phomopsis* teve pouca influência com a aplicação de K, porém, sabe-se que este fungo desaparece quando a soja é armazenada em boas condições e/ou que tem pouca influência na germinação das sementes a campo.

TABELA 17. Efeito de K sobre produção e qualidade de sementes de soja.

	kg/ha de K		
	0	17	60
<i>Produção de grãos (kg/ha)</i>			
1º ano	1800 B ¹	2000 B	2300 A
2º ano	1500 B	2300 A	2400 A
<i>Sementes com fungos (%)</i>			
1º ano	34 A	23 B	9 C
2º ano	12 A	7 B	4 C
<i>Phomopsis (%)</i>			
1º ano	61 A	51 B	44 C
2º ano	54 AB	57 A	50 B

¹ Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste LSD.

Fonte: Jeffers et al. (1982).

Entre todos os nutrientes das plantas, os efeitos do K são os mais pronunciados no aumento da qualidade desses produtos. Resumidamente, a função do K nas plantas pode ser descrita assim:

- ativa numerosas enzimas;
- estimula a formação de proteínas e reduz o conteúdo de compostos de N não protéicos;
- estimula a síntese de carboidratos e suas transferências;
- aumenta a taxa e a duração do armazenamento de assimilados;
- reforça os caules, os colmos e as raízes, reduzindo o acamamento e a senescência prematura;
- melhora a qualidade física e a aparência do produto;
- melhora a lignificação e a composição bioquímica alterada, reduzindo infecções por patógenos; e
- neutraliza, parcialmente, alguns dos aspectos menos desejáveis da adubação nitrogenada.

TABELA 18. Produção, incidência de *Phomopsis*, germinação, emergência, dano de percevejos, K nas sementes e peso de 100 sementes da cultivar de soja Paraná, em função da aplicação de doses de potássio em Latossolo Roxo distrófico, em Marilândia do Sul, PR.

K ₂ O kg/ha	Produção kg/ha	%			Dano de percevejo (tetrazólio) ¹	Peso de 100 Sementes (g)
		<i>Phomopsis</i> sp. na semente	Emergência em areia	Germina- ção		
0	692 ²	19.4 c	65.1 c	76.5 c	11.4 b	10.2 d
40	2765 b	13.3 b	72.7 b	82.0 b	8.8 ab	13.0 c
80	2950 ab	1.3 a	83.2 a	93.2 a	5.1 a	14.8 b
120	3100 a	3.6 a	84.2 a	90.6 a	5.0 a	15.3 ab
160	3103 a	2.5 a	85.6 a	89.3 a	5.5 a	15.5 ab
200	2939 ab	3.5 a	86.7 a	92.9 a	4.9 a	15.8 a

¹ Sementes não viáveis devido a danos por percevejos.

² Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
Fonte: França Neto et al. (1985).

A deficiência de K reduz a taxa de fotossíntese por unidade de área foliar e também provoca maiores taxas de respiração. Uma combinação desses dois fatores sugere, pelo menos, decréscimo no potencial das reservas de carboidratos na planta, quando há falta de K.

Em experimento de campo, com doses de potássio, em Latossolo Roxo distrófico deficiente neste nutriente, a produção de grãos aumentou em 326%, com a dose 80 kg/ha, em relação à testemunha (0 kg/ha) (Tabela 18). Em resumo, todas as variáveis estudadas, *Phomopsis* sp., germinação, emergência, dano de percevejos e potássio na semente e peso de 100 sementes) responderam até a dose de 80 kg/ha de potássio (França Neto et al. 1985). Esse experimento foi repetido durante três anos e os resultados confirmaram aqueles obtidos no primeiro ano (1984/85).

6.3 Enxofre (S)

O enxofre é um elemento importante no metabolismo dos mamíferos porque os aminoácidos sulfurados são parte intrínseca da maioria das proteínas dos tecidos, além de que o sulfato e seus ésteres são encontrados em muitos tecidos e metabólitos. Os aminoácidos sulfurados, metionina, cistina e cisteína, não podem ser sintetizados a partir do S inorgânico nos tecidos dos mamíferos. Cisteína pode provir dos alimentos da dieta ou ser derivada da metionina que, por sua vez, deve ser ingerida pré-formada, ou ser sintetizada pela microflora intestinal (Siebert & Vijchulata 1983). Esses autores afirmaram, ainda, que qualquer herbívoro, alimentando-se naturalmente nos trópicos, pode sofrer de deficiência de S, quando a proteína está em níveis baixos nas pastagens. Embora os ruminantes possam beneficiar-se da síntese ruminal da metionina, eles também podem ressentir-se de deficiência de enxofre quando a proteína ou o nitrogênio e o enxofre são limitantes.

Hiroce & Gallo (1972) verificaram efeitos positivos à aplicação de superfosfato simples (SFS) sobre a soja, em Latossolo Roxo distrófico. Conforme esses autores, a influência foi devida ao S contido no fertilizante, pois, como mostra a Tabela 19, o teor de fósforo na planta não modificou-se; o teor de enxofre, entretanto, aumentou à medida que au-

mentava a dose de superfosfato simples. Observaram, também, aumento de 49% na produção de grãos de soja com a aplicação de 500 kg/ha de SFS.

TABELA 19. Teores médios de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de soja e produções médias, em função de doses de superfosfato simples aplicadas ao solo (Ipuá, SP).

Doses de superfosfato simples	% na matéria seca						Produção
	N	P	K	Ca	Mg	S-SO ₄	
kg/ha	-----		%	-----		ppm	kg/ha
0	3.48	0.32	2.71	1.04	0.48	545	1734 b
500	3.63	0.32	2.74	1.00	0.47	626	2580 a
1000	3.72	0.32	2.74	0.97	0.49	790	2634 a

Fonte: Hiroce & Gallo (1972).

Na Tabela 20, são apresentados os resultados da aplicação de S, na forma de gesso, em soja (Miyasaka et al. 1964; Mascarenhas et al. 1974 e 1976). Em todos os experimentos, houve efeitos positivos da aplicação do gesso.

Campos (1985) estudou o efeito de sulfato de amônio, sulfato duplo de potássio e magnésio (K-Mg) e gesso, como fontes de enxofre, na produção e em outras características agrônômicas da soja, em um solo sob vegetação de cerrado, recém desbravado, em Conceição das Alagoas, MG. Os resultados obtidos estão na Tabela 21, com a adubação sulfatada proporcionando aumentos de 12% e 24% na produção de grãos, respectivamente, na safra 1983/84, com a cultivar IAC-9, e na safra 1983/85, com a cultivar IAC-8. No segundo ano de cultivo, foi avaliada a porcentagem de óleo no grão, tendo sido verificado aumento pela adição de enxofre na adubação.

TABELA 20. Efeitos da aplicação de gesso na produção de grãos de soja, em solos do Estado de São Paulo.

Tipo de solo	Produção (kg/ha)		
	com ¹ Gesso	sem Gesso	Dife- rença
Latossolo Roxo	1789	1306	+483 ²
Latossolo vermelho-amarelo fase arenosa	1608	1258	+350 ²
Latossolo vermelho-escuro fase arenosa	1616	1130	+426 ²
Arenito Botucatu	1608	1258	+350 ³

¹ Utilizado 100 kg/ha de gesso

Fonte: ² Mascarenhas et al. (1974; 1976)

³ Miyasaka et al. (1964)

TABELA 21. Médias de produção de grãos de soja, anos agrícolas 1983/84 e 1984/85, e porcentagem de óleo nos grãos, ano agrícola 1984/85, num solo de cerrado, em Conceição das Alagoas, MG.

Tratamentos ¹	Produção de grãos (kg/ha)		% de óleo
	1983/84 (IAC-9)	1984/85 (IAC-8)	1984/85 (IAC-8)
Sem enxofre	2096 c	2108	20.55
Sulfato de amônio I	2382 b	2594	22.77
Sulfato de amônio II	2353 b	2619	22.85
K. Mag I	2360 b	2505	22.06
K. Mag II	2551 a	2728	22.84
Gesso I	2125 c	2574	23.04
Gesso II	2306 b	2624	22.86

¹ I e II, respectivamente 20 e 40 kg/ha de S.

Fonte: Campos (1985).

Correlações positivas significativas foram encontradas entre metionina e cistina e entre metionina e o total do conteúdo de aminoácidos com enxofre (Kaizumma et al. 1974, citados por Burton 1985). Radford et al 1977, citados por Burton (1985), encontraram correlações positivas (0,83, 0.83 e 0.85) entre porcentagem de S e concentração de metionina, cistina e metionina+cistina, respectivamente, em 13 linhas de *G. max* e *G. soja*, com larga escala de relação N/S.

6.4. Molibdênio (Mo)

Em experimentos com aplicação de doses de calcário, estudou-se o efeito do molibdênio na produção de grãos, na fixação simbiótica do nitrogênio e na concentração de nitrogênio nas folhas e nos grãos de soja (Tabelas 22 e 23 e Fig. 3 e 4).

TABELA 22. Produção de grãos de soja (kg/ha), cv. Paraná, em função de doses de calcário, na ausência e na presença de molibdênio.

Calcário t/ha	Campo Mourão		Guarapuava		
	Sem Mo	Com Mo	Calcário t/ha	Sem Mo	Com Mo
0	2237 d B ¹	2710 bA	0	1069 bA	825 cA
2	2597 c B	2891 bA	3	2108 a A	2192 ab A
4	3094 b A	3176a A	6	2169 a A	2181 ab A
6	3184ab A	3279a A	9	2125 a A	2250 a A
8	3273ab A	3296a A	12	2375 a A	2163 ab A
10	3399a A	3288a A	18	2075 a A	1881 b A
MÉDIA	2964 B	3106 A		1987 A	1915 A
CV(a) = 4.16%		CV(b) = 4.16%	CV(a) = 7.97%		CV(b) = 11.9%

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Fonte: Lantmann et al. (1985).

TABELA 23. Teores de nitrogênio no tecido e nos grãos, nitrogênio total nos grãos e rendimento de grãos obtidos em função de níveis de calcário, na presença (c/Mo) e na ausência (s/Mo) de molibdênio para soja, cultivar Paraná em Campo Mourão, PR.

Níveis de Calcário (t/ha)	Nitrogênio			
	Tecido %		Grãos %	
	c/ Mo	s/ Mo	c/ Mo	s/ Mo
0	4.33 ab ¹	3.94 a	7.01 a	6.48 c
2	3.98 b	4.19 a	6.93 a	6.79 b
4	4.26 ab	4.38 a	6.98 a	7.09 a
6	4.41 ab	4.46 a	7.02 a	6.99 a
8	4.23 ab	4.50 a	7.06 a	7.02 a
10	4.86 a	4.33 a	7.01 a	7.01 a
CV (%)	3.02		0.63	

¹ Médias seguidas de uma mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

Fonte: Campo et al (1985).

A Tabela 22 mostra que houve resposta a molibdênio até a dose 2 t/ha de calcário, em Campo Mourão, PR, não havendo resposta em Guarapuava, PR.

A disponibilidade de molibdênio é dependente do pH do solo. Tal fato foi observado neste trabalho, quando foi correlacionado o pH com a produção de grãos de soja, na ausência e na presença do molibdênio aplicado. Acima de pH 5.7, não foram observadas diferenças entre as produções com e sem molibdênio (Fig. 3).

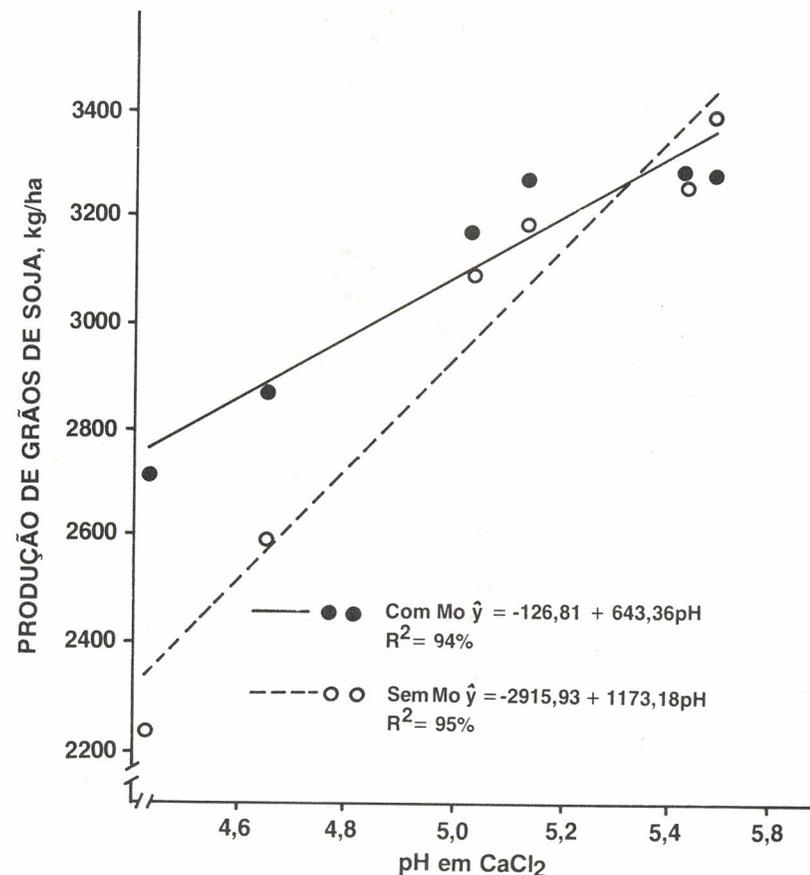


FIG. 3. Relação entre a produtividade de soja, cultivar Paraná, e o pH do solo, com e sem molibdênio, em latossolo roxo álico de Campo Mourão (PR). EMBRAPA-CNPSO. Londrina, PR, 1985. (Lantmann et al. 1985).

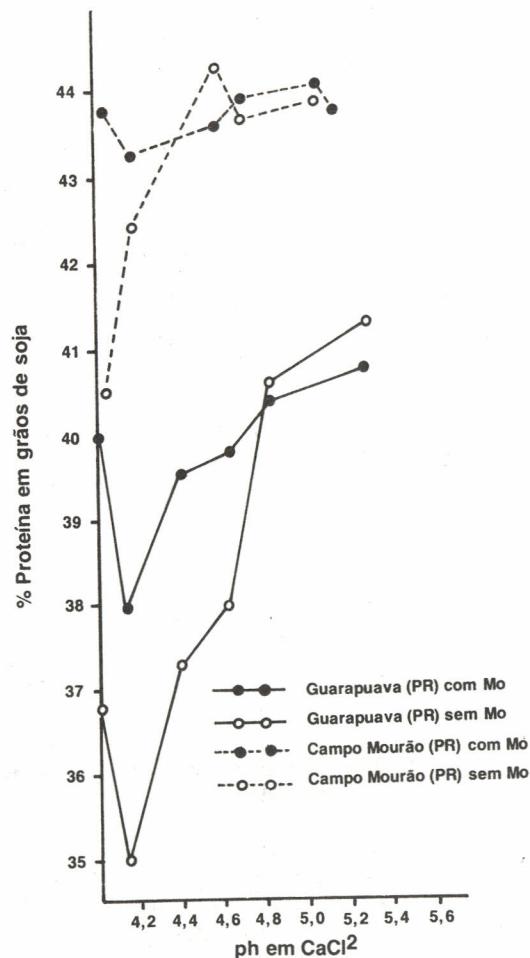


FIG. 4. Relação entre o valor do pH e o teor de proteína nos grãos da cv. Paraná na ausência e presença de molibdênio (Mo). EMBRAPA-CNPSO. Londrina, PR. 1985. (Campo et al. 1985).

Verifica-se, na Tabela 23, que o nitrogênio do tecido não foi influenciado nem pelas doses de calcário, nem pelo molibdênio. Entretanto, os teores de N nos grãos foram maiores quando se aplicou molibdênio até 2 t/ha de calcário. Isso mostra a influência do Mo sobre o transporte do N dentro da planta. Esses resultados são mostrados também na Fig. 4, em Guarapuava e Campo Mourão (PR), onde foi verificado que, em função do pH, há resposta ao molibdênio sobre o teor de proteína nos grãos de soja. Esses resultados mostram, com evidência, o efeito do Mo sobre a fixação simbiótica do nitrogênio e também sobre o transporte de N na planta.

6.5. Interação entre nutrientes

Na maioria das vezes, um nutriente isoladamente não exerce influências marcantes sobre a produção e a qualidade da soja. Pensando nisso, muitos estudos foram efetuados para estabelecer interações entre nutrientes.

6.5.1. Nitrogênio e Potássio (N e K)

Maior conteúdo de nitrogênio aumenta o teor de aminoácidos solúveis e o teor de asparagina. Com o aumento do teor de potássio ocorre o inverso. Deficiência de K ocasiona distúrbios no metabolismo de N, resultando plantas com maior conteúdo de compostos solúveis, aminoácidos livres e amidos. A adubação potássica geralmente aumenta a eficiência da adubação nitrogenada, melhora a quantidade e a qualidade da proteína e, pelo menos parcialmente, neutraliza as consequências de níveis excessivos de N (Arnon 1966).

A fertilização de N pode ter um impacto bastante significativo no rendimento das culturas e no teor de proteína bruta. Quando se usa uma dose excedendo aquela necessária para rendimento máximo, pode-se obter aumento adicional no conteúdo de proteína bruta. Tem-se observado com frequência, entretanto, que o aumento do conteúdo de proteína, associado a grandes aplicações de N, pode alterar as proporções relativas dos aminoácidos essenciais e dos compostos de nitrogênio não protéico,

a menos que se façam adubações mais balanceadas. Quando se aplica bastante N, a adição de K baixa o nível de aminoácidos livres e aumenta sensivelmente a proteína.

Teor máximo de óleo em plantas normalmente ocorre sob condições que favorecem a produção de carboidratos. Forster (1977) verificou que doses crescentes de N para colza decresceram o teor de óleo, enquanto doses altas de K contrabalançaram parcialmente esse efeito. A composição do óleo não foi afetada significativamente, embora alto nível de K tende a baixar o nível de glucosinolato, um componente importante em rações animais.

6.5.2. Fósforo e Potássio (P e K)

Thompson (1978), estudando P e K na qualidade de semente e na produção, verificou que houve influência dos dois nutrientes, porém o K diminuiu, até próximo a zero, o aparecimento de sementes danificadas e doentes (Tabela 24). Na produção, também foi verificado maior efeito do K, talvez porque a deficiência deste elemento era acentuada. Já a Tabela 25 mostra a interação entre P e K, tanto no número e no peso de nódulos como no número de vagens por planta e na produção.

TABELA 24. Efeito de P e K sobre produção e qualidade de sementes de soja.

kg/ha			Sementes danificadas e doentes (%)
P ¹	K ¹	Produção	
0	0	1614	20,8
195	0	1950	12,5
0	372	2556	1,8
195	372	2826	1,3

¹ Total aplicado no primeiro ano, em cinco anos de estudo; dados do terceiro ano.

Fonte: Thompson (1978).

TABELA 25. Efeito de P e K sobre nodulação e número de vagens de soja (média de dois anos).

P	K	Nódulos				Número de vagens por planta	Produção de grãos kg/ha
		Número		Peso seco			
		Por m ³ de solo	Por planta	Por m ³ de solo	Por nódulo		
		kg/ha		mg			
0	0	13000	35 d ¹	60000	4,4 d	27 d	1300
60	0	20500	59 c	110000	5,6 c	34 c	2050
0	112	21500	79 b	160000	7,4 b	48 b	2150
60	112	38800	114a	310000	7,9a	63a	3880

¹ Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Jones et al. (1977).

6.5.3. Nitrogênio e Enxofre (N e S)

A aplicação de S diminuiu significativamente os teores de N na parte aérea de plantas de soja e aumentou o conteúdo de óleo e proteína nos grãos de soja (Tabela 26) (Chandel et al. 1989).

Em experimento em vasos, Gaines & Phatak (1982), com doses 0, 16 e 32 ppm de S, mostraram que a aplicação de doses de S, aumenta o S não-protéico e mantém constante o S protéico em soja (Tabela 27). Ao mesmo tempo, faz diminuir a porcentagem de N não-protéico e aumentar N protéico, com o N total diminuindo com aumento da dose de S.

A relação N/S protéicos se mantém constante (± 20) e N/S total diminui, drasticamente, com aplicação de enxofre. Plantas de soja deficientes em S têm uma relação N/S total de 19,5 enquanto que com 16

TABELA 26. Efeito da aplicação de enxofre sobre o conteúdo e a absorção de enxofre, conteúdo de nitrogênio na planta e porcentagem de proteína e óleo nos grãos de soja, aos 45 dias da emergência.

Tratamento S-kg/ha	mg/planta S	%				Produção de grãos kg/ha
		S	N	Proteína	Óleo	
0	1,48	0,25	3,26	40,77	18,94	2413
5	2,45	0,39	3,19	41,06	20,76	2446
10	2,73	0,41	3,14	42,25	20,93	2614
20	2,82	0,45	2,92	42,64	20,96	2674
30	3,21	0,52	2,79	41,66	21,38	2678
40	3,37	0,55	2,66	42,42	21,31	2525

Fonte: Chandel et al. (1989).

TABELA 27. Fracionamento de N e S em plantas de soja afetados pela aplicação de enxofre.

Fracionamento N e S	S ppm		
	0	16	32
	----- % -----		
S - não protéico	0,12 B ¹	0,23 A	0,23 A
S - protéico	0,08 B	0,10 A	0,10 A
S - total	0,20 B	0,33 A	0,33 A
	----- % -----		
N - não protéico	2,29 A	1,84 B	1,48 C
N - protéico	1,61 B	2,00 A	1,98 A
N - total	3,90 A	3,84 A	3,46 B
	----- % -----		
N/S - protéico	20,10	20,00	19,80
N/S - total	19,50	11,60	10,50

¹ Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Gaines & Phatak (1982).

ppm S, a relação cai para 11,6 (Tabela 27). Milho, soja e caupi são consideradas plantas que acumulam pouco S, ou seja, quando deficientes têm 0,09% de S (milho) e quando com enxofre suficiente 0,33% de S total (soja). Já o tomate e algodão acumulam, respectivamente, 0,12% de S quando deficiente e 0,90% S quando com S suficiente.

6.5.4. Fósforo, Enxofre e Molibdênio (P, S e Mo)

Kumar et al (1981) encontraram que doses crescentes de enxofre aumentaram a porcentagem de proteína bruta e dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina em grãos de soja (Tabela 28). O conteúdo dos vários aminoácidos contendo S nos grãos foi encontrado na seguinte ordem: metionina > cistina > cisteína. O aumento da proteína bruta e dos aminoácidos com S, devido à aplicação de S, ocorreu, principalmente, porque o S é um dos constituintes desses aminoácidos, os quais são constituintes essenciais das proteínas. Entretanto, na ausência de S, o conteúdo de aminoácidos com S foi afetado e ao mesmo tempo a quantidade de proteína bruta também foi baixa. A deficiência de S em nozes baixou o N protéico e aumentou o N solúvel em toda a planta (Hanower & Brazzowska 1964, citados por Kumar et al 1981). Houve aumento de arginina e asparagina e diminuiu cistina, cisteína e metionina.

As interações S x P e S x Mo afetaram significativamente o total do conteúdo de açúcares. A interação S x P indicou que com 80 ppm de S, em todos os níveis de P, aumentou a porcentagem de açúcar total e com 120 ppm de S houve decréscimo significativo (Tabela 29).

A aplicação de 40 ppm de P, na ausência de S, aumenta o total de açúcar, entretanto com 80 ppm de P há um decréscimo. Quando 80 e 120 ppm S são aplicados, há tendência de aumento no açúcar total, interagindo com 40 e 80 ppm P. Isso indica que a aplicação de P pode aumentar efetivamente o total de açúcares nos grãos da soja, na presença de altas quantidades de S. Na interação S x Mo, o total de açúcares aumenta na ausência de S e com 1 ppm de Mo, mas quando o S é aplicado de 40 a 120 ppm não há efeito do Mo. Isso pode ser devido ao antagonismo entre S e Mo.

TABELA 28. Efeito da aplicação de S, P e Mo sobre a composição química dos grãos de soja.

Tratamentos (ppm)	Proteína bruta %	Óleo %	Açúcar %			Aminoácidos contendo S mg/g de matéria seca				Produção de grãos g/vaso
			Reduzidos	Não reduzidos	Total	Cistina	Cisteína	Metionina		
									mg/g de matéria seca	
S ₀	40,28 c	19,62 c	1,13 c	1,54 c	2,67 d	1,94 c	1,25 c	7,57 d	2,13 d	
S ₄₀	40,97 bc	20,95a	1,39 b	1,66 bc	3,05 c	2,44 b	1,55 b	10,52 c	2,53 c	
S ₈₀	41,60ab	20,59 b	1,61a	2,56a	4,17a	2,86a	1,89a	13,93 b	2,79a	
S ₁₂₀	42,20a	20,76ab	1,26 bc	2,06ab	3,33 b	2,94a	1,97a	16,40a	2,63 b	
P ₀	41,16a	20,23a	1,15 b	1,94a	3,08 b	2,50a	1,63a	11,74 b	2,37 c	
P ₄₀	41,46a	20,30a	1,46a	1,93a	3,40a	2,60a	1,71a	12,77a	2,51 b	
P ₈₀	41,19a	20,32a	1,43a	1,99a	3,42a	2,53a	1,66a	11,80 b	2,67a	
Mo ₀	41,19a	20,29a	1,31a	1,96a	3,27a	2,60a	1,70a	12,29a	2,50a	
Mo ₁	41,33a	20,27a	1,39a	1,95a	3,34a	2,48 b	1,63 b	11,92a	2,54a	

¹ Médias seguidas de mesma letra nas colunas, dentro de cada grupo de tratamentos, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Fonte: Kumar et al (1981).

TABELA 29. Interações de S com P e Mo sobre a porcentagem de açúcar total em grãos de soja.

Tratamentos	P ppm			Mo ppm	
	0	40	80	0	1
S ₀	2,51 c B ¹	2,92 cA	2,58 d B	2,50 d B	2,84 dA
S ₄₀	2,67 c C	3,29 b A	3,20 c A	3,10 c A	3,00 c A
S ₈₀	4,06a B	4,13a B	4,34a A	4,18a A	4,17a A
S ₁₂₀	3,08 b B	3,26 b B	3,65 b A	3,32 b A	3,37 b A

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Kumar et al. (1981)

A relação entre proteína bruta e metionina, com os níveis de aplicação de S, foi linear enquanto para açúcares, óleo, cistina e cisteína foi quadrática (Kumar et al. 1981). Com 40 ppm P houve aumento significativo do conteúdo de metionina nos grãos e com 80 ppm P decréscimo. Não houve interferência do P sobre proteína bruta e óleo (Tabela 28).

A aplicação de Mo diminuiu significativamente o conteúdo de cistina e cisteína, mas não teve efeito sobre os outros fatores. Isto é devido ao antagonismo entre S e Mo, pois a aplicação de Mo, com carga e raio iônico semelhantes, prejudica a absorção de SO₄. Entretanto, devido à baixa disponibilidade de sulfatos nos tratamentos com Mo, a quantidade destes aminoácidos diminuiu.

Gupta & Gupta (1972), citados por Kumar et al. (1981), mostraram que a aplicação de Mo não afetou a composição da ervilha.

A concentração de S, aos 45 e 110 dias, deu uma correlação significativa com proteína bruta, óleo, aminoácidos com S e com total de açú-

cares (Tabela 30). A porcentagem de P, aos 45 dias, correlacionou com o total de açúcares e, aos 110 dias, houve correlação com proteína bruta, óleo, açúcares, e aminoácidos com S. A concentração de Mo nas folhas, aos 45 dias, deu correlação negativa com cisteína (-0,44) e metionina (0,41).

Os autores concluíram que a aplicação de S e P, nos solos estudados, melhora a qualidade da proteína nos grãos de soja. Contudo, a aplicação de Mo, quando ele não é deficiente, pode deteriorar a qualidade do grão pelo decréscimo da quantidade de aminoácidos com S.

TABELA 30. Coeficientes de correlação entre nutrientes nas folhas e vários constituintes de grãos de soja.

Fator Correlacionado	Proteína bruta %	Açúcares		Aminoácidos contendo S mg/g de matéria seca		
		Óleo %	Total %	Cistina	Cisteína	Metionina
<i>Concentração de nutrientes aos 45 dias</i>						
S%	0,89**	0,93**	0,77**	0,91**	0,87**	0,89**
P%	0,04	0,09	0,58**	0,19	0,12	0,03
Moppm	0,27	-0,37	0,37	-0,44**	-0,32	-0,41*
<i>Concentração de nutrientes aos 110 dias</i>						
S%	0,86**	0,88**	0,68**	0,90**	0,88**	0,89**
P%	0,54**	0,59**	0,46**	0,51**	0,59**	0,57**
Moppm	-0,14	0,24	0,16	-0,32	-0,28	-0,25
<i>Absorção de S, P e Mo (mg/vaso) aos 110 dias</i>						
S	0,86**	0,82**	0,90**	0,87**	0,52**	0,88**
P	0,52**	0,52**	0,75**	0,49*	0,51*	0,45*
Mo	0,16	0,05	0,21	-0,05	0,01	0,02

* Significativo a 5% e ** significativo a 1% de probabilidade.

Fonte: Kumar et al. (1981).

6.5.5. Enxofre e Zinco (S e Zn)

Kumar & Singh (1980) observaram que houve interação entre Zn e S sobre a absorção de S (mg/vaso) na soja aos 110 dias (maturação), com aumento de 10,63 mg, com zero de Zn e S, para 39,28 mg, com 5 ppm Zn e 120 ppm S (Tabela 31). A melhor interação foi Zn 5 ppm e S 80 ppm (38,93), que não difere de Zn 5 ppm e S 120 ppm (39,28).

TABELA 31. Absorção total de S, mg/vaso, em soja aos 110 dias em função de níveis de S e Zn aplicados. Kumar e Singh, 1980.

Tratamentos	S ppm			
	0	40	80	120
Zn 0	10,63 b C ¹	22,51 b B	33,46 c A	32,55 c A
Zn 5	13,72a C	27,01a B	38,93a A	39,28a A
Zn 10	13,99a C	26,22a B	37,63 b A	37,94 b A
----- LSD (0,05) S x Zn = 1,06 -----				

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Kumar & Singh (1980).

BIBLIOGRAFIA

- ARNON, I. Quality criteria of agricultural produce and the influence of mineral fertilizers on quality. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 8, BERNE, 1966. Proceedings 8s of the Potassium and the quality of Agricultural Products. Berne, 1966. p. 339-400.
- BATAGLIA, O.C. & MASCARENHAS, H.A.A. Absorção de nutrientes pela soja. Campinas, IAC, 1977. 36p. (Boletim Técnico, 41).
- BERTRAND, D. & DE WOLF, A. Importance du nickel, comme oligo element, pour les Rhizobium des nodasites des leguminenses. **C.R. Hebd Seances Acad. Sci.**, 276:1855-58, 1973.
- BONATO, E. R. & BONATO, A.L.V. A soja no Brasil: história e estatística. Londrina, EMBRAPA-CNPSO. 1987. 61p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 21).
- BURTON, J.W. Breeding soybeans for improved protein quantity and quality. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 3, Boulder, 1985. **Proceedings...** Boulder, Westview Press, 1985. p.361-6.
- CAMPO, R.J.; LANTMANN, A.F.; SFREDO, G.J. & BORKERT, C.M. Efeito da aplicação de micronutrientes sobre a fixação simbiótica do nitrogênio. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. **Resultados de Pesquisa de Soja 1984/85**. Londrina, 1985. p.307-12. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 15).
- CAMPOS, R. de **Efeitos de fontes e doses de enxofre na cultura da soja. (*Glycine max* L. Merrill)**. Jaboticabal, UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 1985. 87p. Tese mestrado.

- CHANDEL, A.S.; RAO, G.P. & SAXENA, S.C. Effect of sulfur nutrition on soybean (*Glycine max* L. Merrill). In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4, Buenos Aires, 1989. Actas... Buenos Aires, AAS, 1989. p.363-8.
- CHANGFU, Z. & YINONG, M. Comparative studies on ureides and relative abundance of ureides in different soybean cultivars. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4, Buenos Aires, 1989. Actas... Buenos Aires, AAS, 1989. p.340-5.
- CORDEIRO, D.S.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; SARRUGE, J.R.; PALHANO, J.B. & CAMPO, R.J. Calagem, adubação e nutrição mineral. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. **Ecologia, manejo e adubação da soja**. Londrina, 1979. p.19-49. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 2).
- COSGROVE, D.J. Chemistry and biochemistry of inositol polyphosphates. **Rev. Pure. Appl. Chem.** 16:209-24, 1966.
- CRITTENDEN, H. & SVEC, L.V. Effect of potassium on the incidence of *Diaphora sojae* in soybean. **Agron. J.** 66:696-7, 1974.
- ELLETT, C.W. Soil Fertility and disease development. **Better Crops.** 57:(3):6-8, 1973.
- ESKEW, D.L.; WELCH, R.M. & NORVELL, W.A. Nickel in higher plants. Further evidence for an essential role. **Plant Physiology**, 76:691-93, 1984.
- FAO, Roma. Technology of production from soybeans. Roma, 1971. n.p. (Service Bulletin, 2).
- FOREIGN AGRICULTURE CIRCULAR; Oilseeds and Products. Washington, USDA, 1982-88.
- FORSTER, H. Influence of N and K fertilizers on the quality and yield

of oil from old and new varieties of rapeseed (*Brassica napus*, spp. oleifera) p.305-310. In: COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL OF THE POTASH INSTITUTE, 13, Berni, 1977. **Fertilizers use and production of carbohydrates and lipids.** Berne, 1977. p.305-10.

FRANÇA NETO, J. de B.; COSTA, N.P. de; HENNING, A.A.; PALHANO, J.B.; SFREDO, G.J. & BORKERT, C.M. Efeito de doses e métodos de aplicação de cloreto de potássio sobre a qualidade da semente de soja. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. **Resultados de Pesquisa de Soja 1984/85.** Londrina, 1985. p.294-301 (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 15).

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos.** 7.ed. Rio de Janeiro, Atheneu, 1986. p.145.

GAINES, T.P. & PHATAK, S.C. Sulfur fertilization effects on the constancy of the Protein N:S ratio in low and high sulfur accumulating crops. **Agron. J.**, 74(3):415-8, 1982.

GORDON, J.F. Algal protein and human diet. In: LAURIE, R.A. ed. **Protein as human food.** Westport, AVI, 1970. p.328-45.

GRIFFITH, W.K. Fertilizing for quality grains dollars. **Better Crops.** 61(2):6-11, 1977.

GUPTA, J.K. & GUPTA, Y.P. Note on effect of sulphur and molybdenum on quality of pea. **Indian J. Agron.**, 17:245-7, 1972.

HANOWER, P. & BRAZOSZOWSKA, J. Absorption and distributing of ³⁵S in peanut (*Arachis hypogea* L.). Effect of S deficiency on metabolism of sugars and nitrogen. **Agrochimica**, 8:263-74, 1964.

HIROCE, R. & GALLO, J.R. Efeito do enxofre na produção da soja. **Bragantia**, 31:11-2, 1972.

HOWELL, R.W. & COLLINS, F.I. Factors affecting linolenic and linoleic and content of soybean oil. **Agron.J.**, 49:593-97, 1957.

JEFFERS, D.L.; SCHMITTHENNER, A.F. & KROETZ, M.E. Potassium fertilization effects on phomopsis seed infection, seed quality and yield of soybeans. **Agron. J.**, 74:886-90, 1982.

JONES, G.D.; LUTZ, J.A. Jr. & SMITH, T.J. Effects of phosphorus and potassium on soybean nodules and seed yield. **Agron. J.**, 69:1003-6, 1977.

KAIZUMA, N.; TAIRA, H. & FUKUI, J. On the varietal differences and heritabilities for seed protein percentage and sulfur-containing aminoacid, contents in cultivated soybeans, *Glycine max* Merrill. **Japan J. Breed**, 24:81-87, 1974.

KIRALY, Z. Plant disease resistance as influenced by biochemical effects of nutrients in fertilizers. p.33-46. In: COLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 12, Berne, 1976. **Fertilizer use and plant nealter.** Berne, 1976, p.33-46.

KUMAR, V. & SING, M. Sulfur and zinc interactions in relation to yield, uptake, and utilization of sulphur in soybean. **Soil Sci.**, 130(1):19-25, 1980.

KUMAR, V.; SINGH, M. & SINGH, N. Effect of sulphate, phosphate and molybdate application on quality of soybean grain. **Plant and Soil**, 59(1):3-8, 1981.

LANTMANN, A.F.; CAMPO, R.J.; BORKERT, C.M. & SFREDO, G.J. Efeito de micronutrientes na produção de soja em Guarapua e Campo Mourão, PR. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. **Resultados de Pesquisa de Soja 1984/85.** Londrina, PR, 1985. p.303-5 (EMBRAPA-CNPSO, Documentos, 15).

MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C. & TISSELLI FILHO,

O. Contribuição do Instituto Agrônômico na evolução da cultura da soja no Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico, 1974. 22p. (Circular, 32).

MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. & BELLINAZZI JÚNIOR, R. O enxofre na adubação. Campinas, CATI, 1976, 11p. Mimeografado.

McNEW, G.L. Plant Diseases. USDA Yearbook of Agriculture Washington, D.C. 940p. 1953.

MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & MASCARENHAS, H.A.A. Adubação da Soja. III. Efeito do NPK, do enxofre e de micronutrientes em solo do arenito de Botucatu, com vegetação de cerrado. **Bragantia**, 23(7):65-71, 1964.

PECK, T.R. Plant analysis for production agriculture. In: SOIL PLANT ANALYSIS WORKSHOP, 7, Bridgetown, 1979. **Proceedings...** Bridgetown, 1979. p.1-45.

PERRENOUD, S. Potassium and plant health. Berne, International of the Potash Institute, 1977. n.p. (IPI Research Topics, 3).

POLACCO, J.C. & HAVIR, E. Comparisons of soybean urease isolated from seed and tissue culture. **J. Biol. Chem.**, 254:1707-15, 1979.

PRATTLEY, C.A. & STANLEY, D.W. Protein-phytate interactions in soybeans. I. Localization of phytate in protein bodies and globoids. **J. Food Biochem.** 6:243-53, 1982.

PRATTLEY, C.A., SMITH, T.K. & VAN DE VOORT, F.R. Protein-phytate interactions in soybeans. III. The effect of protein-phytate complexes on zinc bioavailability. **J. Food Biochem.** 6:273-82, 1982.

RADFORD JÚNIOR, R.L.; CHAVENSAKSONGKRAM, C. & HYMOWITZ, T. Utilization of nitrogen to sulfur ratio for

evaluating sulfur-containing amino acid concentrations in seed of *Glycine max* and *G. soja*. **Crop. Sci.**, 17:273-7, 1977.

SCHRADER, L.E. & BRISKIN, D.P. Mineral nutrition of soybeans. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4, Buenos Aires, 1989. Actas... Buenos Aires, AAS, 1989. p. 217-24.

SIEBERT, B.D. & VIJCHULATA, P. Sulphur in animal nutrition. In: BLAIR, G.J. & TILL, A.R. eds. **Sulphur in S.E. Asian and S. Pacific Agriculture**. Armidale, Australia, University of New England, 1983. p.87-96.

SMITH, A.K. & CIRCLE, S.J. Chemical composition of the seed. In: SMITH, A.K. & CIRCLE, S.J. Soybeans: chemistry and technology. Westport, AVI, 1972. p.61-92.

THOMPSON JÚNIOR, N.R. A quantity of quality soybeans with fertility. In: AGROKNOWLEDGE, 3, Atlanta, 1978. Atlanta, Potash & Phosphate Institute, 1978. p.1-4.

XIAO, N.H.; LI, Z.Y. & WU, S.T. Nitrogen nutrition and fixation in double cropping soybean. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4, Buenos Aires, 1989. Actas... Buenos Aires, AAS, 1989. p. 308-13.

WILCOX, J.R. Soybean protein and oil quality. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4, Buenos Aires, 1989. Actas... Buenos Aires, AAS, 1989. p.28-39.

WILSON, R.F. Seed metabolism. In: WILCOX, J.R. Improvement, production, and uses. 2 ed. Madison, ASA, 1987. p. 643-86.

WINKLER, R.G.; POLACCO, J.C.; ESKEW, D.L. & WELCH, R.M. Nickel is not required for apo-urease synthesis in soybean seeds. **Plant Physiology**, 72:262-3, 1983.

**Composto e impresso pelo Setor de Comunicação do
Centro Nacional de Pesquisa de Soja.**

Rod. Carlos João Strass (Londrina-Warta)

Acesso Orlando Amaral

Fone: (0432) 20-4166 - Telex: (432) 208

Caixa Postal, 1061

86.001 - Londrina, PR

Tiragem: 2.000 exemplares
1ª reimpressão: 1.000 exemplares – Ago/95