

ECOLOGIA, MANEJO E ADUBAÇÃO DA SOJA



EMBRAPA

Centro Nacional de Pesquisa de Soja

ECOLOGIA, MANEJO E ADUBAÇÃO
DA SOJA



EMBRAPA

Centro Nacional de Pesquisa de Soja
Londrina, PR

Comitê de Publicações do CNPSo
Caixa Postal 1061
86.100 - LONDRINA, PR.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa
de Soja, Londrina - Pr.
Ecologia, manejo e adubação da soja. Londrina, Comitê de Publica-
ções do CNPSo/EMBRAPA, 1979.

91 p. (EMBRAPA. CNPSo. Circular técnica, 2)

CDD 581.13

© EMBRAPA

APRESENTAÇÃO

A melhoria da produtividade e da estabilidade de produção da soja está íntimamente ligada a uma série de práticas de manejo do solo e da cultura. O conhecimento teórico-prático da influência destes fatores sobre o desenvolvimento da planta é de fundamental importância para os agentes da assistência técnica e para aqueles que estão ligados diretamente à área da produção dessa leguminosa.

O Centro Nacional de Pesquisa de Soja - CNPSo, dentro do seu propósito de difundir com presteza os conhecimentos sobre todos os aspectos ligados à produção de soja aborda, nesta circular técnica, as últimas informações obtidas pela pesquisa brasileira sobre conservação, correção e adubação do solo e manejo da cultura, procurando enfocá-las de maneira clara e objetiva.

Esperamos que este documento se constitua em uma ferramenta de grande utilidade nas mãos daqueles que têm por tarefa orientar os produtores com o fim de tornar o cultivo da soja cada vez mais produtivo, seguro e econômico.

EMÍDIO RIZZO BONATO
Chefe do CNPSo

CONTEÚDO

CAPÍTULO I MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO Mondardo, A.

11	Introdução	7
2.	Preparo do solo	7
3.	Sistemas de conservação do solo para a sucessão trigo-soja	10
4.	Técnicas conservacionistas para uma área cultivada	11
4.1.	Terraceamento	11
4.2.	Culturas em faixa de contorno	13
4.3.	Cordões de vegetação permanente	15
5.	Diversificação de uso da terra para conservar e/ou recuperar o solo	15
6.	Literatura consultada	16

CAPÍTULO II CALAGEM, ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO MINERAL Cordeiro, D.S.; G.J. Sfredo; C.M. Borkert; J. R. Sarruge; J.B. Palhano & R.J. Campo

1.	Introdução	19
2.	Acidez do solo	19
2.1.	Neutralização da acidez do solo	22
2.2.	Calagem	24
3.	Fixação simbiótica do nitrogênio	30
4.	Fósforo no solo	32
4.1.	Na planta	33
4.2.	Adubação fosfatada	33
5.	Potássio	36
6.	Cálcio e Magnésio	37
7.	Enxofre	38
8.	Micronutrientes	39
9.	Interpretação dos resultados de análise	40
9.1.	Cálcio e Magnésio	40
9.2.	Potássio trocável	41
9.3.	Fósforo solúvel	41
9.4.	Teor de carbono	41
9.5.	pH do solo	42

9.6. Alumínio trocável e porcentagem de saturação com alumínio	42
9.7. Cálcio trocável	42
9.8. Magnésio trocável	42
10. Marcha de absorção de macronutrientes pela soja	43
10.1. Absorção de nitrogênio	44
10.2. Absorção de fósforo	45
10.3. Absorção de potássio	46
10.4. Absorção de cálcio	46
10.5. Absorção de magnésio	46
10.6. Absorção de enxofre	50
10.7. Considerações finais	50
11. Recomendações de adubação	52
12. Literatura citada	59

CAPÍTULO III
ECOLOGIA E MANEJO DA CULTURA
Queiroz, E.F.; N. Neumaier & E. Torres

1. Introdução	63
2. Exigências bioclimáticas da soja	63
2.1. Exigências térmicas	64
2.2. Exigências fotoperiódicas	65
2.3. Exigências hídricas	65
3. Cultivares	67
4. População	68
4.1. Densidade	68
4.2. Espaçamento	68
5. Efeito da época de semeadura e da população sobre as características morfológicas	69
5.1. Altura de planta e de inserção das primeiras vagens	69
5.2. Acamamento	70
5.3. Número de ramificações	70
6. Sistemas de produção	70
6.1. Época de semeadura	70
6.2. Diversificação de cultivares na lavoura	75
6.3. População	75
6.4. Recomendações de época de semeadura, população e cultivares	76
7. Recomendações para colheita	82
7.1. Manejo da lavoura	83
7.2. Diversificação de cultivares na lavoura	83
7.3. População	83
7.4. Ervas daninhas	83
7.5. Manejo da colhedeira	83
8. Literatura citada	88

CAPITULO II

CALAGEM, ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO MINERAL

CORDEIRO^{1/}, D.S.; G.J. SFREDO^{2/}; C.M. BORKERT^{2/}; J.R. SARRUGE^{3/};
J.B. PALHANO^{2/}; & R.J. CAMPO^{2/}

1. INTRODUÇÃO

A participação crescente da soja na economia de alguns Estados brasileiros e, conseqüentemente, na economia do próprio País, é significativa, tanto pelo seu alto grau de técnica, como pelas ótimas condições de mercado existentes. A demanda de óleos vegetais e produtos derivados no mercado internacional é um fato incontestável. Por outro lado, o consumo interno desses produtos acompanha as necessidades mundiais, exigindo, por conseguinte, pesquisas básicas, inclusive de nutrição mineral, para que se consiga, num curto espaço de tempo, aumentar a produtividade da cultura que ainda é baixa em relação a outros países produtores.

A soja, como cultura de ciclo anual, é muito exigente em todos os macronutrientes essenciais. Esses nutrientes, para que possam ser eficientemente aproveitados pelas plantas, devem estar presentes no solo em quantidades suficientes e em relações equilibradas, para que não interfiram negativamente entre si na absorção.

Para que esse equilíbrio seja alcançado e mantido é necessário que certas práticas, como calagem e adubação, sejam empregadas de maneira racional. Essas práticas têm sido satisfatórias em diversas regiões do país, quando embasadas num bom sistema de recomendações de adubação.

2. ACIDEZ DO SOLO

A hipótese mais provável da origem primária da acidez do solo está ligada ao dióxido de carbono (CO₂). Isso significa que durante as transformações iniciais das rochas e do material

^{1/} Engo. Agro. D.S. Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Soja/EMBRAPA. Caixa Postal 1061 - 86.100 - Londrina, PR.

^{2/} Engo. Agro. MSc. Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Soja/EMBRAPA.

^{3/} Professor Doutor do Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz - USP - Piracicaba, SP.

originário, o CO_2 desempenhou papel relevante como gerador de prótons conforme mostram as seguintes expressões:



Em solos formados, isto é, com os organismos já incorporados e cuja água apresenta uma concentração de CO_2 e de prótons maior do que no início da decomposição das rochas e do material originário, a ação dos H_3O^+ ou H^+ na alteração dos seus constituintes é mais perceptível.

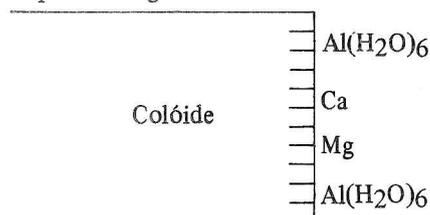
Além do ácido carbônico, outros componentes do solo também liberam íons H^+ para a solução do solo, acidificando o meio. Essa concentração de íons H^+ é chamada acidez ativa. O conjunto de substâncias que liberam íons H^+ para a solução do solo é chamado **acidez potencial**, sendo constituído, principalmente, por compostos de ferro, alumínio, manganês e por ácidos de matéria orgânica.

A toxidez do Al^{3+} é comumente considerada como o principal efeito pernicioso da acidez. Há indicações de que as plantas sensíveis à toxidez de alumínio (a soja enquadra-se nesse grupo), se desenvolvem satisfatoriamente em concentrações inferiores à 0,90 e.mg de $\text{Al}^{3+}/100\text{g}$ de solo (Adams & Pearson, 1967).

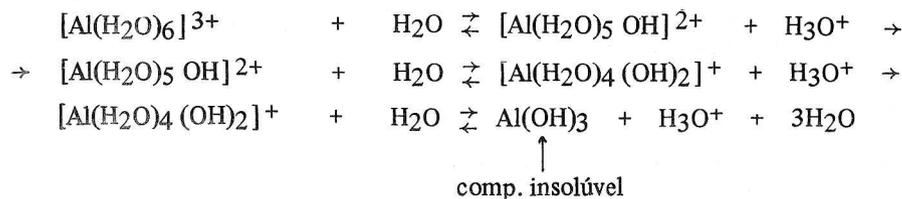
Na presença de alumínio, as raízes são afetadas nas suas funções biológicas e se atrofiam. Segundo Wutke (1972), o alumínio deve ligar-se a ácidos nucleicos, provocando a inibição da divisão celular.

Durante o período de 1950 a 1960, conforme citam Coleman & Thomas (1967), o estudo da química do solo e da numerologia relacionada ao Al^{3+} foi uma constante em muitos laboratórios. Foi estabelecido que o Al^{3+} adsorvido pelas argilas não era somente o Al^{3+} trocável, mas também polímeros de hidróxidos de Al^{3+} de tamanho indefinido. Esses polímeros não só ocupam a superfície externa das camadas das argilas, como também os espaços interlamelares das argilas 2:1, inibindo a sua expansão.

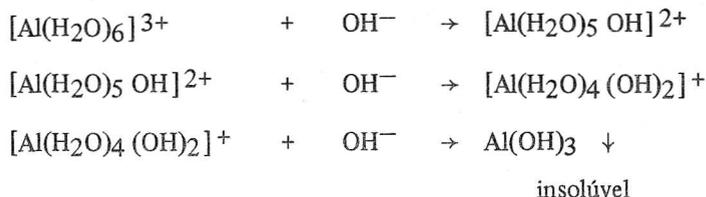
Os íons monômeros de alumínio $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, adsorvidos aos colóides do solo ou trocáveis, predominam sobre os íons de hidrogênio nos solos ácidos, conforme se observa no esquema a seguir:



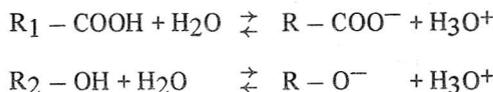
Uma vez presente no colóide, o alumínio trocável passa a constituir um componente da acidez do solo, porquanto consegue doar prótons à água do solo, conforme mostram as seguintes expressões:



Em condições de pH mais elevado, onde ocorre uma predominância de íons OH^- , os monômeros de alumínio podem ser neutralizados conforme as expressões:



Os ácidos orgânicos e os fenóis também fornecem prótons em determinadas condições, conforme indicam as expressões:



Como já ficou explícito anteriormente, a acidez do solo provém principalmente da lixiviação das bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ e Na^+ entre outros) dos horizontes superficiais, que são inicialmente trocadas por H^+ e posteriormente por Al^{3+} .

De maneira geral, nos solos do Brasil, quando o pH for inferior a 5,0, o Al^{3+} trocável é o cátion dominante. Estudos feitos por Kamprath & Foy (1971), em quatro Ultisois, indicam que o Al^{3+} constitui 50% dos cátions trocáveis, quando o pH se situa entre 4,8 e 5,1, mas somente 10% quando entre 5,3 e 5,7. Diz, o mesmo autor, que os pontos ativos de permuta no colóide, em solos com pH inferior a 5,0, são saturados primeiramente com Al^{3+} . Entre pH 5,0 e 6,0, os cátions básicos chegam a ocupar até 90% dos pontos de troca.

A simples medida do pH ou dos teores de Al^{3+} trocável do solo parece não ser a melhor maneira de indicar os limites de toxidez para as plantas. A medida mais real, porque está inserida dentro do complexo de troca, parece ser a percentagem de saturação dos pontos de troca pelo Al^{3+} , que pode ser encontrada através da expressão:

$$\text{Al}^{3+\%} = \frac{\text{Al}^{3+} \times 100}{\text{Al}^{3+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+}$$

Os níveis tóxicos da saturação de alumínio variam com as espécies vegetais, e mesmo com as cultivares dentro da mesma espécie. A soja tem seu crescimento reduzido quando o nível de saturação de alumínio é maior do que 10%.

Em solos ácidos, além do alumínio, outros fatores também afetam o crescimento das plantas. Entre estes destacam-se a toxidez de manganês e as deficiências de magnésio, de cálcio, de fósforo e de molibdênio. Gupta et al. (1970) verificaram que as maiores concentrações de manganês na planta ocorrem em pH de 4,4 a 5,0 e a menor concentração em pH 6,2 a 6,4. No Brasil, muitas análises do teor de manganês em solos foram realizadas. Wolkweiss & Ludwick (1959) e Borkert (1973) sugerem que teores superiores a 20-25 ppm de Mn, nos solos do Rio Grande do Sul, se mostram tóxicos para muitas culturas.

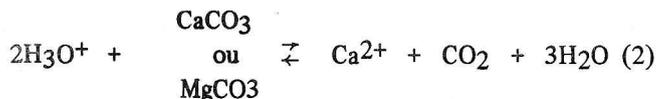
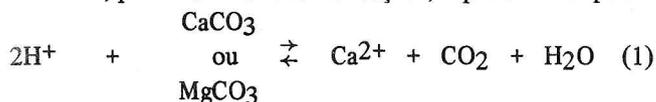
Muito embora os sintomas de toxidez de manganês se manifestem em concentrações entre

200 e 500 ppm na folha, no período da floração, a relação entre os teores de cálcio e de manganês (Ca/Mn) é o melhor indicador para a toxicidade. Assim, se esta relação estiver abaixo de 70-75, haverá decréscimo na produção ocasionada pelo excesso de manganês (Ohlrogge, 1963, e Borkert, 1973).

A Fig. 1 apresenta resultados de experimentos realizados por Borkert (1973) e Freire & Vidor (1974), em solos do planalto riograndense, demonstrando os efeitos da acidez do solo tanto na nodulação como na produção da soja.

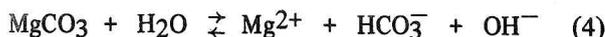
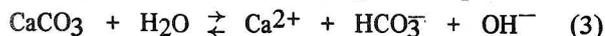
2.1. Neutralização da acidez do solo

Relembrando o que já foi explanado sobre os componentes da acidez do solo, constata-se que os íons H^+ ou H_3O^+ , livres na solução do solo e expressos ou medidos pelo pH, constituem o componente mais ativo da acidez. A adição de um neutralizante, carbonato de cálcio ($CaCO_3$) ou carbonato de magnésio ($MgCO_3$) ou dois neutralizantes juntos, como é o caso da dolomita, provoca uma série de reações, representadas pelas expressões:

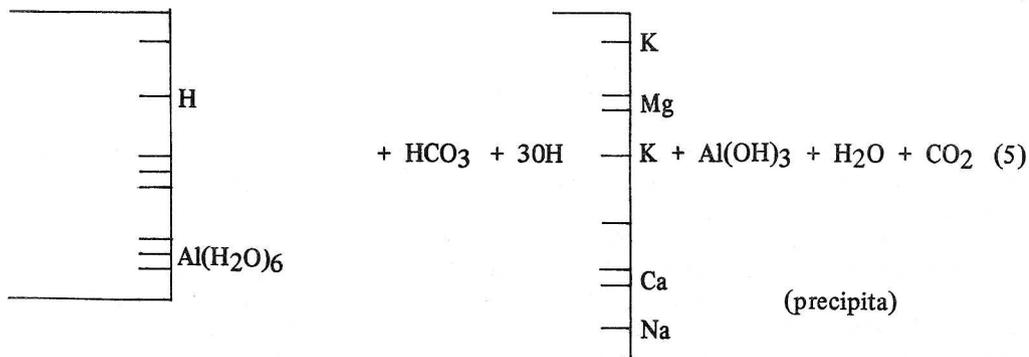


Vê-se, pelas relações (1) e (2), que 4 prótons foram inativados pela adição de $CaCO_3$ e/ou $MgCO_3$.

Com o decorrer do tempo, a $Ca.Mg(CO_3)_2$ (dolomita) vai se tornando gradativamente solúvel, conforme mostram as seguintes expressões:



Alcançando o equilíbrio, para que essas reações continuem, é necessário que os ânions HCO_3^- e OH^- reajam com os ácidos do solo, conforme mostra o esquema abaixo:



Observa-se, pelo esquema acima, que a neutralização da acidez é efetuada pelo ânion HCO_3^- ou OH^- , que desloca os prótons presos aos colóides do solo. Os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ etc., tomam o lugar de troca antes ocupado pelos H^+ e Al^{3+} .

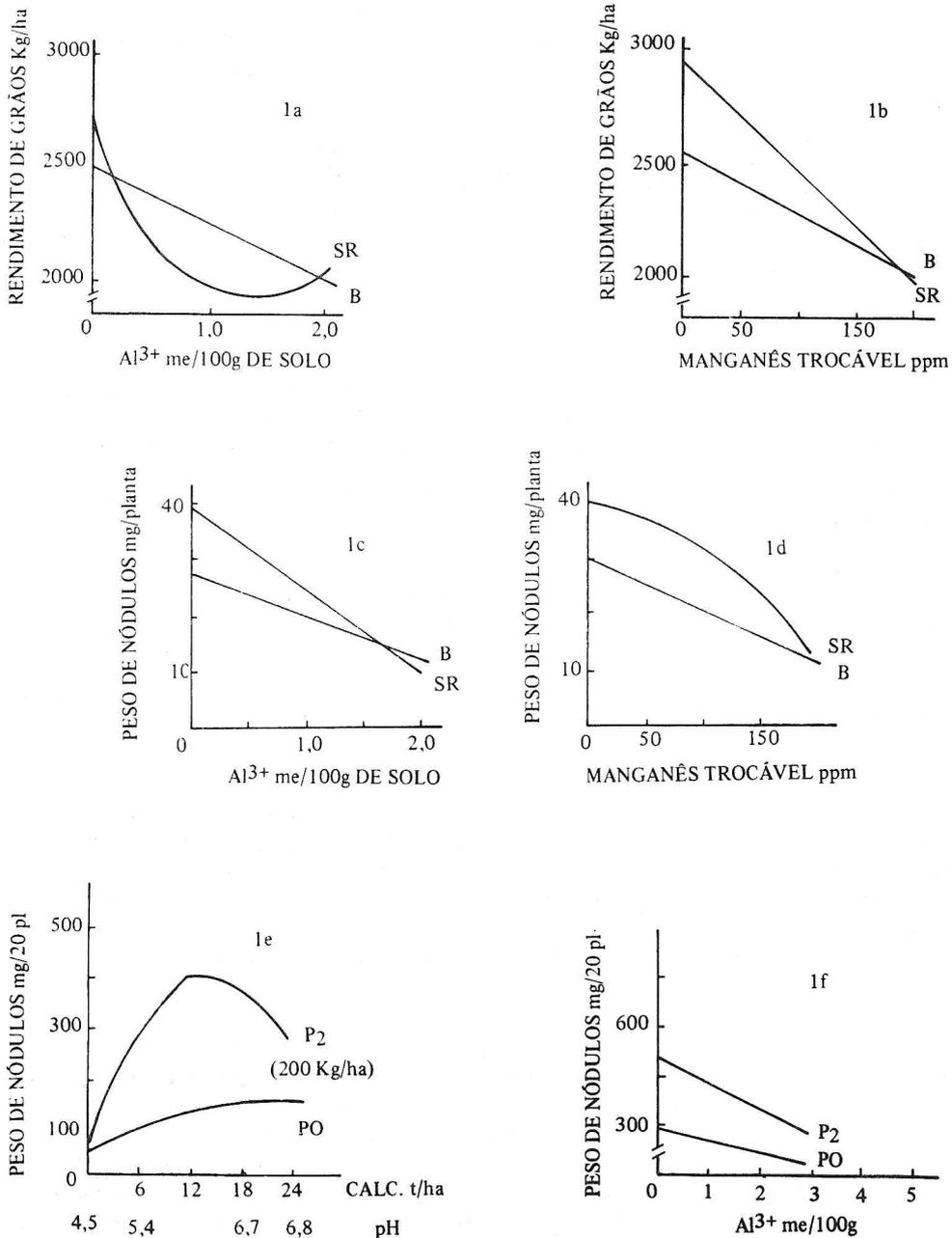


Fig. 1 – Efeitos da acidez do solo na produção e no peso de nódulos de duas cultivares de soja (B - Bienville, SR - Santa Rosa) - 1a, 1b, 1c e 1d, Borkert (1973), e em dois níveis de P_2O_5 aplicado a campo no oxisol 1e e 1f, Santo Ângelo, Freire & Vidor (1974).

2.2. Calagem

É o termo usado na agricultura para indicar a adição de materiais que sejam capazes de neutralizar a acidez do solo. Empregam-se substâncias que contenham Ca^{2+} ou $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ pelos seguintes motivos (Lyon & Bückmann, 1958 e Mello et al., 1972):

- a) Em regiões úmidas, o Ca^{2+} e Mg^{2+} são os cátions predominantes nos solos e portanto, se perdem em maiores proporções; seu suprimento deve ser restituído;
- b) Os materiais que contém Ca^{2+} e Mg^{2+} são relativamente abundantes e de fácil extração;
- c) São eficientes na neutralização da acidez do solo e da toxidez do alumínio e do manganês, não têm efeitos prejudiciais sobre as propriedades físicas e, se empregados nas quantidades adequadas, não são tóxicos às plantas e aos microorganismos;
- d) Aumentam a disponibilidade dos nutrientes essenciais, com excessão de ferro, cobre, manganês e zinco;
- e) A maioria das plantas superiores e dos microorganismos estão invariavelmente adaptados a um regime cálcico; o uso do potássio seria caro e o sódio provocaria um estado físico (dispersão) não desejável, além de não serem os cátions dominantes nas interfases coloidais.

Além dos fatores citados podem ser incluídos, entre outros, mais três aspectos muito importantes, decorrentes da elevação do pH:

- 1) menor fixação do fósforo aplicado e, por conseguinte, aumento da disponibilidade do mesmo; dependendo do solo, poderá melhorar a disponibilidade do fósforo nativo;
- 2) melhores condições para a atividade microbiana, acelerando a mineralização da matéria orgânica; assim, haverá maior disponibilidade de nutrientes como nitrogênio, enxofre, fósforo, potássio, etc.;
- 3) melhores condições para as bactérias fixadoras de nitrogênio.

2.2.1 Poder Neutralizante

Os pós calcários, comumente empregados na correção da acidez do solo, são obtidos por moagem de rochas constituídas de carbonatos de cálcio e de magnésio. O poder neutralizante, que é expresso em relação a CaCO_3 , é propriedade inerente à própria rocha. Finura, por outro lado, é uma propriedade que pode ser controlada para qualquer grau desejado, no processo de moagem.

A seguir, são citados os fatores que devem ser considerados num corretivo.

2.2.1.1. Valor Neutralizante

O valor neutralizante, ou equivalente em carbonato de cálcio, é a medida química da reatividade do material. O valor depende da quantidade de ácido que uma unidade de peso deste material neutralizará. É evidente que um calcário que possua impurezas (sílica, argila, ..., etc.) terá seu valor neutralizante diminuído proporcionalmente ao teor destas.

O carbonato de cálcio puro é o padrão, em relação ao qual são medidos os outros materiais de calagem, sendo o seu valor considerado igual a 100%. As substâncias empregadas como corretivos apresentam, geralmente, diferentes pesos moleculares; portanto, os valores de neutralização também serão diferentes.

Para transformar outras substâncias em equivalentes de CaCO_3 , usam-se os dados apresentados na Tabela 1. Toda a recomendação de calcário é baseada em equivalente de CaCO_3 , daí a utilidade da Tabela 1.

Dessa forma, quando se tem a análise de um material constituído de uma ou mais das substâncias mencionadas e se deseja obter os dados em equivalentes de CaCO_3 , utiliza-se as transformações da tabela a seguir.

TABELA 1 – Conversão de diversos materiais, usados como corretivo, em equivalentes de CaCO_3 .

Substância	Equivalentes	Multiplicar
CaCO_3 (Calcita)	$100/2 = 50$	$50/50 = 1$
MgCO_3 (Magnesita)	$84/2 = 42$	$50/42 = 1,19$
$\text{Ca.Mg}(\text{CO}_3)_2$ (Dolomita)	$184/4 = 46$	$50/46 = 1,09$
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Hidróxido de cálcio)	$74/2 = 37$	$50/37 = 1,35$
CaO (Óxido de cálcio)	$56/2 = 28$	$50/28 = 1,79$
MgO (Óxido de magnésio)	$40/2 = 20$	$50/20 = 2,50$

Exemplo: A análise de um calcário x , apresentou os seguintes teores de CaO e MgO :

$\text{CaO} = 20\%$

$\text{MgO} = 16\%$: usando-se os índices da tabela acima verifica-se que: % de CaO (20%) $\times 1,79$ + % de $\text{MgO} = (16\%) \times 2,5 = 35,8 + 40 = 75,8\%$ equivalente de CaCO_3 (valor neutralizante).

2.2.1.2. Eficiência relativa

A maior parte da reação do calcário dá-se por contato entre a superfície da partícula e a solução do solo. Dessa forma, quanto menor for a partícula de calcário, maior será a sua superfície de contato e, portanto, mais rápida a reação para neutralizar a acidez.

Camargo (1972), avaliando sete diferentes tamanhos de partícula de dois calcários e uma escória, em dois Latosol vermelho escuro orto em São Paulo, observou que, quanto mais finas as partículas, mais rápida é a elevação do pH, maiores são os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e menores os de alumínio.

Os resultados de um ensaio em laboratório de Meyer & Wolk (1952), ilustrados na Fig. 2, mostram com clareza o efeito da granulometria de um calcário dolomítico no pH do solo.

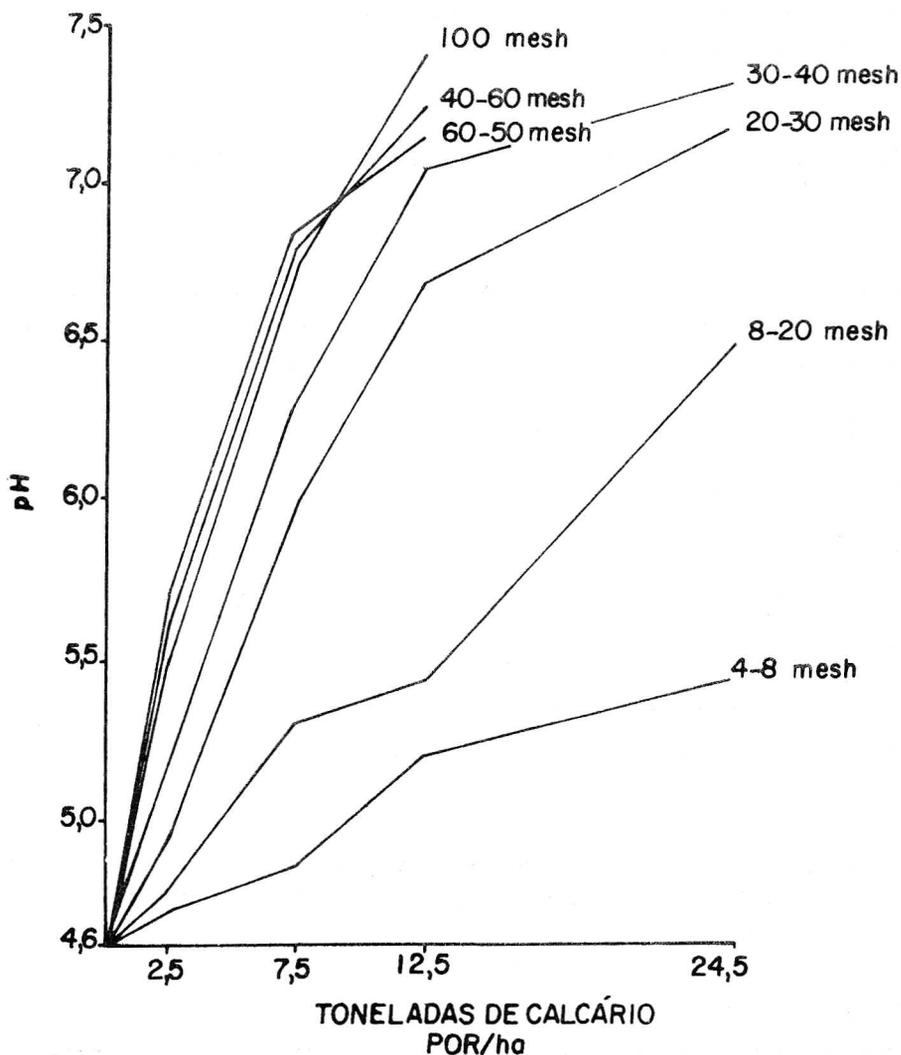


Fig. 2 — Efeitos da quantidade e da granulometria de um calcário dolomítico no pH de um solo barro-siltoso, medido após 18 meses da aplicação (modificado de Meyer & Wolk, 1952).

A Tabela 2 expressa a relação existente entre o tamanho do material e a percentagem de eficiência alcançada em um ano. Assim, para um calcário ter eficiência igual a 100%, deverá, conforme a tabela, ter todas as suas partículas passadas por uma peneira com mais de 60 malhas por pol2 (mais de 60 mesh).

TABELA 2 – Eficiência relativa de partículas de calcário, após um ano de sua aplicação.

Tamanho de partículas		Eficiência %
mais que	60 malhas/pol.	100
20 –	60 malhas/pol.	60
8 –	20 malhas/pol.	20
menor que	8 malhas/pol.	0

Fonte: Nunes & Laird (1969).

A mesma tabela é apresentada por Wolkweis & Ludwick (1969) no Rio Grande do Sul, mas esses autores consideram o período de três anos de reação para um calcário dolomítico. Admitem, entretanto, que a escala pode ser usada para calcário calcítico, apesar de este ser de ação mais rápida.

Conhecendo-se o valor de neutralização de um corretivo e a distribuição do tamanho das partículas, pode-se calcular a sua eficiência total, que se denomina de PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total). Este valor dá, segundo Wolkweiss & Ludwick (1969), a ação do calcário sobre a acidez do solo, num período de três anos aproximadamente.

Para o cálculo do PRNT, conjunga-se o valor de neutralização com a distribuição do tamanho das partículas do corretivo. A sua eficiência total é calculada através da fórmula (Wolkweiss & Ludwick, 1969).

$$\text{PRNT} = \frac{\text{equivalente de CaCO}_3\% \times \text{eficiência relativa}}{100}$$

Para efeito ilustrativo, suponha-se que os dados de um calcário são:

Análise dos teores de Ca ²⁺ e Mg ²⁺	Análise granulométrica	
	nº. de malhas / polegada	% de material que passou na malha
CaO = 37%	< 60 m/p	80
	20 -60 m/p	10
MgO = 11%	08 -20 m/p	10
	> 08 m/p	0

Pela Tabela 1, calcula-se o valor neutralizante e, pela Tabela 2, a eficiência relativa:

$$37\% (\text{CaO}) \quad \times \quad 1,79 = 66,23\%$$

$$11\% (\text{MgO}) \quad \times \quad 2,50 = \underline{27,50\%}$$

$$\text{Eq. em CaCO}_3 \quad = 93,73\%$$

Eficiência relativa:

$$80 \times 1 = 80,00\%$$

$$10 \times 0,6 = 6,00\%$$

$$10 \times 0,2 = 2,00\%$$

$$00 \times 0 = \underline{0,00\%}$$

$$88,00\%$$

$$\text{PRNT \%} = \frac{93,73 \times 88,00}{100} = 82,48$$

O PRNT, além de indicar o poder relativo da correção da acidez de um calcário, permite melhor escolha quanto ao custo do material e do seu transporte. Numa decisão de compra, deve ser calculado o preço/tonelada de calcário efetivo (PRNT). Para exemplificar, tome-se os dados a seguir, relativos a dois calcários:

<u>PRODUTO</u>	<u>PRNT</u>	<u>Cr\$ ton. (incluindo transporte)</u>
A	90	250,00*
B	70	200,00*

Calcário A:

$$\begin{array}{l} 150,00 \rightarrow 90 \\ x \rightarrow 100 \end{array} \quad x = \frac{250 \times 100}{90} = 278,00 \text{ t/efetiva}$$

Calcário B:

$$\begin{array}{l} 200,00 \rightarrow 70 \\ x \rightarrow 100 \end{array} \quad x = \frac{200 \times 100}{70} = 286,00 \text{ t/efetiva}$$

Portanto, o calcário A apresenta-se mais barato do que o calcário B, ao se considerar o PRNT.

*Custo hipotético de uma tonelada de calcário dolomítico.

2.2.2. Relação Ca/Mg no calcário

Tanto o cálcio como o magnésio são elementos essenciais, com funções específicas dentro da planta. Logo, quando se pensa em corrigir a acidez do solo, através da calagem, ambos os nutrientes deverão ser adicionados.

Além da essencialidade desses nutrientes, o equilíbrio entre eles é de grande importância, tanto para as plantas como para a eficiência relativa do calcário. Os calcários dolomíticos reagem geralmente mais vagorosamente que outros materiais. De acordo com Beacher et al. (1962), quando um calcário calcítico tiver partículas que passam na peneira de 200 mesh, sua eficiência é de 99%, enquanto o dolomítico é de apenas 60%.

Essa teoria foi, em parte, contestada por Sfredo (1976), o qual trabalhando com sorgo e usando três solos de Santa Catarina, incubados durante 60 dias, observou uma reação mais rápida para o $MgCO_3$. Sempre que aplicou mais $MgCO_3$ que $CaCO_3$, maior era o pH e menor o teor de Al^{3+} trocável. Apesar disso, esse autor mostrou que, quanto maior o teor de Mg^{2+} nos equilíbrios usados, menor era a produção de matéria seca do sorgo.

Muitos pesquisadores tentaram encontrar um equilíbrio ótimo da relação Ca/Mg no calcário. Sabe-se, porém, que dependendo da cultura, as respostas aos calcários calcítico e dolomítico são diferentes, como mostra a Tabela 3.

TABELA 3 — Efeito do tamanho e do tipo de calcário sobre a matéria seca da parte aérea de trevo e alfafa.

Tamanho das partículas (mesh)	Produção de matéria seca (g)			
	Trevo		Alfafa	
	Calcítico	Dolomítico	Calcítico	Dolomítico
20 - 40	0	0	1,2	0,1
60 - 80	10,9	1,4	4,7	6,3
100 - 200	12,9	12,7	5,9	7,1
> 200	15,1	15,9	6,5	7,6

Fonte: Beacher et al. (1962).

Laroche (1967), trabalhando com tomateiro, determinou que o melhor equilíbrio entre Ca/Mg está entre 4:1 e 7:1. Mehlich & Coleman (1952) mostraram que a relação deve estar na faixa de 4 a 6:1.

Besedin (1966), em experimentos conduzidos em vasos, encontrou que as melhores relações entre Ca^{2+} e Mg^{2+} para o milho foram de 4:1 e 1:2.

Já para o sorgo, Sfredo (1976) encontrou que, quando se usa a recomendação baseada no teor de Al^{3+} trocável vezes dois, o melhor equilíbrio é de 3:1 (Ca/Mg em e.mg) ou 4:1 (% CaO/% MgO no calcário). Quando, porém, se usa Al^{3+} vezes três, as relações foram sempre maiores que 3:1. Em relações menores, o Magnésio poderá atuar fitotxicamente sobre o sorgo.

Portanto, como se vê, sempre devem haver cuidados na recomendação da calagem, no que diz respeito ao equilíbrio entre Ca^{2+} e Mg^{2+} , para que não se tenha falta ou excesso de um ou outro nutriente.

Recomenda-se, pois, que sejam usadas relações de 4:1 até 7:1 entre % CaO e % MgO do calcário, para que se possa atingir no solo o equilíbrio de 2:1 entre Ca^{2+} e Mg^{2+} (e.mg/100g), como o encontrado por Sfredo (1976) para a produção máxima de matéria seca do sorgo.

2.2.3. Incorporação do Calcário

Para que o calcário possa neutralizar os efeitos da acidez do solo é necessário que ocorra a sua solubilização. Entretanto, em virtude da origem sedimentar e do processo de obtenção do calcário, a baixa solubilização limita alguns aspectos do seu emprego.

- a) A sua aplicação deve ser pelo menos, três meses antes da sementeira.
- b) A recomendação da quantidade de calcário é prevista para a incorporação numa profundidade de mais ou menos 20 cm. Para que a incorporação seja uniforme, recomenda-se aplicar a metade antes da aração e metade durante a gradagem.
- c) O calcário aplicado em cobertura no solo, em geral, traz poucos benefícios às plantas.

A incorporação pouco profunda do calcário propicia a correção de apenas uma camada reduzida do solo. Quando as raízes da planta sensível aos níveis tóxicos de alumínio e manganês atingem a camada não corrigida, tendem a se desenvolver horizontalmente, explorando um volume de solo muito menor que a planta que consegue lançar raízes em camadas mais profunda.

2.2.4. Métodos de determinação da necessidade da calagem

A necessidade da calagem pode ser determinada por diversos métodos. Dentre eles, podem-se citar dois, que são mais utilizados na região Sul do País.

a – Neutralização do alumínio trocável

A adição de calcário ao solo pode ter como objetivo eliminar apenas os íons monômeros de alumínio adsorvidos, ou alumínio trocável (Kamprath, 1967 e 1970), ou reduzir a percentagem de saturação de alumínio a menos de 20%. A extração do alumínio é feita com solução 1 N de KCl. Segundo o autor acima citado, adicionando-se calcário, calculado a partir do e.mg do alumínio trocável, multiplicado por 1,5 ou 2,0, eleva-se o teor de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, sendo suficiente para suprir as necessidades das plantas nesses nutrientes. Desta maneira, o pH ficaria entre 5,5 e 5,7, valor em que o alumínio trocável é neutralizado.

b – Método S.M.P. (Shoemaker, Mclean & Pratt, 1961)

Esse método usa uma solução tamponada a pH 7,5 que é colocada em contato com o solo. Devido a reação com os ácidos do solo, o pH da solução SMP sofre uma depressão. A necessidade de calcário é, então, avaliada por essa depressão do pH da solução SMP, por meio de uma tabela especial, previamente elaborada através de trabalhos de pesquisa.

3. FIXAÇÃO SIMBIÓTICA DO NITROGÊNIO

O nitrogênio é um macronutriente essencial às plantas porque é um constituinte de proteínas, ácidos nucleicos e outras substâncias imprescindíveis à vida vegetal. O nitrogênio elementar apresenta-se na forma de molécula diatômica ($:\text{N}:\text{N}:$). É uma molécula relativamente inerte, à temperatura abaixo de 50°C, o que explica, até certo ponto, a impossibilidade de os vegetais e a maioria dos seres vivos utilizarem o nitrogênio da atmosfera como fonte direta

4. FÓSFORO NO SOLO

O fósforo no solo encontra-se fazendo parte de dois tipos de compostos: mineral e orgânico. O fósforo mineral, ao ser absorvido pelas plantas, transforma-se em compostos orgânicos dentro dos tecidos. O grau de mineralização do fósforo orgânico no solo tem sido determinado através da relação C:P. Solos que apresenta essa relação menor que 200:1, indicam que o processo está ocorrendo. Por outro lado, quando essa relação for maior que 300:1, o processo de imobilização do fósforo pelos microorganismos é acentuado.

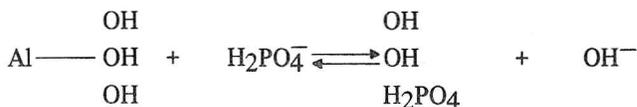
Os fosfatos inorgânicos, formados quase que exclusivamente por sais do ácido orto-fosfórico, podem ser classificados como flúor, oxi e hidroxifosfatos de ferro, de alumínio, de cálcio, de titânio, de magnésio e de manganês (Hemwall, 1957). Nessas formas, um dos íons de hidrogênio do H_3PO_4 é substituído por um dos cátions metálicos, caracterizando a forma de fósforo no solo (Black, 1968).

Quando se adiciona fósforo ao solo, este pode tomar as formas de solúvel em água, ou ligado a alumínio, ferro, cálcio e compostos orgânicos, ou ainda sob a de fósforo ocluso, ou seja solúvel em redutor.

De maneira geral, nos solos ácidos, a reação do fósforo solúvel (dos adubos) com compostos de ferro e alumínio é responsável pela baixa solubilidade e pela reduzida disponibilidade do fósforo para as plantas. Hemwall (1957) cita que somente 10 a 30% da quantidade de fósforo adicionado ao solo é absorvido pelas culturas. O restante é consumido pelas atividades microbianas, precipitado por cátions solúveis na solução do solo ou adsorvido no seu complexo.

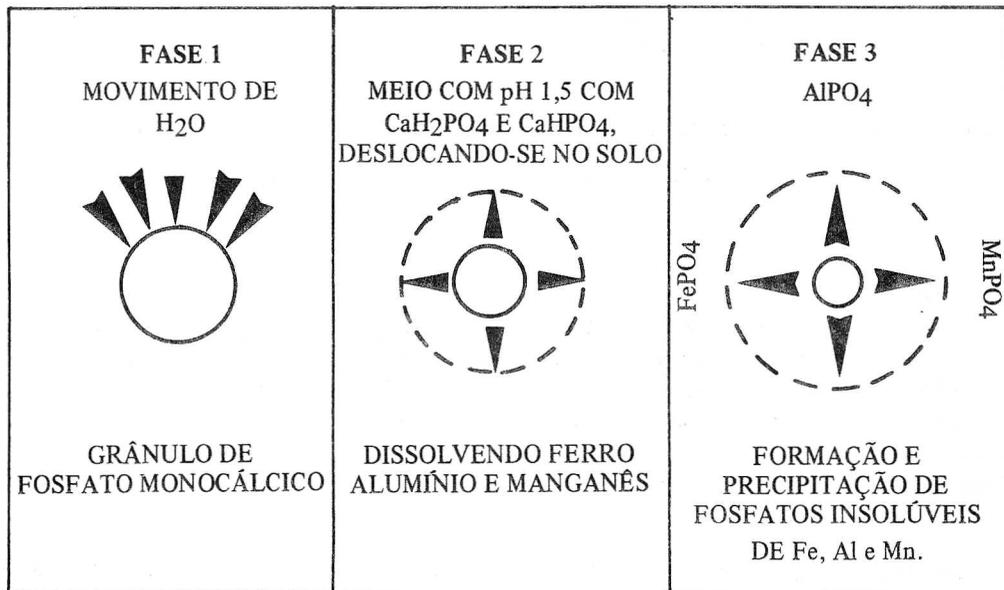
A permuta de $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} com as hidroxilas presentes nas arestas da caolinita é o mecanismo mais simples para explicar a sorção de fosfatos. A reação pode ser representada do seguinte modo:

Seja considerado um alumínio da estrutura do mineral de argila:



Esta reação indica, portanto, que o fosfato deve ser retido reversivelmente com respeito à concentração e ao pH.

O diagrama a seguir, segundo Tisdale & Nelson (1971), representa as reações de um grânulo de fosfato de cálcio com o solo. A água penetra no grânulo, contendo fosfato monocálcico, formando uma solução saturada de mono e dicálcio fosfato bihidratado. Esta solução move-se em todas as direções e reage com os diferentes constituintes do solo. Em solos ácidos esta reação ocorre principalmente com compostos de ferro, alumínio e manganês.



4.1. Na planta

O fósforo é essencial nos fenômenos de armazenamento e transferência de energia nas plantas, sob a forma de ATP (adenosina trifosfato). É elemento chave para que qualquer célula armazene energia e a utilize em toda reação endergônica (Epstein, 1972).

O ATP é necessário à fotossíntese, respiração e síntese de aminoácidos, proteínas e lipídeos. Possui muita mobilidade no floema e é de fácil redistribuição dentro da planta.

O fósforo é absorvido pelas plantas essencialmente como $H_2PO_4^-$. As formas HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} só ocorrem em condições alcalinas, fora, portanto, da faixa de pH em que os vegetais vivem normalmente.

Os sintomas de deficiência de fósforo na soja, segundo Nelson & Barber (1964), ainda não foram bem definidos. A maior evidência de carência do nutriente está associada ao tamanho reduzido das plantas, coloração verde escuro das folhas e retardamento do estágio de maturação.

4.2. Adubação fosfatada

Como foi caracterizado anteriormente, o fósforo solúvel, adicionado como fertilizante, passa por processo de insolubilização que limita o seu aproveitamento pelas plantas. Quanto maior for a superfície de contato entre o solo e o adubo fosfatado, maior será essa insolubilidade. Este é um dos motivos que explica a adubação no sulco de plantio.

A tabela 4, apresenta as necessidades de alguns elementos, entre eles o fósforo, na cultura de soja. Transformando-se P em P_2O_5 ($P \times 2,29$) verifica-se que a soja exporta, aproximadamente, 30 kg de P_2O_5 /ha para uma produção de 3.000 kg de grãos/ha.

TABELA 4 – Exigências nutricionais da soja em relação a nitrogênio, fósforo e potássio. Londrina, PR. CNPSoja.

Rendimento de grãos	Exportação no grão			Na planta acima do solo		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	(grão + N	folha + P ₂ O ₅	caule) K ₂ O
kg/ha		kg/ha			kg/ha	
1.000	51,4	10,2	20,4	77,4	13,7	38,0
2.000	110,6	20,4	37,8	166,6	27,5	70,4
3.000	163,6	31,5	59,1	246,7	42,4	110,4
4.000	215,2	43,2	89,2	324,1	58,1	164,3
5.000	267,5	52,3	111,2	402,9	70,7	204,6

Fonte: Hanson & Borkert, (1976) e Cordeiro (1977).

Sabe-se, entretanto, que a recomendação da adubação fosfatada não pode ser fornecida somente com base na quantidade de fósforo exportada pela cultura. Muitos outros fatores, inerentes ao complexo solo-planta, devem ser considerados para uma aplicação racional da adubação fosfatada. O ideal é haver a correlação entre o P adicionado ao solo e o rendimento de grãos, caracterizando os pontos de máxima eficiência econômica (MEE) e de máxima eficiência técnica (MET), como pode ser observado na Fig. 3.

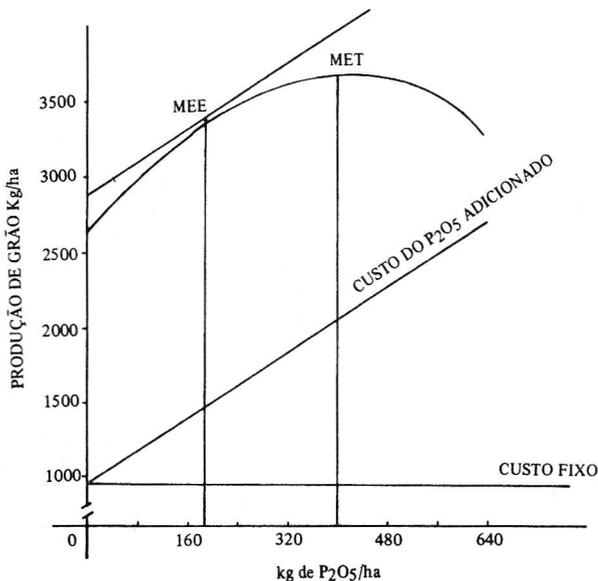


Fig. 3 – Relação entre o fósforo adicionado ao solo e o rendimento de grãos. Pontos de Máxima Eficiência Econômica (MEE) e Máxima Eficiência Técnica (MET).

Diversos extratores têm sido estudados, procurando o ajustamento dessa equação. Alguns dos mais usados são: Carolina do Norte, Olsen, Bray e Kurtz modificado, Bray-1 e Bray-2.

Na confecção da Fig. 3 utilizou-se os seguintes valores:

- Custo fixo = Cr\$ 3.500,00
- kg de soja = Cr\$ 3,67
- kg de P₂O₅ = Cr\$ 10,00

MEE = 188 kg de P₂O₅/ha – produção de 3.395 kg de grãos/ha.

MET = 400 kg de P₂O₅/ha – produção de 3.675 kg de grãos/ha.

É evidente que o ponto crítico, além de variar com o extrator, irá variar com uma série de outros fatores, como textura do solo, adubo fosfatado empregado, cultura, etc...

Com relação ao adubo empregado, Fole & Mielniczuk (1975) chamam a atenção a interpretação errônea dos teores de fósforo no solo, quando este é analisado pelo método Carolina do Norte. Com a aplicação de 180 kg/ha na forma de superfosfato triplo ou Escória de Thomas, a análise mostra 10 ppm de P, enquanto que com hiperfosfato, 25 ppm. Resultados preliminares obtidos no CNPSoja, permitem observar diferenças de P “disponível” no solo em função da fonte de fósforo aplicada, quando se usam soluções de ácidos fortes como extratores. Estes dados estão apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 – Efeito de três fontes de fósforo sobre sua disponibilidade no solo e sobre o rendimento de grãos de soja. Londrina, PR. CNPSo., 1975/76.

Tratamentos	níveis	Fósforo disponível no solo ^{1/}	Rendimento de grãos	Rendimento relativo
Fonte de fósforo	kg de P ₂ O ₅ /ha	ppm P	kg/ha	%
Superfosfato	0	3,3	2.658	74,1
	80	5,5	3.071	85,7
	160	7,3	3.390	94,6
	320	10,8	3.448	96,2
	640	28,5	3.585	100,0
Hiperfosfato	0	3,3	2.658	74,1
	80	5,7	2.994	83,5
	160	6,9	3.449	96,2
	320	14,0	3.501	97,7
	640	43,0	3.316	92,2
Fosfato de Patos de Minas	0	3,3	2.658	74,1
	80	5,8	3.051	85,1
	160	11,3	2.977	83,6
	320	15,9	3.229	90,1
	640	44,7	3.512	98,0

^{1/} Método de Mehlich (Carolina do Norte).

Embora a maioria dos solos brasileiros possua uma boa reserva de potássio, a sua inclusão nas adubações não deve ser descuidada, isto porque a soja é uma cultura que extrai quantidades consideráveis de potássio do solo. Hanson & Borkert (dados não publicados) e Cordeiro (1977), em condições brasileiras, calcularam que são necessários 20,2 kg de K_2O para produzir 1000 kg de grãos de soja, quantidade que é retirada pela colheita. Por outro lado, no desenvolvimento de uma lavoura de soja, a cada 1000 kg de grãos produzidos, as plantas extraem do solo 37,5 kg de K_2O . A diferença de 17,3 kg de K_2O , é o teor presente nas folhas, pecíolos e caules, que retorna ao solo no fim do ciclo da cultura.

Ao considerar-se a média de produção de grãos de soja do Estado do Paraná em torno de 2.200 kg/ha, se observa que são retirados do solo aproximadamente 45 kg de K_2O por hectare. Essa quantidade exportada, mais o potássio que é "fixado" e lixiviado no solo, indicam o quanto é importante uma adubação racional do nutriente para que o equilíbrio da relação solo-planta seja mantido.

O sintoma de deficiência de potássio em soja, é facilmente reconhecido. Nos primeiros estádios de crescimento da cultura, as bordas das folhas inferiores (folhas velhas) ficam amarelas em diferentes matizes. Essas áreas cloróticas se unem e as folhas ficam com aparência seca, com pontos necrosados nas bordas. Ocorre diminuição do número de vagens por planta e do tamanho das vagens. Sob severa deficiência de potássio, a planta produz grãos enrugados e deformados, retardando o amadurecimento.

Quando há deficiência de potássio, ocorrem alterações profundas no metabolismo das plantas, uma vez que sua função é ativar numerosas enzimas. Compostos nitrogenados solúveis, incluindo aminas, putrescina e agmatina, muitas vezes se acumulam no tecido. Atribui-se à agmatina as manchas necróticas e a necrose marginal que aparecem nas folhas de plantas deficientes (Epstein, 1973).

Fertilizantes potássicos, adicionados ao solo, na forma de KCl são 100% solúveis em água. Esse potássio solúvel equilibra-se com os cátions trocáveis presentes no solo, e 95% do mesmo, na maioria dos solos, torna-se prontamente disponível às plantas. É comum ser observado o chamado consumo de "luxo" desse nutriente, isto é, aumento do teor de K^+ nos tecidos sem correspondência de aumento na produção.

6. CÁLCIO E MAGNÉSIO

Epstein (1975) atribui como uma das funções do cálcio, a manutenção da integridade da membrana plasmática, e, por consequência, a seletividade de íons exercida por essa membrana. Por isso, a carência do cálcio pode implicar em que outros íons presentes se tornem tóxicos devido à quebra da integridade da membrana. Por outro lado, o excesso de cálcio pode inibir competitivamente o efeito ativador do magnésio, provocando sintomas de deficiência desse nutriente.

O papel do magnésio, na planta, se refere à constituição da clorofila, funcionando como ativador de enzimas relacionadas com o metabolismo energético. Por isso, sua deficiência, segundo Epstein (1975), afeta todas as fases do metabolismo.

Existe um antagonismo entre o magnésio e o cálcio e entre magnésio e o potássio. Deve-se portanto, manter um equilíbrio ótimo no solo entre Ca, Mg e K para que o excesso ou carência de um não afete a absorção de outros. Segundo Wiklander (1964), um solo ideal para as culturas, teria 65% do complexo de troca saturado com cálcio, 10 a 15% com magnésio e 5% com potássio.

Sfredo (1976) encontrou uma relação de 2:1 (Ca:Mg e .mg/100 g solo) no solo, para atingir a produção máxima de matéria seca de sorgo, com os valores absolutos entre 4 e 13 e.mg Ca^{2+} /100 g de solo e entre 4 e 8 e.mg Mg^{2+} /100 g de solo, dependendo do tipo de solo usado.

As recomendações, quanto à adição de cálcio e magnésio ao solo para se atingir essas relações, encontram-se no ítem calagem, discutido anteriormente.

7. ENXÔFRE

Em geral, os solos contém 200 a 600 kg/ha de enxôfre total. A quase totalidade desse elemento encontra-se na forma orgânica, não disponível para as plantas.

Embora seja observada deficiência de enxôfre em soja em certas áreas, a maioria dos solos tem boa disponibilidade do elemento, sendo poucas as referências de respostas à sua aplicação na região Sul do Brasil.

Alguns trabalhos relatam a obtenção de aumentos de rendimento em soja pela aplicação de enxôfre em solos sob vegetação de cerrado, o que pode ser atribuído ao baixo teor de matéria orgânica nesses solos.

À semelhança do nitrogênio, a disponibilidade do enxôfre nos solos é extremamente dependente de transformações microbianas. A origem do enxôfre no solo está ligada à mineralização da matéria orgânica e também a deposições da atmosfera através das chuvas. Por outro lado, a aplicação de superfosfato simples (14% de S), comumente usado como fonte de fósforo, e de sulfato de amônio (24% de S), utilizados na composição de fórmula de adubação, repõem quantidades apreciáveis de enxôfre nos solos.

As plantas absorvem o enxôfre na forma de íon sulfato (SO_4^{2-}). Sob deficiência de enxôfre, as folhas novas, incluindo as nervuras, tornam-se verde-pálidas e amareladas, e as plantas ficam pequenas e frágeis. Em estágio mais avançado, as folhas ficam amarelas. Os sintomas de deficiência de enxôfre são muito semelhantes aos de nitrogênio, manifestando-se, porém, primeiro nas folhas mais novas das plantas.

Os sintomas de carência no enxôfre não são facilmente reconhecíveis. Caso haja suspeita, a melhor maneira de confirmar é aplicar uma fonte de enxôfre em uma faixa e observar se há resposta. Caso houver necessidade de aplicar o nutriente, poderão ser usadas fontes muito solúveis ou de solubilização lenta, na dose entre 15 a 30 kg de S/ha. As fontes que poderão ser utilizadas, estão apresentadas na Tabela 6.

TABELA 6 — Fontes de fertilizantes contendo enxôfre.

Nome	Fórmula química	Teores N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Enxôfre %
Muito solúveis			
Sulfato de amônio	(NH ₄) ₂ SO ₄	21 - 0 - 0	24
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	0 - 0 - 50	18
Sulfato de magnésio	(MgSO ₄	0 - 0 - 0	14
Superfosfato simples	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ + CaSO ₄	0 - 20 - 0	14
Solubilização lenta			
Sulfato de cálcio (gipsita-gêss)	CaSO ₄	0 - 0 - 0	17

Em solos arenosos, é recomendável a aplicação de fonte de solubilização lenta, para diminuir as perdas por lixiviação do íon sulfato.

8. MICRONUTRIENTES

Atualmente, no Brasil, é difícil determinar-se, com precisão, os níveis críticos dos micronutrientes no solo, podendo-se apenas indicar em que condições serão possíveis ocorrer deficiências. O pH, a matéria orgânica, a textura e a umidade do solo são fatores que influem na sua disponibilidade para as plantas. Outra alternativa, quando ocorrem sintomas não identificados, é recorrer à análise de tecido da soja para tentar verificar qual o micronutriente que se encontra fora dos níveis de suficiência.

O ferro é essencial para a síntese da clorofila. A fração total presente nas folhas está contida nos cloroplastos, e nos citocromos, que são os carregadores eletrônicos (Epstein, 1975). Segundo deMooy (1973), a existência de cultivares que são relativamente suscetíveis à clorose, devido à deficiência de ferro, e de outras mais tolerantes, fazem da soja uma excelente planta indicadora para estudos fundamentais sobre nutrição de ferro.

No solo, os teores de ferro sofrem variações extremas, desde o caso dos solos pobres, geralmente arenosos, até os latosóis ricos em ferro.

O ferro é absorvido pelas plantas nas formas ferrosa e férrica. A grande maioria dos solos em que se cultiva a soja, é constituída de latosóis, nos quais, dificilmente ocorrerão situações de deficiência de ferro. Embora ocorra a insolubilização dos compostos de ferro com a elevação de pH, pela aplicação de calcário para a correção de acidez, dificilmente se manifestará a deficiência desse elemento nesses solos.

O manganês é elemento essencial às plantas. É assimilado sob a forma de Mn^{2+} e tem funções na síntese clorofiliana e na ativação de várias enzimas. A soja absorve o manganês em quantidades relativamente baixas; a assimilação desse elemento está diretamente ligada à sua disponibilidade no solo. Há muitas citações bibliográficas que relatam deficiência de manganês em soja, em alguns solos dos Estados Unidos. Nas condições do Sul do Brasil, porém, são frequentes as referências à toxidez de manganês em soja.

Nos latosóis, geralmente são encontradas quantidades apreciáveis de manganês trocável, e, em certos casos, tóxicas às plantas. Com a prática da calagem no manejo de fertilidade do solo, esses teores são reduzidos a níveis toleráveis pelas plantas.

A quantidade de boro requerida pela soja é muito pequena. Por outro lado, a soja é mais sensível à toxidez de B do que o algodão e a beterraba açucareira. Deficiências de boro ocorrem em condições de alcalinidade e em solos com alto teor de matéria orgânica. A faixa entre a deficiência e a toxidez do boro é muito estreita, assim, concentrações menores que 9,5 ppm de B disponível no solo pode acarretar deficiência. Por outro lado, teores maiores que 2,5 ppm na solução do solo podem causar sintomas de toxidez em soja. Quando se constata realmente deficiência de boro no solo, o problema é resolvido pelo emprego de 15 a 20 kg de Borax/ha, tomando o cuidado de nunca colocar na linha de semeadura. É recomendado aplicar o sal a lanco e incorporá-lo ao solo.

Os sintomas de deficiência de molibdênio são os mesmos que os de nitrogênio, isto porque a função desse elemento, tanto no solo como na planta, está ligada à oxirredução dos nitratos, sendo, por isso, difícil caracterizar isoladamente os sintomas de deficiência.

As reações do molibdênio no solo são pouco conhecidas, mas sabe-se que são semelhantes às do fósforo e que apenas uma pequena parte do total se encontra disponível sob forma iônica (MoO_4), adsorvida na superfície das argilas ou em complexos com ferro, alumínio e titânio. Em solos ácidos, onde as concentrações de ferro e alumínio livres são maiores, o molibdênio deve ser aplicado com a semente, evitando assim, a sua insolubilização.

O zinco é um elemento pouco móvel dentro das plantas. Plantas de soja deficientes em zinco não alcançam seu tamanho normal. Áreas entre as nervuras das folhas tornam-se amarelas

ladas e cloróticas, acentuando-se nas folhas inferiores da planta. Os tecidos cloróticos tomam a cor marrom ou acinzentada e morrem prematuramente. Uma área deficiente em zinco, numa lavoura de soja, apresenta uma cor marrom amarelada quando observada à certa distância. A maturação é atrasada e ocorre a formação de menor número de vagens (Nelson & Barber, 1964).

Em solos sob vegetação de cerrado é comum ocorrer o aparecimento de sintomas de deficiência de zinco em soja. Este problema poderá ser resolvido pela aplicação de 10 - 15 kg de sulfato de zinco por ha.

Pouca citações de literatura são encontradas com relação ao cobre como nutriente de soja. Sabe-se que deficiências de cobre podem ocorrer em solos com alto teor de matéria orgânica, principalmente em solos turfosos e com muito estrume. Em solos minerais podem ocorrer deficiências de cobre nas plantas quando o pH é superior a 7,5. As necessidades das plantas são também muitas vezes supridas através de fungicidas que contém cobre e que são aplicados principalmente na cultura de trigo, que normalmente é a sucessora da soja, no inverno. O cobre não é lixiviado no solo e as plantas necessitam dele em pequenas quantidades; conseqüentemente, níveis excessivos de cobre podem se acumular na superfície dos solos e tornarem-se tóxicos.

O cloro, outro elemento essencial, ainda não foi muito estudado como nutriente de soja. Dificilmente poderá ocorrer deficiência de cloro pelo fato de que, normalmente, usa-se como fonte de K, o cloreto de potássio. Recentemente têm sido levantadas hipóteses sobre a toxidez de cloreto de potássio. Admite-se que a pressão osmótica, desenvolvida na solução do solo, principalmente em períodos prolongados de seca, torna-se excessivamente elevada, o que, em certos casos, pode ser atribuído à presença do cloro.

A disponibilidade de micronutrientes nos solos está intimamente relacionada ao seu pH, e, com excessão do molibdênio, a insolubilidade decresce com o aumento do pH. Todavia não deve haver preocupação quanto a aplicação de calcário sob esse aspecto, porque a faixa de pH apropriada para a cultura da soja situa-se entre 5,5 a 6,5. Problemas maiores com relação a insolubilização de micronutrientes, e conseqüente disponibilidade para as plantas, ocorrem com pH acima de 7,0.

9. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE ANÁLISE

A interpretação dada aos resultados das análises de solos, neste trabalho, é a adotada pelo Laboratório de Análises de Solo da Fundação Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR (Muzilli & Igue, 1976).

9.1. Cálcio e Magnésio

Alguns laboratórios costumam proceder a determinação global de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ trocáveis, ao invés de cada elemento em separado. Nesse caso, a interpretação dos resultados passa a ser feita através da soma desses valores, ou seja:

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ trocáveis (e.mg/100 ml de solo)	teor
< que 2,4	baixo
2,4 a 4,8	médio
> que 4,8	alto

9.2. Potássio trocável

Os “níveis padrão” de K^+ trocável dependem da calibração de análises feitas para diferentes tipos de solo e para cada cultura, através da experimentação em campo. Os valores abaixo são os adotados atualmente pelo IAPAR, para interpretar a disponibilidade de K^+ trocável nos solos do Estado do Paraná, para a cultura da soja, sendo que poderá ser aprimorada no futuro com a evolução da pesquisa.

K^+ trocável (e.mg/100 ml de solo)	teor
< que 0,10 (39 ppm)	baixo
0,10 a 0,30 (39 a 117 ppm)	médio
> que 0,30 (117 ppm)	alto

9.3. Fósforo solúvel

As análises do fósforo solúvel são feitas usando-se uma solução extratora à base de ácidos de baixa concentração (Método MEHLICH - H_2SO_4 0,25N + HCl 0,05N, também denominado de Método Carolina do Norte).

No estabelecimento dos “níveis padrão” de P assimilável é fundamental a condução de trabalhos experimentais, como o objetivo de calibração dos índices analíticos, tanto para o método de análise adotado como para diferentes tipos de solo e culturas.

P assimilável (ppm)	teor
< 6	baixo
de 6 a 12	médio
> 12	alto

Esta tabela poderá ser melhorada com a evolução das pesquisas em calibração do solo.

9.4. Teor de carbono

Carbono %	Matéria orgânica % (% C x 1,72)	teor
< de 0,8	< de 1,38	baixo
de 0,8 a 1,4	1,38 a 2,40	médio
> de 1,4	> 2,40	alto

9.5 pH do solo

Valor do pH	Grau de reação
Abaixo de 5,0	Acidez elevada
De 5,0 a 5,9	Acidez média
De 6,0 a 6,9	Acidez fraca
7,0	Neutro
Acima de 7,0	Alcalino

9.6. Alumínio trocável e porcentagem de saturação com alumínio

Alumínio trocável

Al ³⁺ (e.mg/100 ml de terra)	Teor
abaixo de 0,5	baixo
de 0,5 a 1,5	médio
acima de 1,5	alto

Porcentagem de saturação com alumínio¹

% de saturação de Al ³⁺	Grau de saturação
< do que 5	baixo
de 5 a 45	médio
> 45	alto

9.7. Cálcio trocável

Ca trocável (e.mg/100 ml de terra)	teor
abaixo de 2,0	baixo
de 2,0 a 4,0	médio
acima de 4,0	alto

9.8. Magnésio trocável

Mg trocável (e.mg/100 ml de terra)	teor
abaixo de 0,4	baixo
de 0,4 a 0,8	médio
acima de 0,8	alto

^{1/} A tolerância ao alumínio pode variar entre espécies e, mesmo, entre cultivares de uma mesma espécie.

10. MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES PELA SOJA (cultivar 'IAC-2')

Antes de descrever alguns aspectos inerentes à absorção de nutrientes pela soja, em função do seu ciclo, é necessário que se sejam algumas considerações a respeito da sua curva de crescimento. A Fig. 4 mostra, através da análise de regressão, os pontos de máximo acúmulo e o ponto 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 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 planta de hábito determinado, cujo crescimento cessa no estágio de floração, é provável que os pontos acima referidos assumam outras posições na curva.

De Mooy et al. (1973) afirma que a composição química da planta de soja, bem como o peso de grãos em relação à parte vegetativa e às raízes, pode variar com a latitude, o tipo de solo, o clima e a cultivar. Essa pode ser a explicação para as diferenças na determinação dos pontos de máximo acúmulo encontrados por vários autores (Henderson & Kamprath, 1970: 110 - 120 dias; Mascarenhas, 1972: 60 - 80 dias; e Cordeiro, 1977: 96 dias).

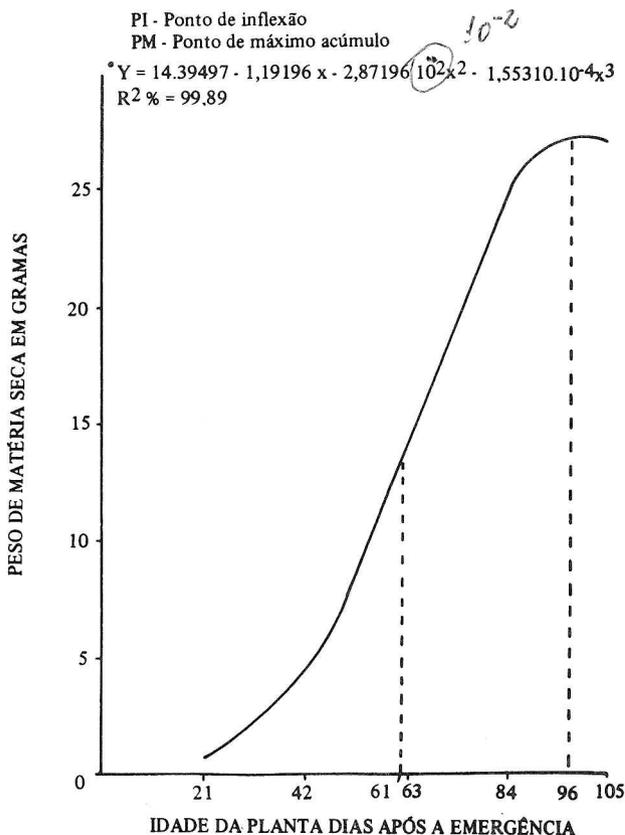


Fig. 4 — Pontos de máximo acúmulo e ponto de inflexão do peso da matéria seca de plantas de soja (Cultivar 'IAC-2'), em função da idade. Cordeiro, 1977.

Ainda pela Fig. 4 pode-se observar que, na cultivar estudada, o intervalo do ponto de inflexão ao ponto de máximo acúmulo de matéria seca é de 35 dias. Esse período compreende desde a floração até o enchimento das vagens, sendo portanto, o “período crítico” da cultura, quando fatores adversos como estiagem, carência nutricional, ataque de pragas e doenças, podem reduzir drasticamente a produção de grãos.

10.1. Absorção de nitrogênio

A absorção de nitrogênio, segundo Cordeiro (1977), é medida pelo acúmulo nas folhas e caules de soja, conforme é mostrado a Fig. 5; é crescente até atingir o ponto de máximo acúmulo: aos 87 dias para os caules e 83 dias para as folhas. Nestas, o maior acúmulo de nitrogênio atinge um valor de 382,78 mg/planta. A partir daí a quantidade decresce, atingindo 171,75 mg/planta aos 105 dias, fato esse devido à translocação do nutriente para os grãos em formação. A maior velocidade de absorção ocorre aos 53 dias, correspondendo ao ponto de inflexão da curva. Nessa época, a quantidade extraída corresponde a 198,59 mg de nitrogênio, ou seja 51,88% da quantidade máxima calculada. Os pontos de máximo acúmulo encontrados estão de acordo com inúmeros outros trabalhos, entre os quais Henderson & Kamprath (1970), Hanway & Weber (1971) e Mascarenhas (1972).

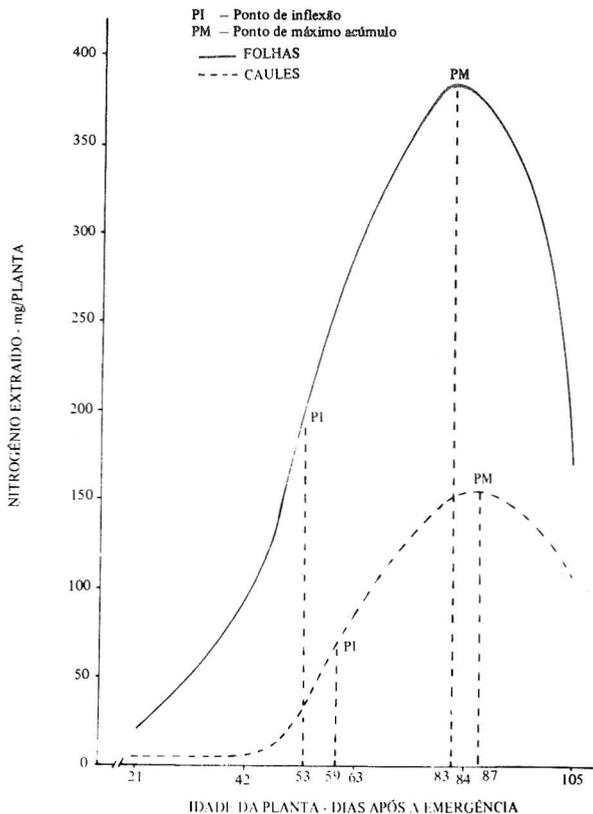


Fig. 5 — Pontos de máxima e de inflexão da extração de nitrogênio, pelas folhas e caules de soja (Cultivar ‘IAC-2’), em função da idade. Cordeiro, 1977.

Pelos resultados em questão, vê-se que num período de 30 dias (diferença entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo acúmulo) a planta extrai cerca de 50% das suas necessidades em nitrogênio, enquanto que os outros 50% são absorvidos desde a emergência até o ponto de inflexão (53 dias). Pelo exposto torna-se claro que a fase crítica para suprimento de nitrogênio se inicia a partir dos 40 dias após a emergência, prolongando-se até o ponto de máximo acúmulo.

10.2. Absorção de fósforo

A extração de fósforo, medida pelo seu acúmulo nas folhas de soja, como é mostrado na Fig. 6, é relativamente lenta até 52 dias após a emergência (Ponto de inflexão da curva). Até então, segundo Cordeiro (1977), há uma extração correspondente a cerca de 14,0 mg de fósforo/planta ou seja 51,50% do total extraído. Conforme o mesmo autor, o ponto de máximo acúmulo ocorre aos 82 dias após a emergência com uma extração de cerca de 27,4 mg de fósforo.

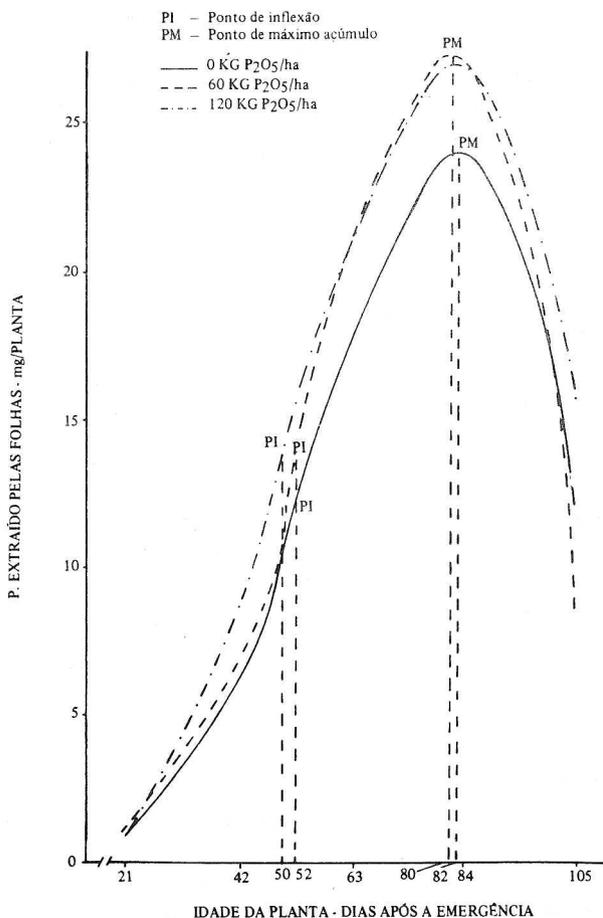


Fig. 6 — Pontos de inflexão e de máxima extração de fósforo pelas folhas de soja (Cultivar 'IAC-2'), em função da idade da planta e de três doses de fósforo. Cordeiro, 1977.

A curva de acúmulo de fósforo nas folhas segue um esquema semelhante ao da matéria seca, isto é, no início a absorção é lenta, crescendo rapidamente até o início do enchimento das vagens (Cordeiro, 1977; Hanway & Thompson, 1971). Semelhante ao nitrogênio o “período crítico” para o fósforo na cultivar estudada por Cordeiro (1977) foi de 30 dias, indicando que o suprimento desse nutriente deve estar disponível a partir de 40 dias após a emergência.

10.3. Absorção de potássio

O comportamento das folhas de soja quanto ao acúmulo de potássio, conforme é mostrado na Fig. 7, é influenciado pelas doses de fósforo aplicadas ao solo (Cordeiro, 1977). Nesse caso, o ponto de inflexão da curva de absorção foi influenciado pela dose de 120 kg de P_2O_5 /ha, e foi detectado aos 44 dias, enquanto que o ponto de máximo acúmulo ocorreu aos 80 dias de idade da planta. A diferença de 36 dias entre os dois pontos corresponde ao “período crítico” de absorção de potássio pela planta. Cumpre salientar que a extração de potássio foi mais intensa quando a planta esteve submetida ao maior tratamento de fósforo no solo.

Miller et al. (1961) encontraram altas correlações entre as concentrações de fósforo e de potássio em folhas e caules de soja. Esses autores verificaram a correlação altamente positiva entre os dois elementos e também que o teor de potássio nas folhas, estava intimamente relacionado com a produção de grãos. Cordeiro (1977) observou, no entanto, que os teores de potássio no tecido da planta não apresentaram correlação com a produção de grãos, concluindo que a dose mais elevada de fósforo no solo proporcionou um “consumo de luxo” de potássio pela planta.

10.4. Absorção de cálcio

Pela Fig. 8, observa-se que o acúmulo de cálcio nas folhas é semelhante até os pontos de inflexão (56 a 59 dias de idade) nos tratamentos com zero a 60 kg de P_2O_5 /ha, ao passo que aumentos na dose de fósforo (120 kg/ha de P_2O_5) parecem indicar antecipação do ponto de inflexão (Cordeiro, 1977). Segundo esse mesmo autor, durante esse período (emergência até o ponto em que a absorção é acelerada), independentemente dos tratamentos com fósforo utilizados, ocorre a absorção de 50% da quantidade acumulada nas folhas. Conforme Cordeiro (1977), folhas das plantas que não receberam fósforo na adubação, o ponto de máxima extração de cálcio ocorreu aos 91 dias enquanto que nos outros tratamentos houve uma antecipação de quatro dias. O acúmulo de cálcio pelas folhas parece que é inibido pelas doses de fósforo aplicadas ao solo. Evans et al. (1950) verificaram que teores insuficientes ou mesmo ausência de cálcio na solução nutritiva provoca aumentos de magnésio, fósforo, potássio e boro nas folhas de soja, o que deixa transparecer que existe interação entre o fósforo e o cálcio na nutrição da soja. Não foi encontrada literatura específica abordando esse tipo de interação.

10.5. Absorção de magnésio

De acordo com Cordeiro (1977), o acúmulo de magnésio nas folhas, tanto com zero como com 60 kg/ha de P_2O_5 , é contínuo e semelhante até aos 63 dias após a emergência (Fig. 9). A extração de magnésio, dentro desse período, sob a influência da dose de 120 kg/ha de P_2O_5 é paralela e superior à primeira. Após o estágio citado, ocorre inversão na extração de magnésio, isto é, à medida que se aumentam os teores de fósforo no solo, diminui a concentração de magnésio nas folhas. Aos 83 dias de idade, ocorreram os pontos de máximo acúmulo nas

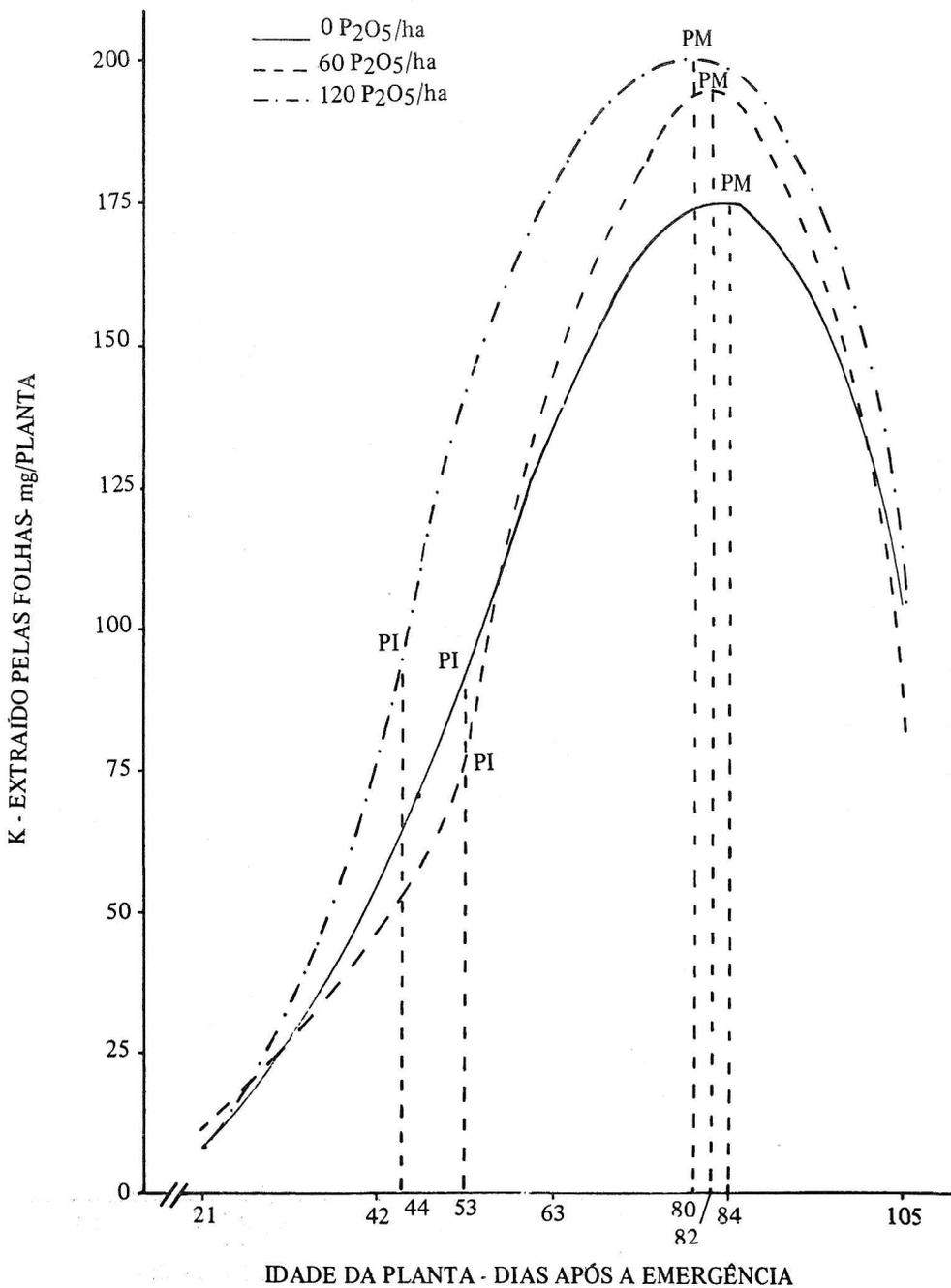


Fig. 7 – Pontos de inflexão e de máxima extração de potássio pelas folhas de soja (Cultivar 'IAC-2'), em função da idade da planta e de três doses de fósforo. Cordeiro, 1977.

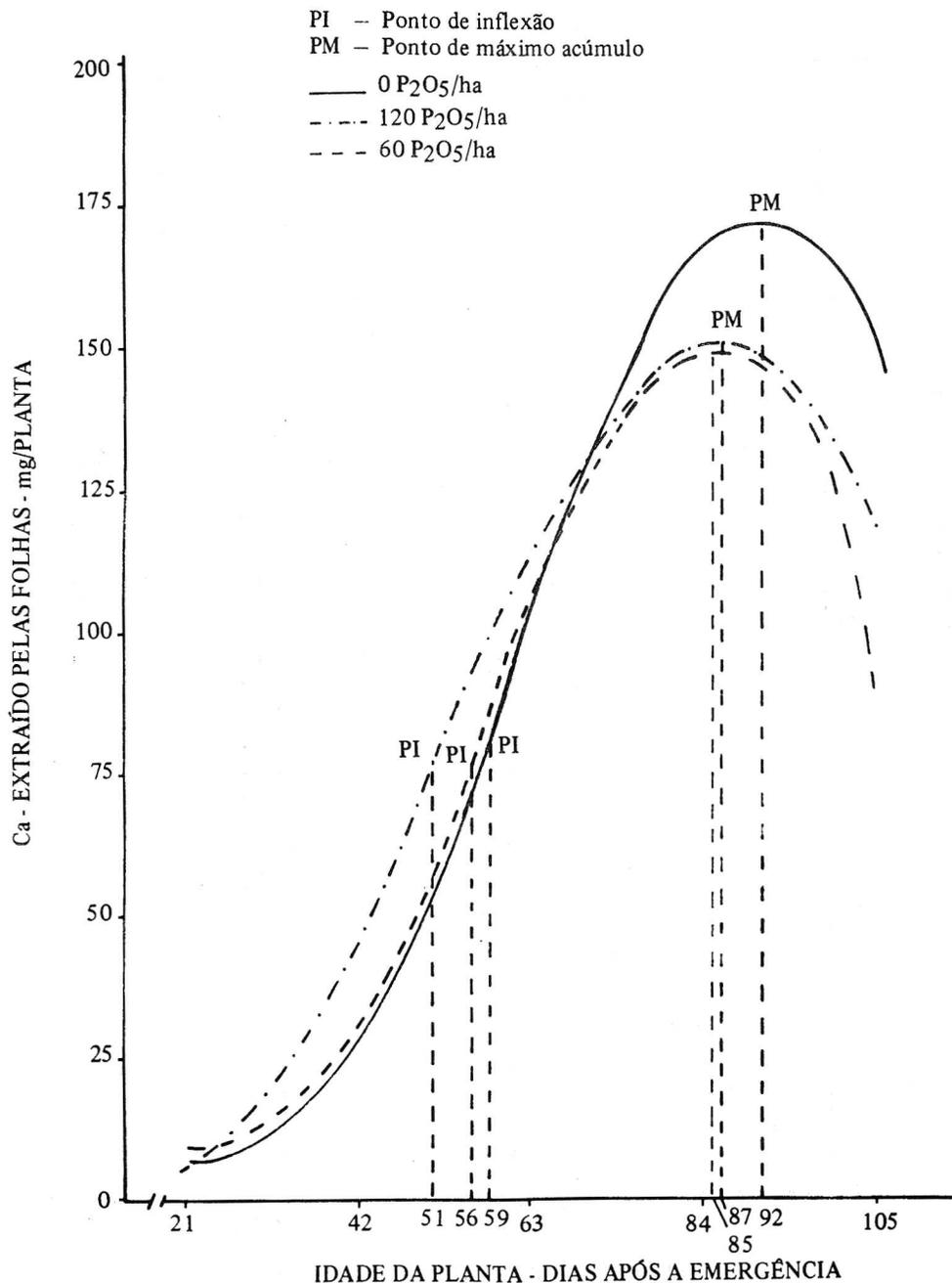


Fig. 8 — Pontos de inflexão e de máxima extração de cálcio pelas folhas de soja (Cultivar 'IAC-2'), em função da idade da planta e de três doses de fósforo. Cordeiro, 1977.

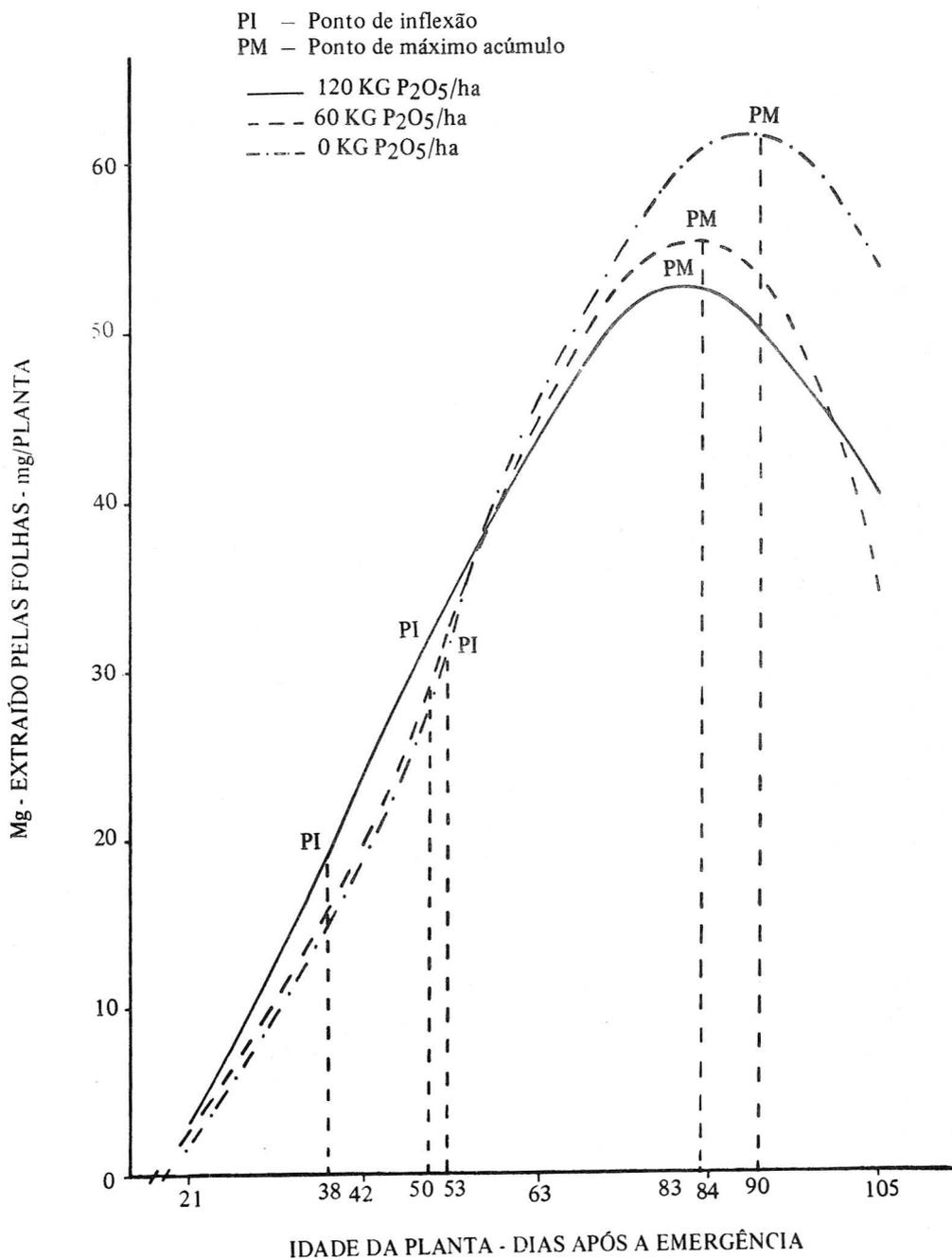


Fig. 9 — Pontos de inflexão e de máxima extração de magnésio pelas folhas de soja (Cultivar 'IAC-2'), em função da idade da planta e de três doses de fósforo. Cordeiro, 1977.

folhas de plantas que receberam 60 e 120 kg/ha de P_2O_5 , sendo que o menor valor de magnésio acumulado (55,55 mg/planta) pertenceu ao tratamento com maior quantidade de fósforo. As folhas das plantas que não receberam fósforo, acumularam maior teor de magnésio (61,70 mg/planta) no ponto de máxima extração aos 90 dias de idade. Muitos investigadores, como Beeson, Truog & Zimmerman, citados por Webb et al. (1954), afirmam que o magnésio funciona como vetor na absorção pela planta. Os resultados obtidos por Cordeiro (1977) confirmam a existência de uma possível interação dos dois íons. Embora existam na literatura inúmeros trabalhos mostrando os efeitos benéficos do magnésio na absorção de fósforo pela planta, inexistem investigações que mostrem o efeito do fósforo na absorção do magnésio. Em vista desse fato, formula-se a hipótese de que o magnésio acumulado até os 63 dias de idade é translocado para os órgãos reprodutivos, que aparecem em maior quantidade nas plantas que receberam doses maiores de fósforo.

10.6. Absorção de enxôfre

O acúmulo de enxôfre nas folhas, de acordo com Cordeiro (1977), aumenta a partir dos 21 dias de idade, com quantidades semelhantes para as plantas dos tratamentos zero a 60 kg de P_2O_5 /ha (Fig. 10). Os pontos de inflexão encontram-se em torno dos 53 dias de idade. As plantas que receberam 120 kg de P_2O_5 , tiveram um acúmulo de enxôfre mais acentuado após os 21 dias, atingindo o ponto de inflexão aos 45 dias de idade, com um teor de 8,11 mg de enxôfre por planta. A partir dos pontos de inflexão, as plantas aceleraram a absorção, atingindo os pontos de máximo acúmulo em torno dos 82 a 86 dias de idade. O que se pode observar é que a dose de 60 kg de P_2O_5 proporcionam um aumento na concentração de enxôfre nas folhas de soja (19,21 mg/planta). Infelizmente a literatura a respeito do comportamento do enxôfre na planta, em presença de diferentes doses de fósforo, é escassa. Entretanto, Wooding et al. (1972) verificaram em solução nutritiva que a deficiência de fósforo provoca uma redução na concentração de enxôfre na parte vegetativa da planta.

10.7. Consideração finais

Após uma observação de talhada da marcha de absorção dos macronutrientes, pela cultivar 'IAC-2', de hábito de crescimento indeterminado, pode-se discutir alguns aspectos de caráter prático, inerentes às informações obtidas através da Tabela 6.

TABELA 6 – Quantidade total do nutriente acumulado, percentagem do total acumulado e período crítico em relação a idade da planta.

Macronutrientes	Pontos de inflexão		Ponto de máximo acúmulo		Período crítico dia ^{2/}
	Idade da planta ^{1/}	% do total acumulado	Idade da planta	Total acumulado mg/planta	
Nitrogênio	53,5	51,8	82,5	382,8	29,0
Fósforo	51,9	51,5	82,1	26,2	30,2
Potássio	50,5	50,5	82,3	191,2	31,8
Cálcio	55,2	50,9	88,0	157,8	32,8
Magnésio	46,9	47,1	85,6	56,6	38,7
Enxôfre	51,5	49,7	84,1	17,9	33,0

^{1/} Dias após a emergência

^{2/} Período de intensa absorção

Pelo exposto na Tabela 6, pode-se dizer que:

- em ordem decrescente, a planta é mais exigente em $N > K > Ca > Mg > P > S$;
- o ponto de máximo acúmulo de todos os nutrientes estudados está em torno de 82 a 88 dias de idade;
- o início do período de maior absorção dos macronutrientes está na faixa de 47 a 55 dias de idade;
- o período crítico, período de intensa absorção para todos os macronutrientes, possui uma amplitude de 29 a 38 dias, quando as plantas absorvem cerca de 50% de suas necessidades.

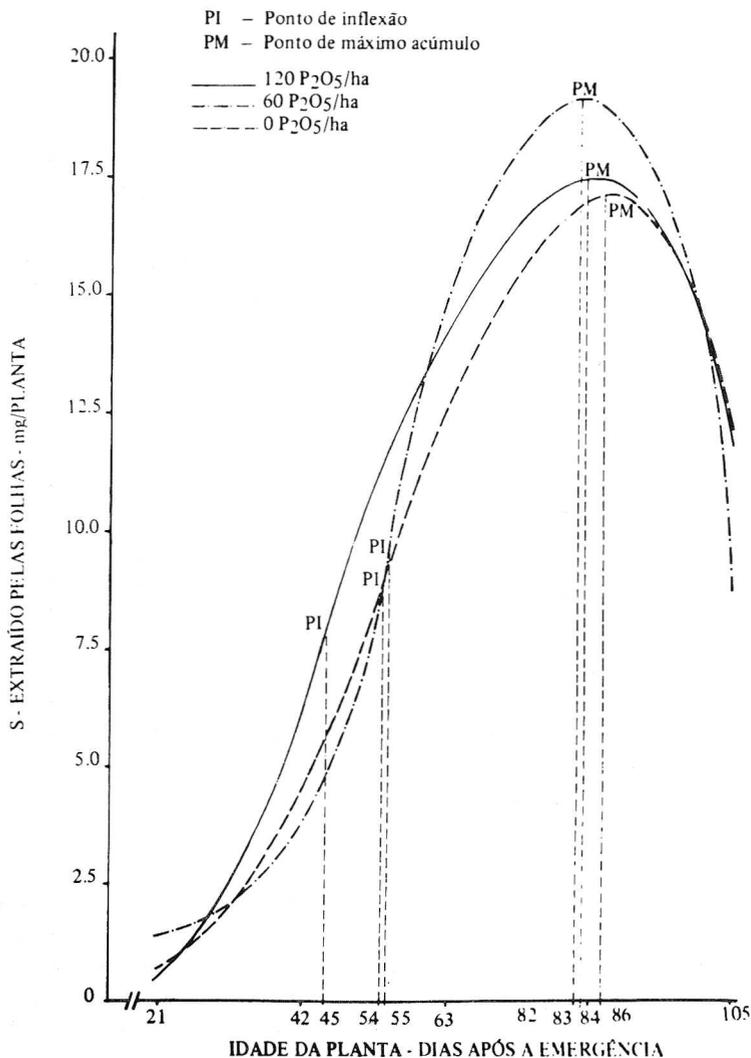


Fig. 10 - Pontos de inflexão e de máxima extração de enxofre pelas folhas de soja (Cultivar 'IAC-2'), em função da idade da planta e de três doses de fósforo. Cordeiro, 1977.

11. RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO

As recomendações de adubação com fósforo e potássio para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina são apresentadas nas Tabelas 7, 8, 9, 10 e 11.

TABELA 7 – Recomendações de adubação de correção para fósforo e potássio para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina 1977.

ANÁLISE		DE POTÁSSIO (K) ppm										
		INTERPRETAÇÃO			M. BAIXO		BAIXO		MÉDIO		BOM	
					0 a 20		21 a 40		41 a 60		+ 60	
		TEXTURA*			P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha
1	2	3										
DE FÓSFORO (P) ppm	M. BAIXO	0,0 a 3,0	0,0 a 6,0	0,0 a 10,0	120	120	120	80	120	40	120	0
	BAIXO	3,1 a 6,0	6,1 a 12,0	10,1 a 20,0	80	120	80	80	80	40	80	0
	MÉDIO	6,1 a 9,0	12,1 a 18,0	20,1 a 30,0	40	120	40	80	40	40	40	0
	BOM	+ 9,0	+ 18,0	+ 30,0	0	120	0	80	0	40	0	0

Fonte – Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Porto Alegre.

* – TEXTURA

1 – SOLOS ARGILOSOS

(> de 40% de argila);
como exemplo as unidades de solo:

- Vacaria, Palma Sola, Canoinhas, Erechim, Massaranduba, Durox, e outras.

2 – SOLOS FRANCOS

(de 20 a 40% de argila) como as unidades de solo:

- Jacinto Machado, Tubarão, Santo Amaro e outras.

3 – SOLOS ARENOSOS

(< de 20% de argila);
como as unidades de solos:

- Araranguá e outras.

A adubação de correção desses dois nutrientes é feita com o objetivo de elevar os seus teores, no solo, a níveis considerados ótimos. Para isso, os fertilizantes, nas doses recomendadas, são distribuídos à lanço e incorporados ao solo à profundidade de 20 cm. Para saber qual a quantidade de nutriente a ser colocado no solo para uma adubação de correção (RS e SC), basta utilizar a Tabela 7. Há necessidade, entretanto, do conhecimento da textura do solo; sua aplicação independe da cultura a ser implantada.

Já a adubação de manutenção tem como base, a reposição dos nutrientes retirados pela colheita. Assim sendo, a sua recomendação leva em conta, necessariamente, a cultura a ser implantada (Tabela 8). A adubação de manutenção, nas doses recomendadas, é aplicada na linha de semeadura.

TABELA 8 — Adubação de manutenção para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul, 1977.

K (ppm)	Adubação / kg / ha			Adubação de Cobertura	
	N ² / ₂	P ₂ O ₅ ² / ₂	K ₂ O ² / ₂	M.O. %	N Kg/ha
– 80	10	75	50	qualquer	
80–120	10	75	30	teor	0
+ 120	10	75	10		

Fonte — Departamento de solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS - Porto Alegre.

No Estado de Santa Catarina, estudos efetuados pela Associação de Crédito e Extensão Rural de Santa Catarina (ACARESC), mostraram que muitos agricultores relutam em usar a adubação recomendada pelos órgãos oficiais de pesquisa, devido principalmente a limitações de ordem econômica. Em vista desse fato, aquele órgão estabeleceu níveis pretendidos de produção, considerando 1.800 a 2.100 kg/ha de grãos de soja, como sendo o teto máximo de produção, igual a 100%. Quando esse nível é pretendido, usa-se a Tabela 7, ou seja, a mesma utilizada no Rio Grande do Sul. Para se obter 60 e 80% da produção máxima, usam-se as Tabelas 9 e 10.

Esta modificação não influi no sistema de adubação adotado, que é a correção do solo com fósforo e potássio, seguida da manutenção (Tabela 11), onde a modificação também foi efetuada. Quando a análise do solo indicar adubação de correção com P₂O₅ ou K₂O igual ou inferior a 40 kg/ha, essa pode ser adicionada a adubação de manutenção de base, eliminando a operação de aplicação da adubação corretiva.

No Estado do Paraná, as recomendações de adubação para P e K, levam em consideração a sucessão trigo-soja e a evolução de cultivo dos solos do Estado. Nesse Estado não se efetua adubação de correção, usando-se somente a Tabela 12, cujo adubo é colocado no sulco semeadura.

²/₂ São permitidas variações nas recomendações de adubação na tabela acima, até os seguintes valores: (± 10%); N
(± 5%); P₂O₅
(± 5%); K₂O

Santa Catarina.

ANÁLISE		DE POTÁSSIO (K) ppm										
		INTERPRETAÇÃO			M. BAIXO	BAIXO	MÉDIO	BOM				
DE FÓSFORO	BAIXO	1,6 à 3,0	5,1 à 6,0	5,1 à 10,0	40	60	40	40	40	20	40	0
	MÉDIO	3,1 à 4,5	6,1 à 9,0	10,0 à 15,0	20	60	20	40	20	20	20	0
	BOM	+ 4,5	+ 9,0	+ 15,0	0	60	0	40	0	20	0	0

Fonte – Laboratório de solos do Estado de Santa Catarina & ACRESC. 1977.

TABELA 10 - Recomendação de adubação corretiva para tetos de produção de 80%, em Santa Catarina.

ANÁLISE		DE POTÁSSIO (K) ppm										
		INTERPRETAÇÃO			M. BAIXO		BAIXO		MÉDIO		BOM	
					0 à 15		16 à 30		31 à 45		+ 45	
		TEXTURA			P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
DE FÓSFORO (P) ppm	1	2	3	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	
	M. BAIXO	0,0 à 2,0	0,0 à 4,0	0,0 à 7,0	90	90	90	60	90	30	90	0
	BAIXO	2,1 à 4,0	4,1 à 8,0	7,1 à 14,0	60	90	60	60	60	30	60	0
	MÉDIO	4,1 à 6,0	8,1 à 12,0	14,1 à 21,0	30	90	30	60	30	30	30	0
	BOM	+ 6,0	+ 12,0	+ 21,0	0	90	0	60	0	30	0	0

Fonte – Laboratório de solos do Estado de Santa Catarina & ACRESC. 1977.

TABELA 9 – Recomendação de adubação corretiva para tetos de produção de 60%, em Santa Catarina.

ANÁLISE		DE POTÁSSIO (K) ppm										
		INTERPRETAÇÃO			M. BAIXO		BAIXO		MÉDIO		BOM	
					0 à 10		11 à 20		21 à 30		+ 30	
		TEXTURA			P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
			kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha		
			1	2	3							
DE FÓSFORO (P) ppm	M. BAIXO	0,0 à 1,5	0,0 à 3,0	0,0 à 5,0	60	60	60	40	60	20	60	0
	BAIXO	1,6 à 3,0	3,1 à 6,0	5,1 à 10,0	40	60	40	40	40	20	40	0
	MÉDIO	3,1 à 4,5	6,1 à 9,0	10,0 à 15,0	20	60	20	40	20	20	20	0
	BOM	+ 4,5	+ 9,0	+ 15,0	0	60	0	40	0	20	0	0

Fonte – Laboratório de solos do Estado de Santa Catarina & ACARESC. 1977.

TABELA 10 - Recomendação de adubação corretiva para tetos de produção de 80%, em Santa Catarina.

ANÁLISE		DE POTÁSSIO (K) ppm										
		INTERPRETAÇÃO			M. BAIXO		BAIXO		MÉDIO		BOM	
					0 à 15		16 à 30		31 à 45		+ 45	
		TEXTURA			P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
			kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha		
			1	2	3							
DE FÓSFORO (P) ppm	M. BAIXO	0,0 à 2,0	0,0 à 4,0	0,0 à 7,0	90	90	90	60	90	30	90	0
	BAIXO	2,1 à 4,0	4,1 à 8,0	7,1 à 14,0	60	90	60	60	60	30	60	0
	MÉDIO	4,1 à 6,0	8,1 à 12,0	14,1 à 21,0	30	90	30	60	30	30	30	0
	BOM	+ 6,0	+ 12,0	+ 21,0	0	90	0	60	0	30	0	0

Fonte – Laboratório de solos do Estado de Santa Catarina & ACARESC. 1977.

TABELA 11 - Adubação de manutenção para o Estado de Santa Catarina, 1977.

Nível de Produção pretendida*	ADUBAÇÃO DE BASE kg/ha				ADUBAÇÃO COBERTURA	
	K - ppm	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MO. %	N - kg/ha
1800	<80	0	70	50	0 à 2,5	0
à	80 à 120	0	70	30	2,6 à 5,0	0
2.100 kg/ha	> 120	0	70	0	+ 5,0	0
1500	<80	0	60	40	0 à 2,5	0
à	80 à 120	0	60	20	2,6 à 5,0	0
1.800 kg/ha	> 120	0	60	0	+ 5,0	0
1200	<80	0	50	30	0 à 2,5	0
à	80 à 120	0	50	15	2,6 à 5,0	0
1.500 kg/ha	> 120	0	50	0	+ 5,0	0

Fonte – Laboratório de solos do Estado de Santa Catarina & ACARESC. 1977.

*Na recomendação de manutenção em SC, considera-se o nível de produção pretendida, para dar opções para o produtor na consorciação.

Milho - Soja - aplicar as quantidades de N, P₂O₅ e K₂O indicadas pela análise de solo para a cultura do milho e metade da quantidade recomendada para a cultura da soja pois somente a metade da área é ocupada pela cultura da soja.

TABELA 12 - Adubação da soja em sucessão ao trigo no Estado do Paraná¹.

Análise do solo		Nutrientes a aplicar (kg/ha) no plantio					
		Solos cultivados (a)			Solos de uso recente (b)		
P	K	N(c)	P ₂ O ₅	K ₂ O(d)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O(d)
B	B	0-15	50-70	60-90	0	80-100	45-60
	M	0-15	50-70	45-60	0	80-100	30-45
	A	0-15	50-70	30-45	0	80-100	20-30
M	B	0-15	30-50	50-90	0	50-70	45-60
	M	0-15	30-50	45-60	0	50-70	30-45
	A	0-15	30-50	30-45	0	50-70	20-40
A	B	0-15	20-40	60-90	0	30-50	45-60
	M	0-15	20-40	45-60	0	30-50	30-45
	A	0-15	20-40	30-45	0	30-50	20-30

Níveis – limites de P e de K para interpretação da análise.

	P (ppm)	K (e.mg/100 ml)
BAIXO (b)	< 6	< 0,10
MÉDIO (m)	6 - 12	0,10-0,30
ALTO (a)	> 12	> 0,30

1 – Fonte: Muzilli et al. (1977).

- (a) Refere-se a solos cultivados com trigo e soja há 4 anos ou mais, onde ambas as culturas vêm recebendo níveis altos de adubação fosfatada e baixos de adubação potássica, nas condições normalmente adotadas pelos agricultores do Paraná.
- (b) Refere-se a solos onde o cultivo com a sucessão trigo-soja se iniciou há menos de 3 anos, antecedida ou não por outras culturas, em áreas de fertilidade natural normalmente deficiente em fósforo e onde o potássio constitui ou não limitação.
- (c) A aplicação de nitrogênio está condicionada a fatores de uso e manejo do solo e/ou no espaço de tempo entre a colheita do trigo e a semeadura da soja.
- (d) Quando os teores de potássio no solo forem superiores a 0,40 e.mg/100 g (ml) ou 160 ppm, a adubação potássica é suprimida.

TABELA 13 - Recomendação de Adubação corretiva para o Estado de Mato Grosso do Sul, MS.

Fósforo			Potássio		
no solo		P ₂ O ₅ a aplicar	no solo		K ₂ O a aplicar
em ppm de P	em e.mg de PO ₄ + 3	Kg/ha	em ppm de K	em e.mg de K	Kg/ha
0 - 5	0,0 - 0,05	240	0 - 30	0 0,08	100
5,1 - 10	0,051 - 0,10	120	30 - 60	0,08 0,15	50
10	0,10	0	> 60	0,15	0

Fonte – EMBRAPA - EMBRATER. (1977). *Silveira et al (1977)*

TABELA 14 - Recomendação de Adubação corretiva para o Estado do Mato Grosso, MT.

Fósforo			Potássio		
no solo		P ₂ O ₅ a aplicar	no solo		K ₂ O a aplicar
em ppm de P	em e.mg de PO ₄ -3	Kg/ha	em ppm de K+	em e.mg de K	Kg/ha
0 6	0,0 0,06	150	0 30	0 0,08	100 80
6 12	0,06 - 0,12	150 - 80	30 - 60	0,08 - 0,15	80 - 50
6 - 12	0,12	0	> 60	0,15	0

Fonte – EMATER - MT. (1977)

TABELA 15 - Adubação de manutenção para o Estado do Mato Grosso do Sul, MS.

Solos Arenosos			Solos Argilosos			Aplicar
Elemento	ppm	e.mg	Níveis	ppm	e.mg	Kg/ha*
P	0,0 - 10,0	0,0 - 0,10	Baixo	0,0 - 6,0	0,0 - 0,06	70 - 80
	10,1 - 20,0	0,10 - 0,20	Médio	6,1 - 12,0	0,06 - 0,12	60 - 69
	> 20,0	> 0,20	Alto	> 12,0	> 0,12	50 - 59
K	0,0 - 40,0	0,0 - 0,10	Baixo	0,0 - 40,0	0,0 - 0,10	30 - 40
	41,0 - 80,0	0,10 - 0,20	Médio	41,0 - 80,0	0,10 - 0,20	20 - 29
	> 80,0	> 0,20	Alto	> 80,0	> 0,20	0 - 19

Fonte – EMBRAPA - EMBRATER (1977).

Obs.: Em solos com níveis de K acima de 150 ppm (0,38 e.mg) dispensa-se a adubação potássica. Contudo, deve-se tomar cuidados com relação a esse procedimento, pois o cultivo sucessivo, sem adubação potássica, pode acarretar deficiência do elemento.

*Kg/ha de P₂O₅ ou Kg/ha de K₂O.

TABELA 16 - Adubação de manutenção para o Estado de Mato Grosso, MT.

Níveis de Nutrientes no Solo (ppm)			Quantidade de Fertilizantes ^{1/} (Kg/ha)		
P		K	P ₂ O ₅		K ₂ O
Solo Argiloso	Solo Arenoso		Solo Argiloso	Solo Arenoso	
0 - 6	0 - 10	0 - 10	80 - 70	80 - 70	60 - 40
6 - 12	10 - 20	30 - 60	70 - 60	70 - 60	40 - 20
> 12	> 20	> 60	40	60	20

Fonte – EMATER - MT (1977).

^{1/} Quando o teor de matéria orgânica for muito baixo, adicionar no máximo 10 Kg/ha de nitrogênio, quando for em área com 1o. cultivo de soja.
Para solos de campos e cerrados já corrigidos, recomenda-se adicionar até 15 Kg de sulfato de Zn por ocasião da adubação.

TABELA 17 - Recomendação de adubação corretiva para solos sob vegetação de cerrado (Kg/ha), no Estado de Goiás.

Análise do Solo	Correção Imediata ^{1/}		Correção Gradativa ^{2/}	
	Argiloso	Textura Média	Argiloso	Textura Média
	————— kg/ha —————			
P(ppm)	kg P ₂ O ₅ Total		kg P ₂ O ₅ Total	
0 - 5	240	170	110	90
6 - 10	120	80	90	80
> 10	0	0	60	60
K(ppm)	kg K ₂ O		kg K ₂ O	
0 - 25	100	100	60	60
26 - 50	50	50	50	50
> 50	0	0	40	40

Fonte — Atualização do Sistema de Produção de Soja. Área de difusão de Tecnologia. Articulação EMGOPA/EMATER. Goiânia GO. Agosto, 1979.

- ^{1/} A correção imediata consiste em aplicar doses mais elevadas de fósforo e potássio no 1o. ano de cultivo e anualmente aplicar doses menores de manutenção (60 kg P₂O₅ e 40 kg K₂O/ha). A dose de Zinco e de 10 kg de Zn/ha só no 1o. ano.
- ^{2/} A correção gradativa consiste em aplicar doses menores anualmente até que se atinja a dose de correção imediata. Após 5 anos a utilização da correção gradativa, aplicar somente doses de manutenção (60 kg P₂O₅ e 40 kg K₂O/ha). Neste caso aplicar-se 2 kg de Zinco/ha, por ano.
- ^{3/} As quantidades recomendadas nesta tabela referem-se a solos de 1o. ano de cultivo. Para solos já cultivados é fundamental conhecer-se o histórico da área para a recomendação.

TABELA 18 - Recomendações de adubação para soja no Estado de São Paulo, SP.

Interpretação	P no solo ppm	Kg de P ₂ O ₅ por ha	K ⁺ no solo ppm	Kg de K ₂ O por ha
Baixo	0 - 2	60	0 - 30	50
Médio	3 - 7	45	31 - 80	30
Alto	> 8	0	> 80	0

Fonte — Malavolta, E., 1978.

TABELA 19 - Recomendações de adubação de manutenção de fósforo e potássio para soja no Estado de Minas Gerais, MG.

Solos		Kg/ha			N em cobertura
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Argilosos	Arenosos ou Textura média	10			0
0 - 5	0 - 10	—	90	—	
6 - 10	11 - 20	—	60	—	
> 10	> 20	—	30	—	
0 - 30		—	—	60	
31 - 60		—	—	40	
> 60		—	—	20	

Fonte — Santos et al., 1978.

Obs.: A “fosfatagem” para o Estado de Minas Gerais, segundo Santos et al. (1978), é de 240 Kg de P₂O₅/ha para o Latosol Vermelho Escuro de textura argilosa e de 170 Kg de P₂O₅/ha para os Latosols Amarelo de textura média. Essa prática, de acordo com os autores, deve ser feita, de preferência, com fosfatos naturais.

12. LITERATURA CITADA

- ADAMS, F. & R.W. PEARSON. 1967. Crop response to lime in Southern United States and Puerto Rico, p. 161 - 206. *In*: PEARSON, R.W. & F. ADAMS, ed. Soil Acidity and Liming. Agronomy nº. 12, American Society of Agronomy. Madison, Wis.
- BARBER, S.A.; R.D. MUNSON & W.B. DANCY. 1971. Production, Marketing and use of potassium fertilizers, p. 303 - 334. *In*: Fertilizer, Technology & Use. Soil Sci. of America. Madison, Wis.
- BEACHER, R.L.; D. LONGNECKER & F.G. MERKLE. 1962. Influence of form of plant development and certain soil characteristics. *Soil Sci.* 73: 75 - 82.
- BESEDIN, P.N. 1966. Effect of various ratios of absorbed Ca and Mg on some properties of serozens and plant yields. *Trudy manchnoissled. Inst. Pochv. gos. Kom. Khlopkovod Sred. Azer Gosplane SSSR.*, (4): 68 - 83, 1964. *In*: Soils and Fertilizers, Harpenden., 29 (1): 27.
- BLACK, C.A. 1968. Soil-plant relationship. John Wiley & Sons. 192 p.
- BORKERT, C.M. 1973. Efeito do calcário e do cloreto de potássio sobre as concentrações de manganês e alumínio nos oxissolos Santo Ângelo e Passo Fundo e suas relações com a nodulação e rendimento de duas cultivares de soja. Tese de Mestrado. Fac. Agron. UFRGS. Porto Alegre, RS. 97 p.

- CAMARGO, A.P. 1972. Influência da granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo. Tese de Mestrado. ESALQ - USP. Piracicaba, SP. p.
- COLEMAN, N.T. & G.W. THOMAS. 1967. The basic chemistry of soil acidity, p. 1 - 41. In: PEARSON, R.W. & F. ADAMS., ed. Soil Acidity and liming. Agronomy n^o. 12 Am. Soc. Agron. Madison, Wis.
- CORDEIRO, D.S. 1977. Efeito de adubação NPK na absorção, translocação e extração de nutrientes pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Piracicaba, SP. ESALQ. (Tese de Doutorado).
- DE MOOY, C.J.; J. PESEK & E. SPALDON. 1973. Mineral Nutrition, p. 267 - 334. In: CALDWELL, B.E. (ed.) Soybean: Improvement, production and uses. Agronomy n^o. 16, American Society of Agronomy. Madison, Wis.
- EMATER. 1977. Diretrizes básicas para o cultivo da soja nos cerrados das regiões Norte e Leste do Mato Grosso. Cuiabá, MT.
- EMGOPA/EMATER. 1979. Atualização do Sistema de Produção de Soja. Goiânia, GO. 13 p. Mimiografado.
- EPSTEIN, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. John Wiley & Sons. New York, NY. 412 p.
- EPSTEIN, E. 1975. Nutrição mineral das plantas: Princípios e perspectivas; tradução e notas. MALAVOLTA, E. Rio de Janeiro, Livros técnicos e científicos. 344 p.
- EVANS, C.E.; D.J. LATWELL & H.J. MEDERSKI. 1950. Effect of deficient or toxic levels of nutrients in solution on foliar symptoms and mineral content of soybean leaves as measured by spectrographic methods. Agron. J., 42: 25 - 32.
- FEITOSA, C.T. & B. Van RAIJ. 1976. Influência da natureza de fosfatos aplicados a dois solos, no fósforo solúvel em extratores químicos e disponível para trigo e milho. Anais do Décimo Quinto Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Campinas, SP. p. 215 - 220.
- FOLE, A.D. & J. MIELNICZUK. 1975. Efeito da aplicação de diferentes fontes fosfatadas sobre a produção da soja. IIIa. Reunião Conjunta de Pesquisa de Soja. Fac. Agron. UFRGS. Porto Alegre, RS. (mimeo.).
- FREIRE, J.R.J. & C. VIDOR. 1974. II. Fixação simbiótica do nitrogênio. In: GOEPFERT, C.F.; J.R.J. VIDOR & C. VIDOR. Nutrição da cultura da soja. Porto Alegre, RS. p. 17 - 30. (Boletim técnico).
- GUPTA, V.C.; E.W. CHIPMANN & D.C. MACKAY. 1970. Influence of manganese and pH on chemical composition bronzing of leaves and yield of carrots grown are acid sphagnum. Peat soil. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 762 - 764.
- HANWAY, J.J. & C.R. WEBER. 1971. Dry matter accumulation in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) varieties. Agron. J., 63: 277 - 280.
- HEMWALL, J.B. 1957. The fixation of phosphorus by soils. Adv. in Agron., 9: 95 - 112.

- HENDERSON, J.B. & E.J. KAMPRATH. 1970. Nutrient and dry matter accumulation by soybeans. N.C. Agr. Exp. Techn. Bull. n^o. 197.
- KAMPRATH, E.J. 1967. A calagem dos solos ácidos. *In*: Acidez do solo e a calagem. International Soil Testing. (Boletim Técnico n^o. 04).
- KAMPRATH, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34: 252 - 254.
- KAMPRATH, E.J. & C.D. FOY. 1971. Lime-Fertilizer-Plant interations in acid soils. *In*: OLSON, R.A. et alli, ed. Fertilizer technology and use. 2a. ed. S.S.S.A. Inc. Madison, Wisconsin. p. 105 - 151.
- LAROCHE, F.A. 1967. Efeitos da calagem sobre o complexo de troca de um latossolo tropical e os teores de cátions absorvidos pelo tomate. Recife, SUDENE, Dv. Documentação. 80 p. (SUDENE, Agricultura, 9).
- LYON, T.L. & H.O. BUCKMAN. 1958. Edafologia. Traduzido da 4a. edição inglesa por Victor S. Nicollier. 2a. ed. espanhola. Comp. Ed. Continental. México, 479 p.
- MALAVOLTA, E. 1978. Nutrição mineral e adubação da soja. Série Divulgação Técnica n^o. 5. Publicação da Ultrafertil.
- MASCARENHAS, H.A.A. 1972. Acúmulo de matéria seca, absorção e distribuição de elementos na soja, durante o seu ciclo vegetativo. Piracicaba, SP. ESALQ/USP, 100 p. (Tese de Doutorado).
- MEYER, T.A. & G.W. VOLK. 1952. Effect of particle of limestone on Soil reaction, exchangeable cation and plant growth. *Soil. Sci.* 73: 37 - 52.
- MEHLICH, A. & N.T. COLEMAN. 1952. Type of soil colloid and the mineral nutrition of plants. *Adv. in Agron.* New York. 4: 67 - 99.
- MELLO, F.; M.O.C. BRASIL SOBRÓ.; S. ARZOLLA; A. COBRA NETO & R.I. SILVEIRA. 1972. Fertilidade do solo (2a. ed.) Piracicaba, SP. ESALQ-USP, Depto. de Solos e Geologia. p. 37 - 47.
- MIELNICZUK, J.; A. LUDWICK & H. BOHNEN. 1969. Recomendações de adubo e cálcio para os solos e culturas do Rio Grande do Sul. UFRGS. (Bol. Téc. n^o. 2).
- MILLER, R.J.; J.T. PESEK & J.J. HANWAY. 1961. Relationship between soybean yield and concentration of phosphorus and potassium fertilizers. *Agron. j.*, 53: 393 - 396.
- MUZILLI, O. & K. IGUE. 1976. Fertilidade do Solo e adubação. *In*: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR. Manual Agropecuário para o Paraná. Londrina, 4: 104 - 151.
- MUZILLI, O.; D.S. CORDEIRO; J.B. PALHANO & C.M. BORKERT. 1977. Alternativas para recomendações de adubação da soja em sucessão ao trigo no Estado do Paraná. IAPAR. Londrina, PR. (Informe de Pesquisa n^o. 002).
- NELSON, L. & S.A. BARBER. 1964. Nutrient deficiencies in legumes for grain and forage. *In*: SPRAGE, H.B. ed., Hunger Signs in Crops. A Symposium. New York. David McKay Co. Chapter. 5p.

- NUNEZ, R. & R.J. LAIRD. 1969. Fertilidade de suelos. Parte I. Série n^o. 5 - Colégio de Post-graduados. ENA-CHAPINGO - México.
- OHLROGGE, A.J. 1963. Mineral nutrition of soybeans. *In*: NORMAN, A.G. ed., The soybean; genetics, breeding, physiology, nutrition, management. New York, Academic Press. p. 125 - 60.
- Reunião de Supervisores Regionais sobre Normas Técnicas para Culturas. 1977. ACARESC. Florianópolis, SC.
- Reunião dos Laboratórios de Fertilidade do Solo da Região Centro-Oeste. 1976. Secretaria da Agricultura do Estado de Goiás. Goiânia. (Sugestão do CPACerrado).
- SANTOS, P.R.S.; J.M. BRAGA & A.M. PONTE. 1978. Calagem e Adubação. *In*: Informe Agropecuário. EPAMIG. 4: 17 - 19.
- SHOEMAKER, H.E.; E.O. MACLEAN & P.F. PRATT. 1961. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminium. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 25: 274 - 277.
- SIQUEIRA, O.J.F. de; R.A. KOCHMANN; H.R. HARTZ; D. SCHOLLES; C.M. BORKERT & J.A. MARTINI. 1975. Redução da acidez do solo pelo efeito de doses de calcário e reflexos para o sistema de cultivo trigo x soja. *In*: SOJA - Resultados de Pesquisa obtidos em Passo Fundo em 1974/75. Volume II - III Reunião Conjunta de Pesquisa de Soja RS/SC. Porto Alegre, RS. p. 15 - 30.
- Sistemas de produção para a cultura da soja. 1977. EMBRAPA - EMBRATER. Boletim n^o. 113. Dourados, MS.
- SFREDO, G.J. 1976. Efeito das relações entre Ca^{2+} e Mg^{2+} sobre o pH, Al^{3+} , Ca^{3+} e Mg^{3+} no solo e sobre a produção de matéria seca do sorgo. (*Sorghum bicolor*). Viçosa, UFV., 61 p. (Tese de Mestrado).
- TISDALE, S.L. & W.L. NELSON. 1971. Soil Fertility and Fertilizers. New York, McMillan. p. 413 - 447.
- VOLKWEISS, S.J. & A.E. LUDWICK. 1969. O melhoramento do solo pela calagem. Porto Alegre, RS. FAV-UFRGS. 30 p. (Boletim Técnico n^o. 01).
- WEBB, J.R.; A.J. OHLROGGE & S.A. BARBER. 1954. The effect of magnesium upon the growth and the phosphorus content of soybean plants. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 18: 458 - 462.
- WIKLANDER, L. 1964. Cation and anion exchange phenomena. *In*: BEAR, F.E. ed. *Chemistry of the soil*, 2nd ed. New York, Reinhold. p. 163 - 205.
- WOODING, F.J.; G.M. PAULSEN & L.S. MURPHY. 1972. Sulphur composition of soybeans as affected by macronutrient deficiencies. *Soils and Fertilizers*, 35:5.
- WUTKE, A.C.P. 1975. Acidez. *In*: **Elementos de Pedologia**. Coordenado por Antonio C. Moniz. Ed. Poligano. p. 149 - 168.

