

Drs. Manuel Borkert.

Calagem, adubacao e nutricao
1978

LV-1984.00013



3372-1



**CALAGEM, ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO DA
CULTURA DA SOJA**

D.S. CORDEIRO

J.B. PALHANO

G.J. SFREDO

C.M. BORKERT

MAIO/1978

633.34

C141c

1978

LV
3595



CALAGEM, ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO DA
CULTURA DA SOJA

CORDEIRO, D.S., J.B.PALHANO, G.J.SFREDO, C.M.BORKERT¹

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 tecnificação, 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, em curto espaço de tempo, aumentar a produtividade da cultura que ainda é baixa em relação a outros países produtores.

A soja, como uma cultura de ciclo anual, é muito exigente em todos os macronutrientes essenciais. Estes 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 entre si na absorção.

Para que esse equilíbrio seja alcançado e mantido é necessário que certas práticas, como calagem e adubação racional, sejam realizadas. Estas práticas, têm solucionado o problema nutricional da soja em diversas regiões do país, quando embasadas num bom sistema de recomendações de adubação.

(1) Equipe de Nutrição Vegetal do CNPSoja - EMBRAPA - Londrina-PR.

Distribuído no "Vº Ciclo de Atualização em Ciências Agrárias" - Curitiba, Maio, 1978
Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Paraná.

1. ACIDEZ DO SOLO

A hipótese mais provável da origem primária da acidez do solo está ligada ao dióxido de carbono (CO_2). Isso significa que durante as transformações iniciais das rochas e do material originário, o CO_2 desempenhou papel relevante como gerador de prótons conforme mostra 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 liberam íons H^+ para a solução do solo, acidificando o meio. Esta concentração de íons H^+ é chamada acidez ativa. O conjunto de substâncias que liberam íons H^+ para a solução do solo é chamada acidez potencial, sendo constituído, na grande maioria, por compostos de ferro, alumínio, manganês e de ácidos da matéria orgânica.

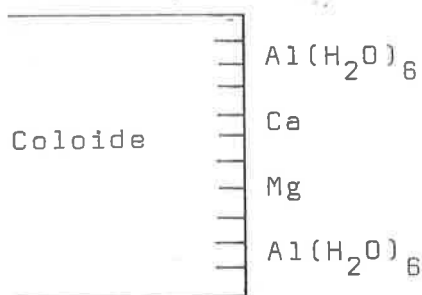
A toxidez do Al^{3+} é comumente considerada como o principal efeito pernicioso da acidez. Há indicações de que as plantas sensíveis à toxidez de alumínio (a soja enquadra-se neste grupo), desenvolvem-se satisfatoriamente em concentrações inferiores à 0,90e. mg de Al^{3+} /100g de solo (ADAMS e PEARSON,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

As raízes são afetadas nas suas funções biológicas, que tem o seu desenvolvimento atrofiado. Supõe-se que esse efeito se deva a inibição da divisão celular por ligação do Al^{3+} com ácidos nucleicos (WUTKE, 1972).

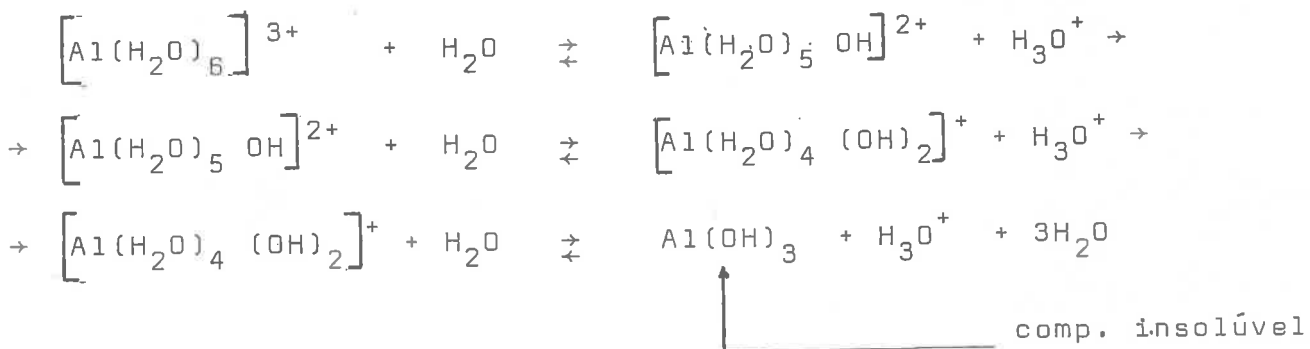
Durante o período de 1950 a 1960 conforme citam COLEMAN e THOMAS (1967), o estudo da química do solo e mineralogia relacionada ao Al^{3+} foi uma constante em muitos laboratórios. Foi

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. Estes polímeros não só ocupam a superfície externa das camadas das argilas, como também os espaços interlamelares das argilas 2:1, inibindo a sua expansão.

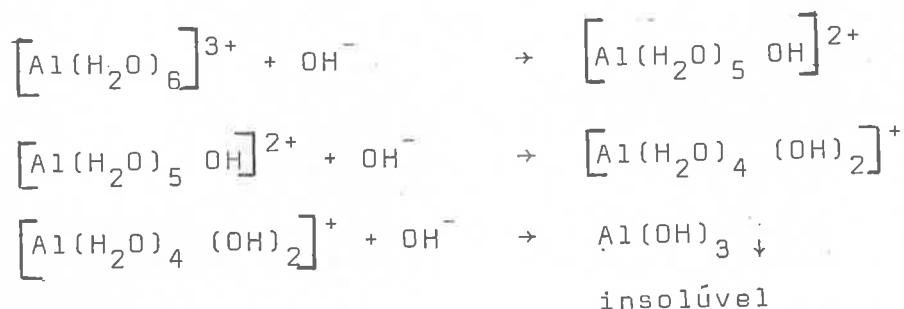
Os íons monômeros de alumínio $[Al(H_2O)_6]^{3+}$, adsorvidos dos coloides do solo ou trocáveis, predominam sobre os íons de hidrogênio nos solos ácidos, conforme se observa no esquema abaixo:



Uma vez presente no coloide, 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 mostra o esquema abaixo:



Como vimos anteriormente, a acidez do solo provem principalmente da lixiviação de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ e Na^+ entre outros) dos horizontes superficiais, que são inicialmente trocados por H^+ e posteriormente por Al^{3+} .

Nos solos do Brasil de maneira geral o Al^{3+} trocável é o cátion dominante até pH 5,0. Estudos feitos por KAMPRATH e FOY (1971) em 4 Ultissolos, indicam que o Al^{3+} constitui 50% dos cátions trocáveis quando o pH está em torno de 4,8 e a 5,1, mas somente 10% quando o pH elevou-se para 5,3 a 5,7. Diz o mesmo autor que os pontos ativos de permuta no colóide, em solos ácidos até pH 5,0 ou menos, são saturados primeiramente com Al^{3+} . Entre pH 5 a 6 os cátions básicos ocupam até 90% dos pontos de troca.

A simples medida do pH ou dos teores de Al^{3+} trocável do solo parecem 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:

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

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

Além do alumínio em solos ácidos outros fatores tem afetado o crescimento das plantas. Entre os principais destacam-se: a toxidez de manganês e deficiência de magnésio, de cálcio, de fósforo e de molibdênio. GUPTA et alii (1970) verificaram que as maiores concentrações de manganês na planta ocorre em um pH de 4,4 a 5,0 e a menor concentração em pH 6,2 a 6,4. No Brasil muitas análises para o teor de manganês em solos foram realizados. WOLKWEISS e LUDWICK (1969) BORKERT (1973) sugerem que teores superiores a 20-25 ppm de Mn nos solos do RS, indicam que há toxidez para muitas culturas.

Muito embora os sintomas de toxidez de manganês manifestem-se em concentrações entre 200 e 500 ppm na folha, no período da floração, a relação entre o teor de cálcio e manganês (Ca/Mn) será 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 dos experimentos realizados por BORKERT (1973), FREIRE e VIDOR (1974) e SIQUEIRA et alii (1975) em solos do planalto Riograndense, demonstrando os efeitos da acidez do solo tanto na nodulação como na produção da soja.

1.1 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,

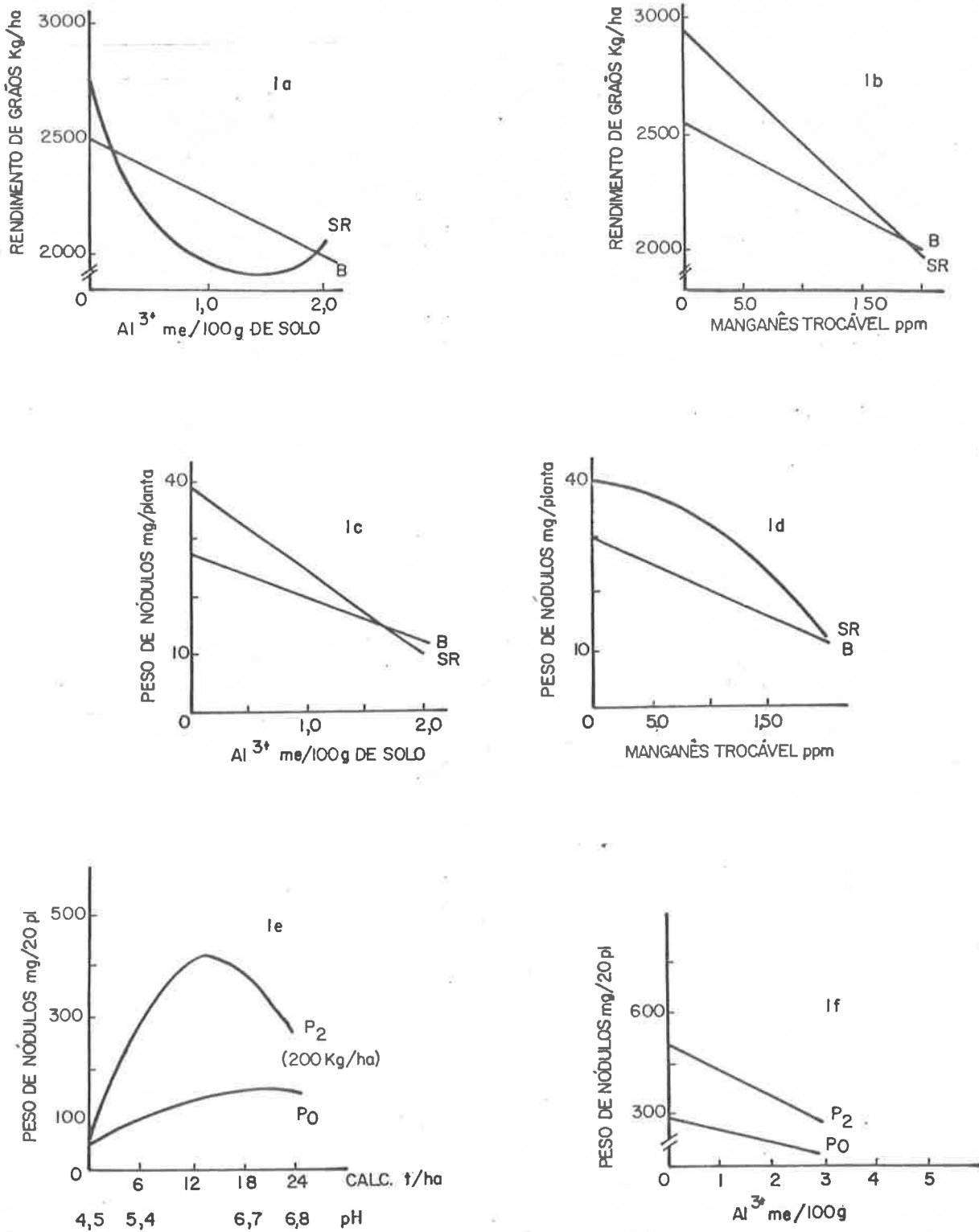
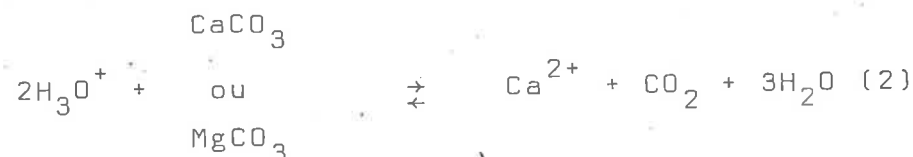
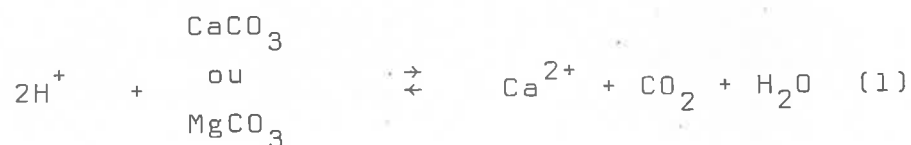


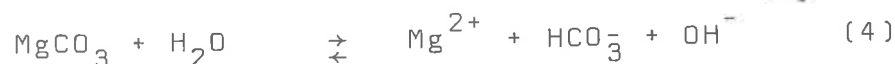
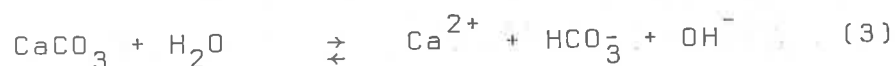
FIGURA 1 - Efeitos da acidez do solo, na produção e no peso de nódulos de duas cultivares de soja (B - Bienville, SR-Santa Rosa) - 1a, 1b, 1c, e 1d, BORKERT (1973), e em dois níveis de P_{25} aplicado, 1e e 1f, FREIRE & VIDOR (1974) no oxissolo Santo Angelo a campo.

carbonato de cálcio (CaCO₃) ou carbonato de magnésio (MgCO₃) ou dois neutralizantes juntos, como é o caso da dolomita, teríamos uma série de reações representadas pelas expressões:

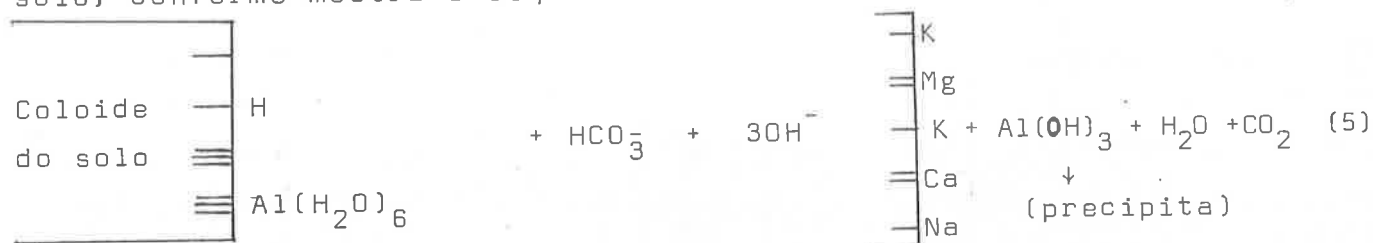


Vê-se pelas reações (1) e (2) que 4 prótons foram inativados pela adição de CaCO₃ e/ou MgCO₃.

Considerando-se que com o decorrer do tempo, a Ca.Mg(CO₃)₂, (dolomita) vai tornando-se gradativamente solúvel, conforme mostra as seguintes expressões:



Alcançado o equilíbrio, para que esta reação continue é necessário que os ânions HCO₃⁻ 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 HCO₃⁻ ou OH⁻, que desloca os prótons presos aos colóides do solo. Os cátions Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, NH₄⁺ ... etc., toman o lugar de troca antes ocupado pelos H⁺ e Al³⁺.

1.2 CALAGEM

É o termo usado em agricultura que indica, a adição ao solo de materiais que sejam capazes de neutralizar a acidez do mesmo. Empregam-se substâncias que contenham Ca^{2+} ou $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ pelos seguintes motivos (LYON e BUCKMANN, 1958 e MELLO et alli, 1972):

a) Em regiões úmidas, o Ca^{2+} e Mg^{2+} são os cátions predominantes nos solos, portanto se perdem em maiores proporções. Seu suprimento deve ser restituído.

b) Os materiais contendo Ca^{2+} e Mg^{2+} são relativamente abundantes, de ocorrência generalizada, de fácil extração e baratos.

c) São eficientes na neutralização da acidez do solo e da toxidez do alumínio e do manganês, não tem efeitos prejudiciais sobre as propriedades físicas e se empregados nas quantidades adequadas não são tóxicos às plantas ou aos microorganismos.

d) Aumentam a disponibilidade dos nutrientes essenciais com exceção ao Ferro, Cobre, Manganês e Zinco.

e) A maioria das plantas superiores, e os microorganismos estão invariavelmente adaptadas a um regime cálcico. O uso de potássio é caro e o sódio provocaria um estado físico (dispersão) não desejável, além de não serem cátions dominantes nas interfases coloidais.

Além dos fatores citados pode-se incluir, entre outros, mais três aspectos muito importantes decorrentes da elevação do pH:

1) Menor fixação do fósforo aplicado e, por conseguinte, um 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 disponibi



lidade de diversos nutrientes, como: nitrogênio, enxôfre, fósforo e potássio, etc.

3) Melhores condições para as bactérias fixadoras de nitrogênio.

1.2.1 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 magnésio. O poder neutralizante relativo 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.

Diversos são os fatores que devemos considerar num corretivo:

1.2.1.1 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, e o seu valor é considerado igual a 100%. As substâncias empregadas como corretivos, geralmente apresentam diferentes pesos moleculares, portanto, os valores de neutralização também serão diferentes. Para transformar outras substâncias em equivalentes de CaCO_3 , usa-se os dados apresentados na tabela 1. A tabela 1 é bastante útil, principalmente quando se observa que toda a recomendação de calcário é baseada em equivalentes de CaCO_3 .

Dessa forma, quando se tem a análise de um material expressa em uma ou mais substâncias mencionadas e se deseja formar

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

$\text{CaO} = 20 \%$

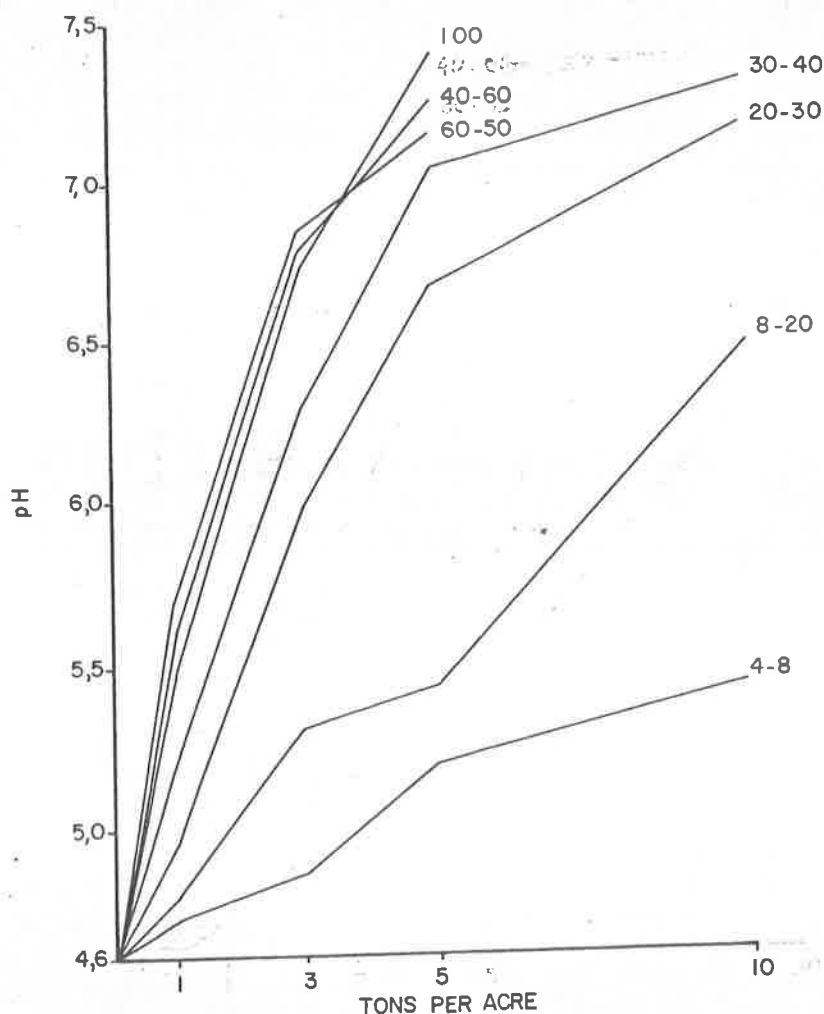
$\text{MgO} = 16 \%$ usando-se os índices da tabela acima verifica-se que:
 $\% \text{ de CaO (20\%)} \times 1,79 + \% \text{ de MgO (16\%)} \times 2,5 =$
 $= 35,8 + 40 = 75,8\% \text{ equivalente de } \text{CaCO}_3 \text{ (Valor neutralizante).}$

1.2.1.2 Eficiência relativa (grau de finura):

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

CAMARGO (1972), avaliando 7 diferentes tamanhos de partículas de 2 calcários e 1 escória em dois latossolos vermelho escuro orto em São Paulo, observou que quanto mais finas as partículas, mais rápida é a elevação do pH, e maiores são os teores de Ca^{2+} + Mg^{2+} e menores os de alumínio.

Os resultados de um ensaio em laboratório de MEYER e WOLK (1952), ilustrado na figura 2, mostra com clareza o efeito da granulometria de um calcário dolomítico no pH do solo.



2
Figura 2 - Efeitos da quantidade e granulometria de um calcário dolomítico no pH de um solo barro-siltoso, medindo-se após 18 meses da aplicação (MEYER & WOLK, 1952).

A tabela 2 expressa a relação existente entre o tamanho do material com a percentagem de eficiência alcançada em um ano:

TABELA 2 - Eficiência relativa de partículas de calcário, após um ano de aplicação (NUNES e LAIRD, 1969).

TAMANHO DE PARTÍCULAS	EFICIÊNCIA %
> 60 malhas/pol.	100
20 - 60 malhas/pol.	60
08 - 20 malhas/pol.	20
< 08 malhas/pol.	0

Mesma tabela é apresentada por WOLKWEISS e LUDWICK (1969) no Rio Grande do Sul, mas os 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 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 denomina-se de PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total). Este valor nos dá segundo WOLKWEISS e LUDWICK (1969) e ação do calcário sobre a acidez do solo num período de três anos aproximadamente.

Para o cálculo do PRNT, conjuga-se o valor de neutralização com a distribuição do tamanho das partículas do corretivo. A sua eficiência total é calculada a partir da fórmula (WOLKWEISS e LUDWICK, 1969).

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

Suponhamos que os dados de um calcário são:

Análise dos teores de Ca e Mg

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 calculamos o equivalente químico e pela tabela 2 a eficiência relativa:

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

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

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

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%

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

100

O PRNT, além de nos dar o poder relativo da correção da acidez de um calcário, permite-nos melhor escolha quanto ao custo do material e relacioná-lo com o transporte. Numa decisão de compra deve ser calculado o preço/tonelada de calcário efetivo (PRNT). Para exemplificar tomemos dois calcários:

PRODUTO	PRNT	Cr\$ ton. (incluindo transporte)
A	90	250,00
B	70	200,00

Calcário A:

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

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, além de apresentar melhor PRNT, apresenta-se mais barato do que o calcário B.

1.2.2 RELAÇÃO Ca/Mg NO MATERIAL 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 material calcário. Os calcários dolomíticos reagem geralmente mais vagorosamente que outros materiais como nos mostra BEACHER *et alii* (1962): quando um calcário calcítico tiver partículas que passam na peneira de 200 mesh sua eficiência é de 99% enquanto no dolomítico é de apenas 60%.

Essa teoria foi em parte contestada por SFREDDO (1976); que usando três solos de Santa Catarina, incubados durante 60 dias, mostrou uma reação mais rápida do $Mg CO_3$. Pois sempre que se aplicava mais deste composto, maior era o pH e menor o teor de Al^{3+} trocável. Apesar disso, o mesmo autor, mostra que quanto maior o teor de Mg nos equilíbrios usados, menor era a produção de matéria seca do sorgo.

Muitos pesquisadores tentaram encontrar um equilíbrio ótimo na relação Ca/Mg, no material calcário, porém, sabe-se, que dependendo da cultura, a resposta ao calcário calcítico e dolomítico é diferente como mostra o Quadro 1:

QUADRO 1 - Efeito do tamanho e tipo de calcário sobre a matéria seca da parte aérea do Trevo e alfafa.

Tamanho das partículas (Mesh)	Produção em g da matéria seca			
	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 alii (1962).

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

BESEDIN (1966), em experimentos com vasos, encontrou que as melhores relações entre Ca e Mg absorvidos pelo milheto foram de 4:1 e 1:2.

SFREDO (1976), encontrou que quando se usa a recomendação baseada no Al^{3+} trocável vezes dois, o melhor equilíbrio é de 3:1 (Ca/mg em e.mg) ou 4:1 (% CaO/% MgO no material calcário). Porém quando se usa Al^{3+} vezes três, as relações foram sempre maiores que 3:1. Em relações menores o Magnésio poderia atuar fitotóxicamente sobre o sorgo.

Portanto, como se vê, sempre deve-se tomar cuidado na recomendação da calagem, no que diz respeito ao equilíbrio entre Ca e Mg, para que não se tenha falta ou excesso de um ou outro nutriente.

Recomenda-se pois, que se use uma relação de 4:1 até 7:1 entre % CaO e % MgO do material calcário para que se possa

atingir no solo um equilíbrio de 2:1 entre Ca e Mg (e.mg/100g) , como o encontrado por SFREDO (1976) para a produção máxima de matéria seca do sorgo.

1.2.3 INCORPORAÇÃO DO CALCÁRIO

Para que o calcário possa neutralizar os efeitos da acidez do solo é necessário que haja solubilização. Entretanto em virtude de sua origem sedimentar e o do processo de obtenção, esta solubilização limita alguns aspectos da sua aplicação:

- a) sua aplicação deve ser pelo menos, três meses antes do plantio.
- b) A recomendação da quantidade de calcário é prevista para a incorporação numa profundidade de mais ou menos 20 cm. Para que esta incorporação seja uniforme, recomenda-se aplicar a metade antes da aração e metade na 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 o da planta que consiga lançar raízes em camadas mais profundas do mesmo.

1.2.4 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM

A necessidade de calagem pode ser determinada por diversos métodos. Dentre eles, pode-se citar dois, que são os mais utilizados na região sul do país.

- Neutralização do alumínio trocável

A adição de calcário ao solo pode ter como objetivo e

eliminar apenas os íons monômeros de alumínio adsorvidos ou alumínio trocável (KAMPRATH, 1967 e 1970) ou reduzir a % de saturação de alumínio a menos de 20%. A extração 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 deficiências das plantas nesses nutrientes. Desta maneira o pH ficaria entre 5,5 e 5,7, valor em que o alumínio trocável é neutralizado.

- Método S.M.P. (SHOEMAKER, McLEAN e PRATT, 1961)

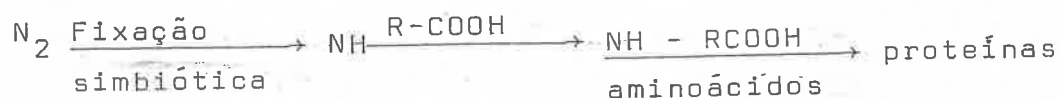
Este método usa uma solução tamponada a pH 7,5 que é colocada em contato com o solo. Devido a reação com os ácidos do solo, o pH da solução SMP sofre uma depressão. A necessidade de calcário é então avaliada por esta depressão do pH da solução SMP, por meio de uma tabela especial.

2. FIXAÇÃO SIMBIÓTICA DO NITROGÊNIO

O nitrogênio é um macronutriente essencial às plantas, porque é um constituinte das proteínas, de ácido nucleico e de outras substâncias imprescindíveis à vida vegetal. O nitrogênio elementar apresenta-se na forma de molécula diatômica ($:N::N:$). É uma molécula relativamente inerte, a temperatura abaixo de 50°C , o que explica, até certo ponto, a impossibilidade dos vegetais e da maioria dos seres vivos utilizarem o nitrogênio da atmosfera como fonte direta para a sua nutrição. Os vegetais superiores absorvem o nitrogênio do solo nas formas nítrica (NO_3^-) e amoniacal (NH_4^+) convertendo-as em proteínas e outros compostos nitrogenados orgânicos.

A possibilidade de obtenção de nitrogênio do ar através da fixação simbiótica, é uma das principais vantagens no seu uso pelo homem para grãos e pastagens. Entretanto, esta vantagem somente será efetiva se houver um bom funcionamento da simbiose.

A bactéria que produz os nódulos nas leguminosas pertence ao gênero *Rhizobium*. Esta bactéria é somente ^{efetiva} em fixar nitrogênio atmosférico em simbiose com a planta. O nitrogênio do ar (N_2) no solo, penetra nas paredes dos nódulos (tecido cortical) e é fixado, isto é, transformado em amônia pela ação de uma enzima chamada "nitrogenase". A planta através da fotossíntese, fornece carboidratos às bactérias, e estas, por sua vez, fornecem compostos nitrogenados orgânicos, que são transportados através do xilema para o tecido das plantas hospedeiras (EPSTEIN, 1972). A bioquímica do processo de fixação do nitrogênio é complexa. A expressão abaixo, esquematiza o fenômeno:



A maior parte do nitrogênio necessário para o desenvolvimento e produção da soja (nas produções atuais) pode ser suprida pelos nódulos. Há, na verdade, trabalhos experimentais que indicam que todo o nitrogênio pode ser fornecido pela fixação simbiótica. Entretanto, como o solo em geral dispõe de algum nitrogênio fornecido pela mineralização da matéria orgânica, a quantidade de nitrogênio fixada do ar vai representar a diferença entre o disponível no solo e a quantidade total que a planta necessita para o crescimento e produção de grãos (FREIRE e VIDOR, 1974).

HANSON (dados não publicados), calculou que para a produção de 1.000 kg de grãos, há uma necessidade total de 82,2 kg de N. E deste total, cerca de 66% é exportado da lavoura através da colheita do grão.

Considerando-se o preço da tonelada de uréia em torno de Cr\$ 4.500,00 cada kg de N custará:

100 kg de uréia \longrightarrow 45 kg de N

1000 kg de uréia \longrightarrow 450 kg de N

$$1 \text{ kg de N} = \frac{4.500}{450} = \text{Cr\$ } 10,00$$

Para se produzir 2.200 kg de grãos/ha, que a média do Estado do Paraná, serão necessários 181 kg de N, ou seja, um custo adicional de Cr\$ 1.810,00/ha.

Após esse raciocínio, torna-se desnecessário tecer qualquer comentário a respeito das vantagens da inoculação das sementes de soja, para obter-se uma eficiente fixação do nitrogênio do ar.

3. FÓSFORO NO SOLO

O fósforo no solo encontra-se fazendo parte de dois tipos de compostos: mineral e orgânico. O fósforo mineral

sendo 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 apresentam esta relação menor que 200:1, indicam que o processo está ocorrendo. Por outro lado, quando esta relação é maior que 300:1, o processo de imobilização do fósforo pelos microorganismos é acentuado.

Os fosfatos inorgânicos, formados quase que exclusivamente por sais ácido orto-fosfórico, podem ser classificados como flúor, oxí e hidroxí-fosfatos de ferro, de alumínio, de cálcio, de titânio, de magnésio e de manganês (HEMWALL, 1957). Nestas 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).

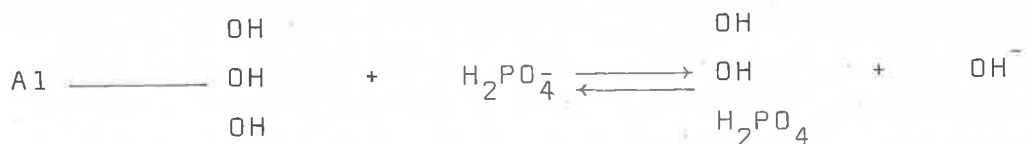
Quando se adiciona fósforo ao solo, o elemento pode tomar as seguintes formas: Fósforo solúvel em água, ligado ao alumínio, ferro, cálcio e fósforo ligado a formas orgânicas, e ainda uma outra forma, o fósforo ocluso, ou solúvel em redutor.

De maneira geral, nos solos ácidos, a reação do fósforo solúvel (adicionado) com compostos de ferro e alumínio é responsável pela baixa solubilidade e reduzida disponibilidade do fósforo para as plantas. HEHWALL (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:

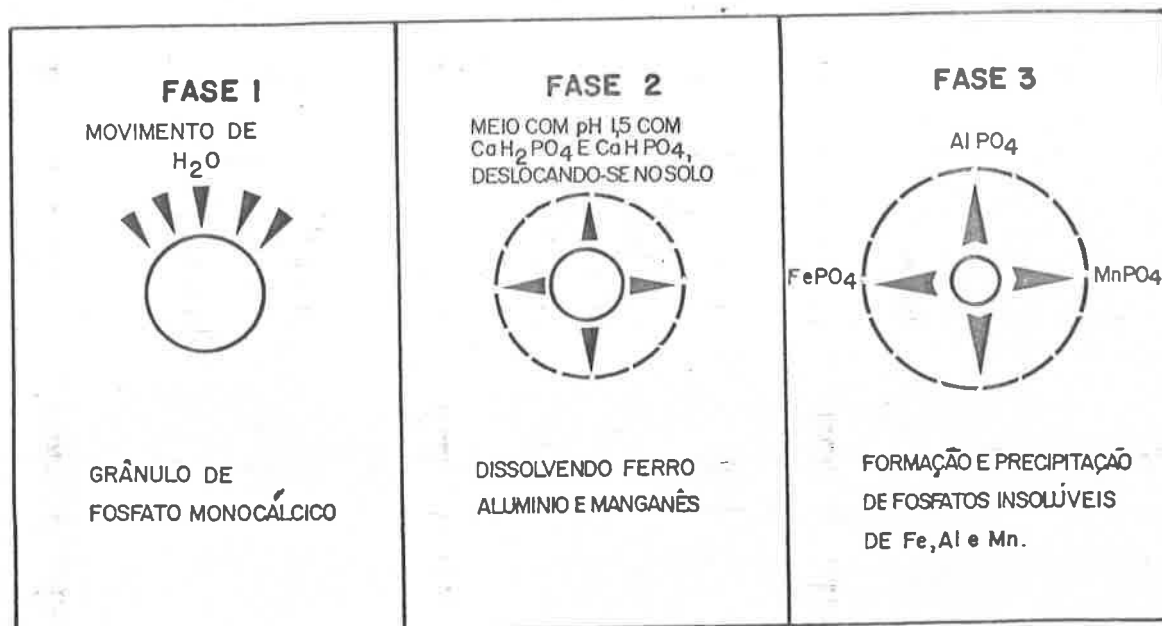


Consideremos um alumínio da estrutura do mineral de argila.



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

O diagrama abaixo segundo TISDALE e NELSON (1971) apresenta 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).



3.1 NA PLANTA

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

O ATP é necessário para a fotossíntese, respiração, síntese de aminoácidos, de proteínas e de 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 e 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.

3.2 ADUBAÇÃO FOSFATADA

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

O Quadro 2, 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.

QUADRO 2 - Exigências nutricionais da soja em relação a nitrogênio, fósforo e potássio.

RENDIMENTO DE GRÃOS	EXPORTADA NO GRÃO			NA PLANTA ACIMA DO SOLO Grão + Folha + Caule		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	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

HANSON, R.G., & BORKERT, C.M., (1976 - Dados não publicados). CNPSoja - EMBRAPA

Entretanto, sabe-se 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, com 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.

Diversos extratores têm sido estudados, procurando o ajustamento dessa equação. Alguns dos mais usados são: Carolina do Norte, Olsen, Bray e Kurtz modificado, Bray P₂.

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.

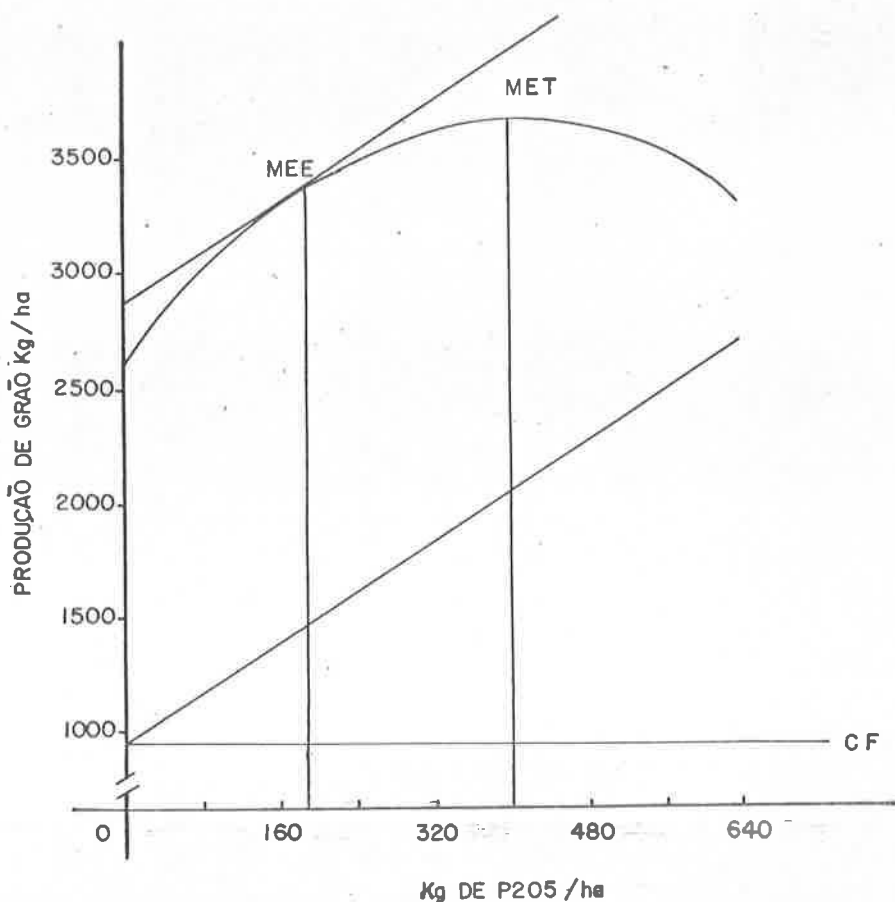


FIGURA 3 - Relação entre o fósforo adicionado ao solo e o rendimento de grãos. Pontos de Máxima Eficiência Econômica (MEE) e Máxima Eficiência Técnica (MET) .

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 e MIELNICZUK (1975) chamam a atenção para a interpretação errônea dos teores de fósforo no solo, quando 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 as diferenças do P "disponível no solo, em função da fonte de fósforo aplicada, quando se usa soluções de ácidos fortes como extratores de P. Estes dados estão apresentados no Quadro 3.

QUADRO 3 - Efeito de três fontes de fósforo sobre sua disponibilidade no solo e resposta em rendimento em grãos de soja. CNPSoja, 1975/76.

Tratamentos		Fósforo disponível	Rendimento	Rendimento
Fonte de Fósforo	níveis	no solo ^{1/}	de grãos	relativo
	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).

FEITOSA e RAIJ (1976) em solos do Estado de São Paulo, incubados com diferentes fontes de fósforo, determinaram que extração com NaHCO_3 0,5N pH 8,5 (Método de Olsen) discrimina melhor os teores de fósforo entre os adubos.

Outro fator a considerar na adubação fosfatada é o emprego da adubação de correção e ou de manutenção. Endende-se por adubação de correção a um teor X de fertilizante fosfatado, colocado a lãço e incorporado ao solo, para criar condições favoráveis de nutrição dentro de um sistema racional (MIELNICZUK et alli, 1969). E por manutenção, a adubação na linha de plantio. A adubação de manutenção é variável com a cultura e é calculada, aproximadamente nas quantidades necessárias para repor, ao solo, os nutrientes retirados pelas colheitas.

Algumas dúvidas têm surgido no emprego da adubação de correção, principalmente ao que se refere ao custo operacional, ao teor e a fonte a ser empregada.

A adubação quando efetuada apenas na linha de plantio, aplicada em quantidades superiores às de manutenção, tem apresentando boas respostas, sendo a mais frequentemente usada no Estado do Paraná e em muitas regiões do país.

O Quadro 4, transcrito de GOEPFERT (1974) exemplifica melhor a questão.

4. POTÁSSIO

Absorvido pelas plantas na forma de K^+ , o potássio é o cátion predominante nas células vegetais. É comum a alimentação de luxo, isto é, o aumento do teor de K^+ nos tecidos não é acompanhado por um aumento na produção.

Fertilizantes potássicos na forma de KCl adicionados ao solo são 100% solúveis em água. Este potássio solúvel

QUADRO 4: Efeito da aplicação de doses de adubos fosfatados (três fontes) como adubação de "correção e de "manutenção" sobre o rendimento das culturas de trigo e soja. Média de 4 repetições.

Adubos	Adubação de Correção ¹		Adubação de Manutenção ²		kgP ₂ O ₅ total/ha						
	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja					
	kgP ₂ O ₅ /ha										
	0	100	200	0	100	200					
SFTriplo	0	643	2578	3408	3403	648	1825	1566	2168	3382	3345
	100	730	3157	3782	3816	545	1448	1699	2277	3420	3422
	200	706	3578	3914	3667	717	1574	1601	2661	3290	3627
Hiperfosfato	0	441	2595	3503	3858	703	1390	1334	2279	3614	3603
	100	534	3272	3357	3846	599	1288	1386	2346	3338	3490
	200	552	3513	3003	3583	1060	1239	1444	3088	3690	3523
Fosf. Jacupiranga	0	299	2235	2206	2393	591	525	659	2044	2182	2044
	100	389	2405	2215	2567	503	578	531	1933	1994	1951
	200	307	2458	2182	2182	603	698	560	1757	2197	2261

¹Doses aplicadas no 1º cultivo (trigo). (kg P₂O₅ total/ha)

²Doses reaplicadas em cada cultivo (trigo e soja).

equilibra-se com os cátions trocáveis presentes no solo, e 95% na maioria dos solos torna-se prontamente disponível às plantas.

Com o decorrer do tempo parte do potássio é "capturado" entre as camadas das argilas, tornando-se muito pouco disponível para as plantas, nesta forma é chamado de potássio "fixado". A quantidade fixada depende muito do tipo de argila presente no solo. Illitas, vermiculitas e clorita fixam o potássio; montmorilornitas e caolinitas usualmente não o fazem (BARBER et alli, 1971).

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 e BORKERT (dados não publicados) e CORDEIRO (1977), em condições brasileiras, calcularam que são necessários 20,2 kg de K_2O (16,8 kg de K) para produzir 1000 kg de grãos de soja quantidade esta que é retirada pelos grãos. Por outro lado, no desenvolvimento de uma lavoura de soja, a cada 1000 kg de grãos produzidos as plantas extraem do solo 37,5kg de K_2O . A diferença de 17,3 kg de K_2O , é o teor presente nas folhas, pecíolos e caules que retorna do 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, se observa que é retirado do solo aproximadamente 45 kg de K_2O por ha. Esta 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.

5. CÁLCIO E MAGNÉSIO

EPSTEIN (1975), atribui como uma das funções do

cálcio, a da manutenção da integridade da membrana plasmática e consequente seletividade de íons por essa membrana, por isso, a carência dos Ca pode tornar tóxicos outros íons presentes, devido à quebra da integridade desta 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 Mg, na planta se refere à constituição da clorofila e 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 Mg e Ca e entre Mg e K, resultando em que o excesso de um diminua a absorção do outro.

Portanto, deve-se manter um equilíbrio ótimo no solo entre Ca, Mg e K para que o excesso ou carência de um não afete a absorção de outro. 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/100g solo) no solo, para se atingir a produção máxima de matéria seca do sorgo, com os valores absolutos entre 4 e 13 e.mg Ca/100 g de solo e entre 4 e 8 e.mg/100g de solo, dependendo do tipo de solo usado.

As recomendações quanto à adição do Ca e Mg ao solo para se atingir estas relações encontram-se no item calagem, discutido anteriormente.

6. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE ANÁLISE

A interpretação dada aos resultados das análises de solos aqui apresentadas, são as adotadas pelo Laboratório

de Análises de Solo do IAPAR (MUZILLI e IGUE, 1976).

6.1 CÁLCIO E MAGNÉSIO

Alguns laboratórios costumam proceder a determinação de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ trocável juntos, ao invés de cada elemento em separado. Neste 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

6.2 POTÁSSIO TROCÁVEL

Os "níveis padrão" de K^+ trocável depende da calibração de análises feitas para diferentes tipos de solo e para cada cultura através da experimentação de 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

6.3 FÓSFORO SOLÚVEL

As análises para fósforo solúvel são feitas usando-se uma solução extratora a 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 condição de trabalhos experimentais, com o objetivo de calibração dos índices analíticos tanto para o método de análises adotado, como para os diferentes tipos de solo e cultura.

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.

6.4 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

Porcentagem de saturação de Alumínio trocável ^{1/}

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

1/ A tolerância ao alumínio pode variar de espécie e mesmo entre cultivares de uma mesma espécie.

6.5 pH DO SOLO

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

6.6 ALUMÍNIO TROCÁVEL

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

6.7 CÁLCIO TROCÁVEL

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

6.8 MAGNÉSIO TROCÁVEL

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

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

Antes de descrever alguns aspectos inerentes a absorção de nutrientes pela soja em função do seu ciclo, é necessário que se acrescentem algumas considerações a respeito da sua curva de crescimento. A Fig. 4 mostra através da análise de regressão os pontos de máximo acúmulo e ponto de inflexão do peso da matéria seca de plantas de soja (Cultivar IAC-2) em função da idade. Nota-se que o ponto de inflexão calculado (idade da planta onde o crescimento é acelerado) ocorre aos 61 dias, e o ponto de maior acúmulo de matéria seca aos 96 dias de idade. Deve-se considerar neste caso, que as observações foram feitas em cultivar de hábito de cresci

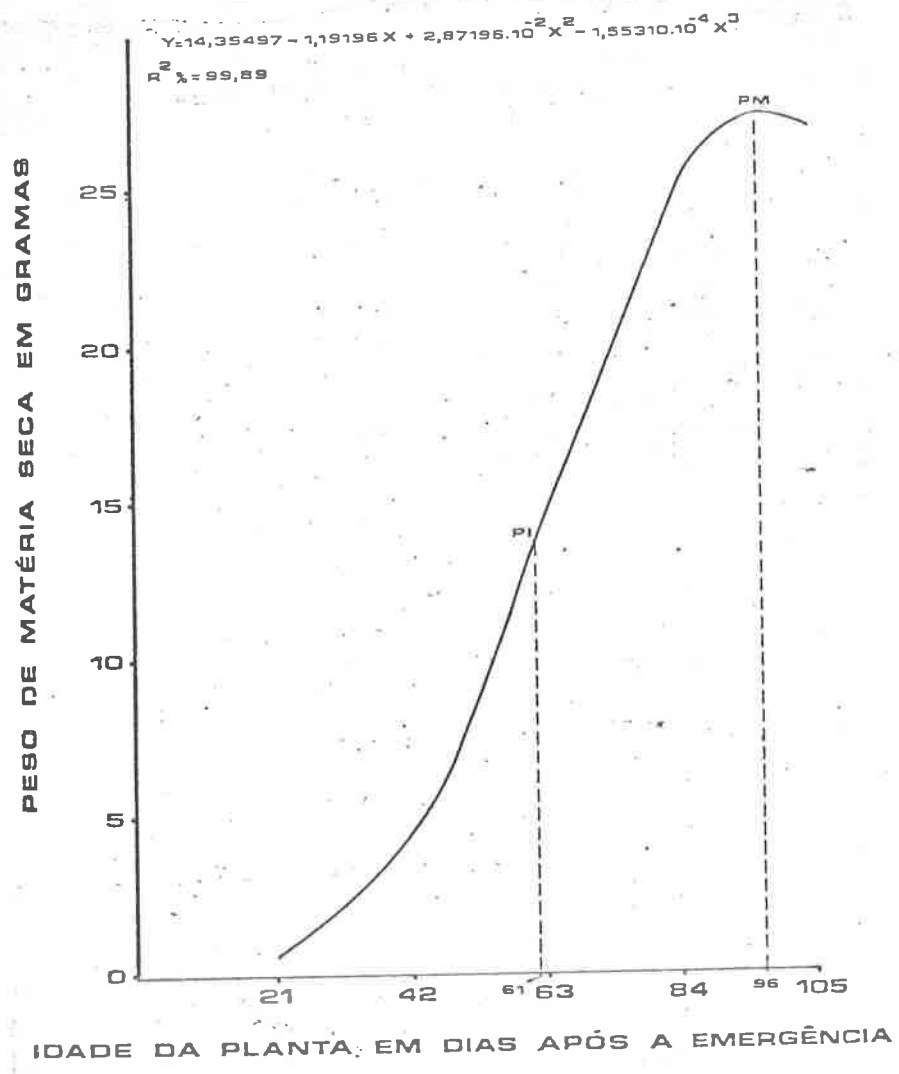


FIGURA 4 . Pontos de máximo acúmulo e ponto de inflexão do peso da matéria seca de plantas de soja (Cultivar IAC-2, de hábito de crescimento i_r determinado) em função da idade (Extraído de CORDEIRO, 1977).

mento indeterminado. Em planta de hábito de crescimento determinado onde o crescimento cessa no estágio do florescimento, estima-se que os pontos acima referidos devem assumir outras posições na curva.

de MOOY et alli (1973) diz que a composição química da planta de soja e a proporção de grãos para as partes vegetativas e raízes produzidas, variam com a latitude, tipo de solo, condições ambientais e cultivar. A informação dada por de Mooy talvez explique as diferenças encontradas em relação ao ponto de máximo acúmulo encontrado por HENDERSON e KAMPRATH (1970) — aos 110-120 dias, 60 a 80 dias por MASCARENHAS (1972) e 96 dias de idade por CORDEIRO (1977).

Ainda pela Fig. 4 pode-se observar que na cultivar estudada o intervalo entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo acúmulo de matéria seca é de 35 dias. Este período coincide justamente com o início da floração e do enchimento de grãos, sendo portanto, o "período crítico" da cultura, onde fatores adultos como: estiagem, carência nutricional, ataque de pragas, doenças ... etc.), podem reduzir drasticamente a produção de grãos.

7.1 ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO

A absorção de nitrogênio medida pelo acúmulo nas folhas e caules de soja, conforme a Fig. 5, é crescente, até atingir o ponto de máximo acúmulo aos 87 dias para os caules e 83 dias para as folhas. Nas folhas, o maior acúmulo, de nitrogênio atinge um valor de 382,78mg/planta. A partir desse ponto, a quantidade decresce para 171,75mg/planta em torno de 105 dias de idade, devido a translocação do nutriente para os grãos em formação. A maior velocidade de absorção ocorre aos 53 dias, correspondendo do ponto de inflexão da curva. Nessa época, a quantidade extraída corresponde a 198,59mg de nitro

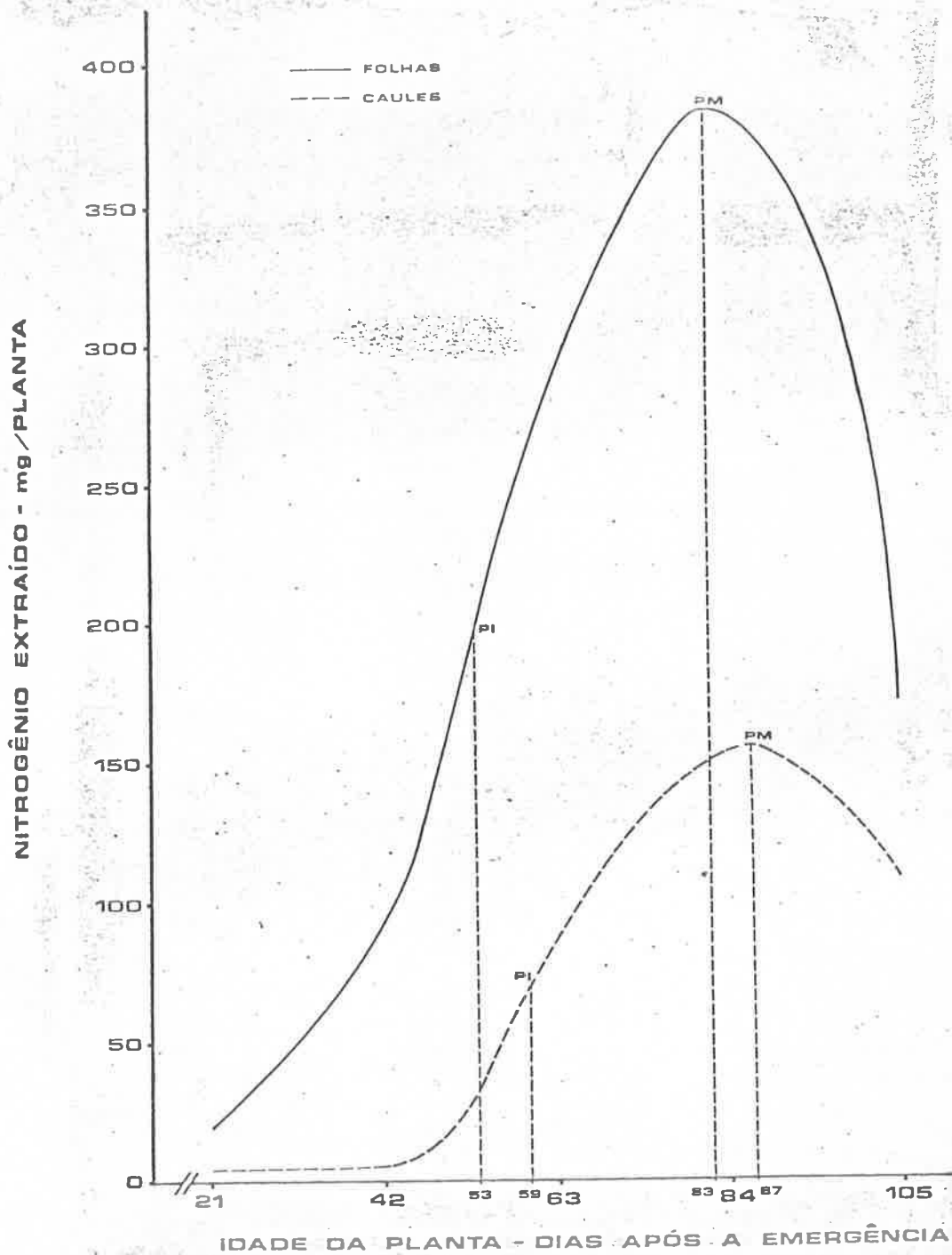


FIGURA 5. Pontos de máxima e de inflexão da extração de nitrogênio, pelas folhas e caules de soja (Cultivar IAC-2, de hábito de crescimento indeterminado) em função da idade da planta (Extraído de CORDEIRO, 1977).

gênio, ou seja 51,88% da quantidade máxima calculada. Os pontos de máximo acúmulo encontrados, confirmam inúmeras investigações anteriores, entre elas, os trabalhos de HENDERSON e KAMPRATH (1970), HANWAY e WEBER (1971) e MASCARENHAS (1972).

Pelos resultados obtidos, vê-se que o período de 30 dias (diferença entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo acúmulo) a planta extrai em torno de 50% das suas necessidades em nitrogênio, enquanto que os outros 50% são absorvidos da emergência ao ponto de inflexão, em 53 dias. Estes dados indicam claramente que o suprimento de nitrogênio para a planta deve estar a sua disposição a partir dos 40 dias (após a emergência) de idade.

7.2 ABSORÇÃO DE FÓSFORO

A extração de fósforo medida através do acúmulo nas folhas de soja, como mostra a Fig. 6, é relativamente lenta até os 52 dias (Pontos de inflexão da curva) correspondendo a uma quantidade de 14,0mg de fósforo ou seja 51,50 % do total extraído. O ponto de máximo acúmulo ocorreu aos 82 dias de idade com valores de 27,4mg de fósforo.

O acúmulo de fósforo nas folhas, segue um esquema semelhante ao da matéria seca, isto é, a absorção inicial lenta vai crescendo mais rapidamente até o início do enchimento do grão, o que concorda com HANWAY e WEBER (1971). Semelhante ao nitrogênio o "período crítico" para o fósforo na cultivar estudada foi de 30 dias, indicando que o suprimento do nutriente deve estar disponível em torno dos 40 dias (após a emergência) de idade da planta.

7.3 ABSORÇÃO DE POTÁSSIO

O comportamento das folhas de soja na cultivar es

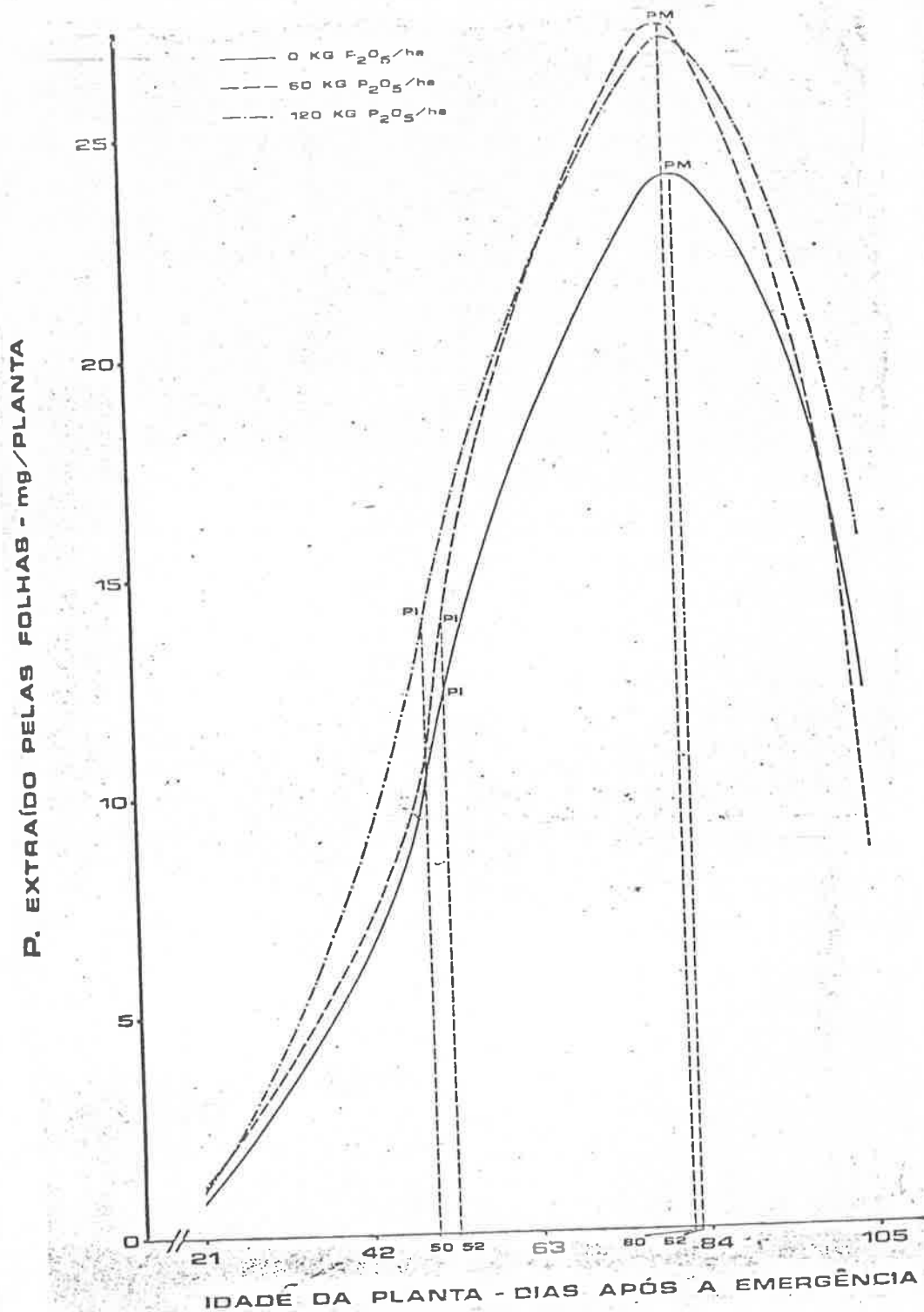


FIGURA 6. Pontos de máxima e de inflexão da extração de fósforo pelas folhas de soja (Cultivar IAC-2, de hábito de crescimento indeterminado) em função da idade da planta nas três doses de fósforo aplicadas (Extraído de CORDEIRO, 1977).

tudada em relação ao acúmulo de potássio, conforme a Fig. 7, é influenciado pelas doses de fósforo aplicadas ao solo. O ponto de inflexão na curva de absorção influenciada pela dose de 120 kg de P_2O_5 /ha calculado aos 44 dias de idade, enquanto que o ponto de máximo acúmulo aos 80 dias de idade da planta. A diferença de 36 dias entre os dois pontos indica o "período crítico" de absorção de potássio pela planta. Cumpre salientar que a extração de potássio foi mais intensa durante o ciclo da planta, quando esta, esteve submetida ao maior tratamento de fósforo no solo.

MILLER et alli (1961) encontraram altas correlações entre as concentrações de fósforo e potássio nas folhas e caules de soja. Verificaram, os autores que quanto mais elevado o teor de fósforo nas folhas, maior teor de potássio era encontrado nas mesmas. Observaram, também que o teor de potássio nas folhas, estava intimamente relacionado com a produção de grãos. No trabalho de onde provem estes resultados (CORDEIRO, 1977), os teores de potássio no tecido da planta não tiveram nenhum efeito na produção de grãos, logo, o que se observa devido a este fato, é que a dose mais elevada de fósforo no solo proporcionou um "Consumo de luxo" de potássio pela planta.

7.4 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 e 60 kg de P_2O_5 /ha. A dose de 120 kg de P_2O_5 /ha antecipou o ponto de inflexão calculado para 51 dias de idade da planta. Durante esse período (emergência até o ponto onde a absorção é acelerada), as plantas, independentemente, dos tratamentos com fósforo utilizados, já tinham absorvido 50% da quantidade acumulada nas folhas. Um fato que deve ser ressaltado, é que as folhas das

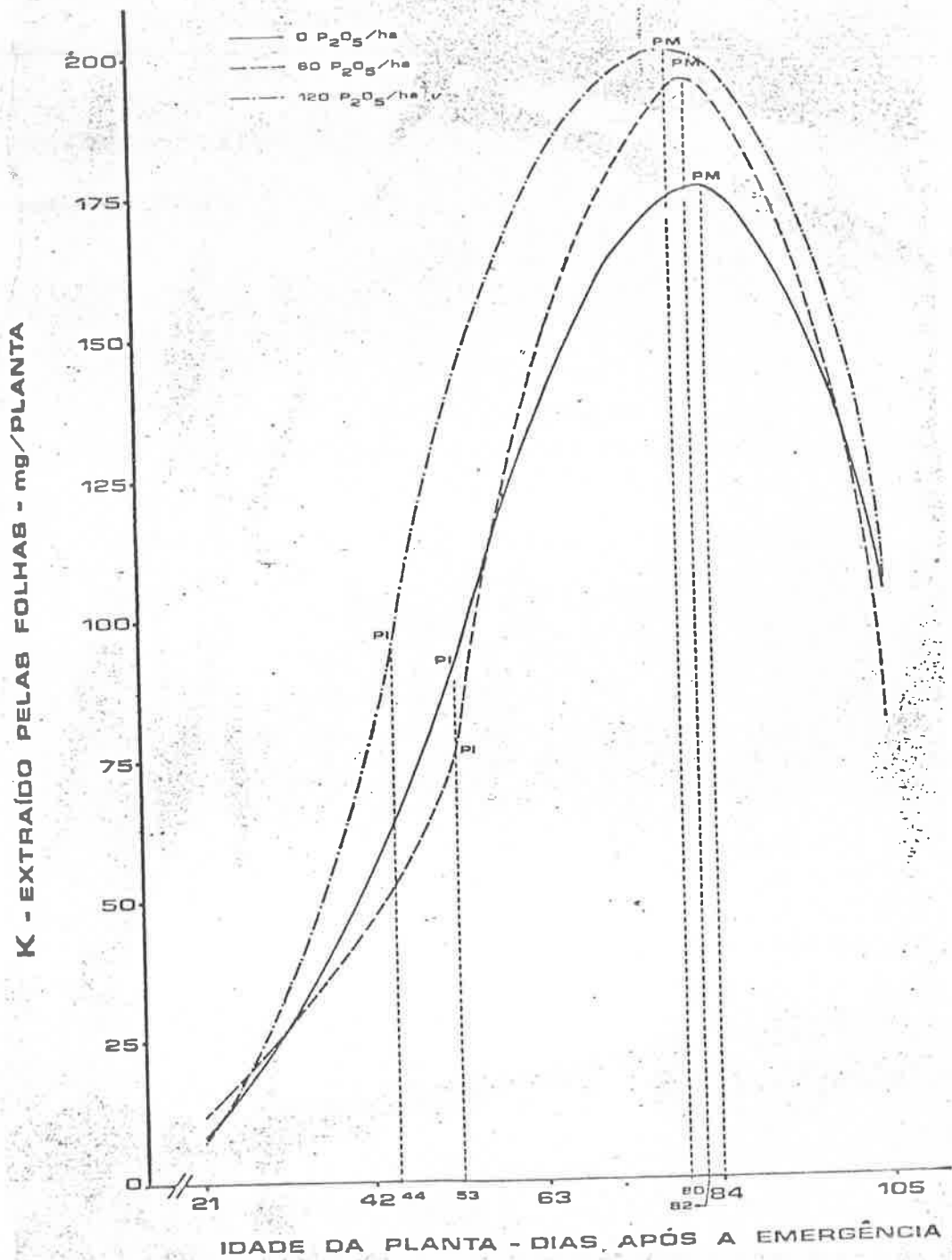


FIGURA 7. Pontos de máxima e de inflexão da extração de potássio pelas folhas de Soja (Cultivar JAC-2, de hábito de crescimento indeterminado), em função da idade da planta nas doses de fósforo aplicadas. (Extraído de CORDEIRO, 1977).

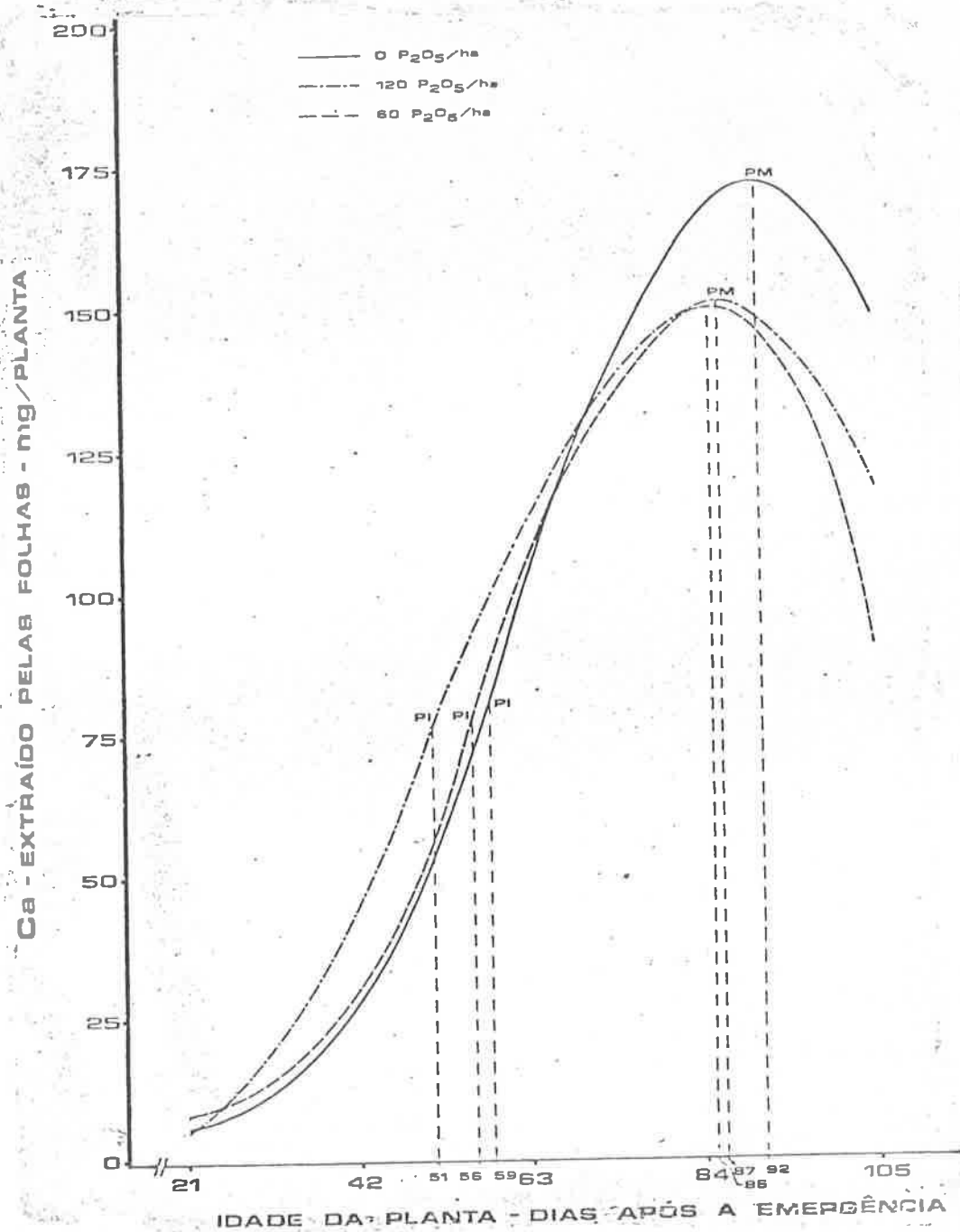


FIGURA 8. Pontos de máxima e de inflexão da extração de cálcio pelas folhas de soja (Cultivar IAC-2, de hábito de crescimento indeterminado), em função da idade da planta nas três doses de fósforo aplicadas (Extraído de CORDEIRO, 1977).

plantas que não receberam fósforo na adubação, tiveram o ponto de máxima extração de cálcio aos 91 dias de idade (nos outros tratamentos estes pontos aparecem aos 87 dias) com 172mg de cálcio por planta. O acúmulo de cálcio pelas folhas foi inibido pelas doses de fósforo aplicadas ao solo. EVANS et alli (1950) verificaram que a ausência ou teores insuficientes de cálcio na solução nutritiva contava aumentos de magnésio, fósforo, potássio e boro nas folhas de soja, evidenciando alguma interação entre o fósforo e o cálcio, na nutrição da soja. Não foi encontrada nenhuma literatura específica abordando este tipo de interação.

7.5 ABSORÇÃO DE MAGNÉSIO

De acordo com a Fig. 9, o acúmulo de magnésio nas folhas sob o tratamento zero e 60 kg de P_2O_5 é contínua e semelhante até aos 63 dias de idade. A extração de magnésio dentro do mesmo período, sob a influência da dose de 120 kg de P_2O_5 é paralela e superior a primeira. Após o estágio citado ocorre uma inversão na extração de magnésio, isto é, na medida que 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 folhas de plantas que receberam 60 e 120 kg 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 e Zimmerman, citados por WEBB et alli (1954), afirmam que o magnésio funciona como vetor na absorção do fósforo na planta. Os resultados obtidos por CORDEIRO (1977) confirmam a existência de uma possível interação entre os dois íons. Embora existam na literatura inúmeros trabalhos mostrando os efeitos benéficos do

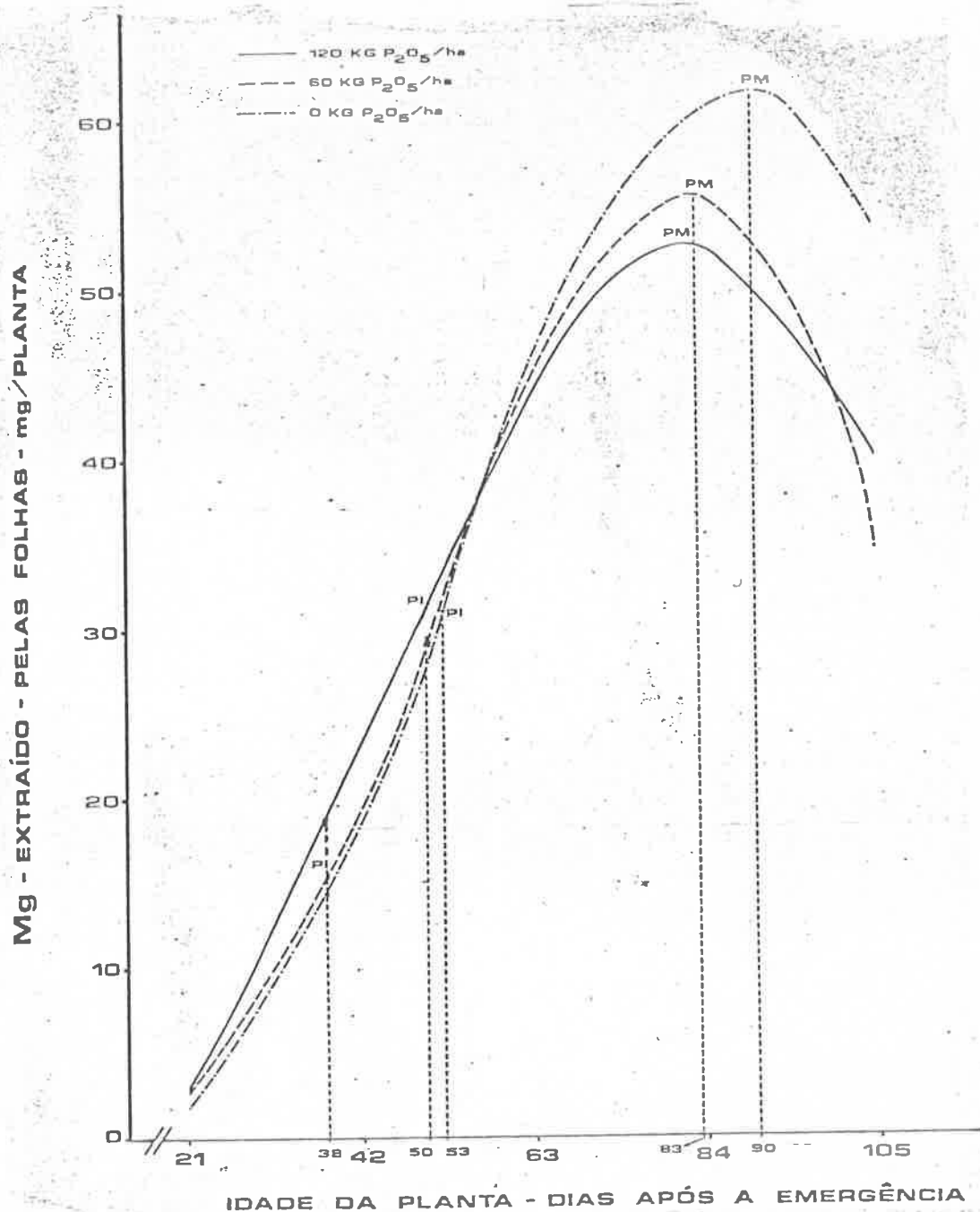


FIGURA 9 - Pontos de máxima e de inflexão da extração de magnésio pelas folhas de soja (Cultivar IAC-2, de hábito de crescimento indeterminado) em função da idade da planta nas três doses de fósforo aplicadas (Extraído de CORDEIRO, 1977).

magnésio na absorção de fósforo pela planta, inexistem investigações que mostrem o efeito do fósforo na absorção do magnésio. Em vista deste 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, WEBB et alli (1954) verificaram que o movimento do fósforo para as sementes é restringido em plantas deficientes em magnésio.

7.6 ABSORÇÃO DE ENXOFRE

O acúmulo de enxofre nas folhas de acordo com a Fig. 10, 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. Os pontos de inflexão encontram-se em torno dos 53 e 54 dias de idade. As plantas que receberam 120 kg de P_2O_5 , tiveram um acúmulo de enxofre mais acentuado após os 21 dias, atingindo o ponto de inflexão aos 45 dias de idade, com um teor de 8,11 mg de enxofre por planta. A partir dos pontos de inflexão as plantas aceleram a absorção, atingindo os pontos de máximo acúmulo em torno dos 82 a 86 dias de idade. O que pode-se observar é que a dose de 60 kg de P_2O_5 proporcionou um aumento na concentração de enxofre nas folhas de soja (19,21 mg/planta). Infelizmente, a literatura a respeito do comportamento do enxofre na planta, em presença de diferentes doses de fósforo, é escassa. Entretanto WOODING et alli (1972) verificaram em solução nutritiva que a deficiência de fósforo, provocou uma redução na concentração de enxofre na parte vegetativa da planta.

7.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após uma observação detalhada da marcha de absorção dos macronutrientes, pela Cultivar IAC-2 de hábito de

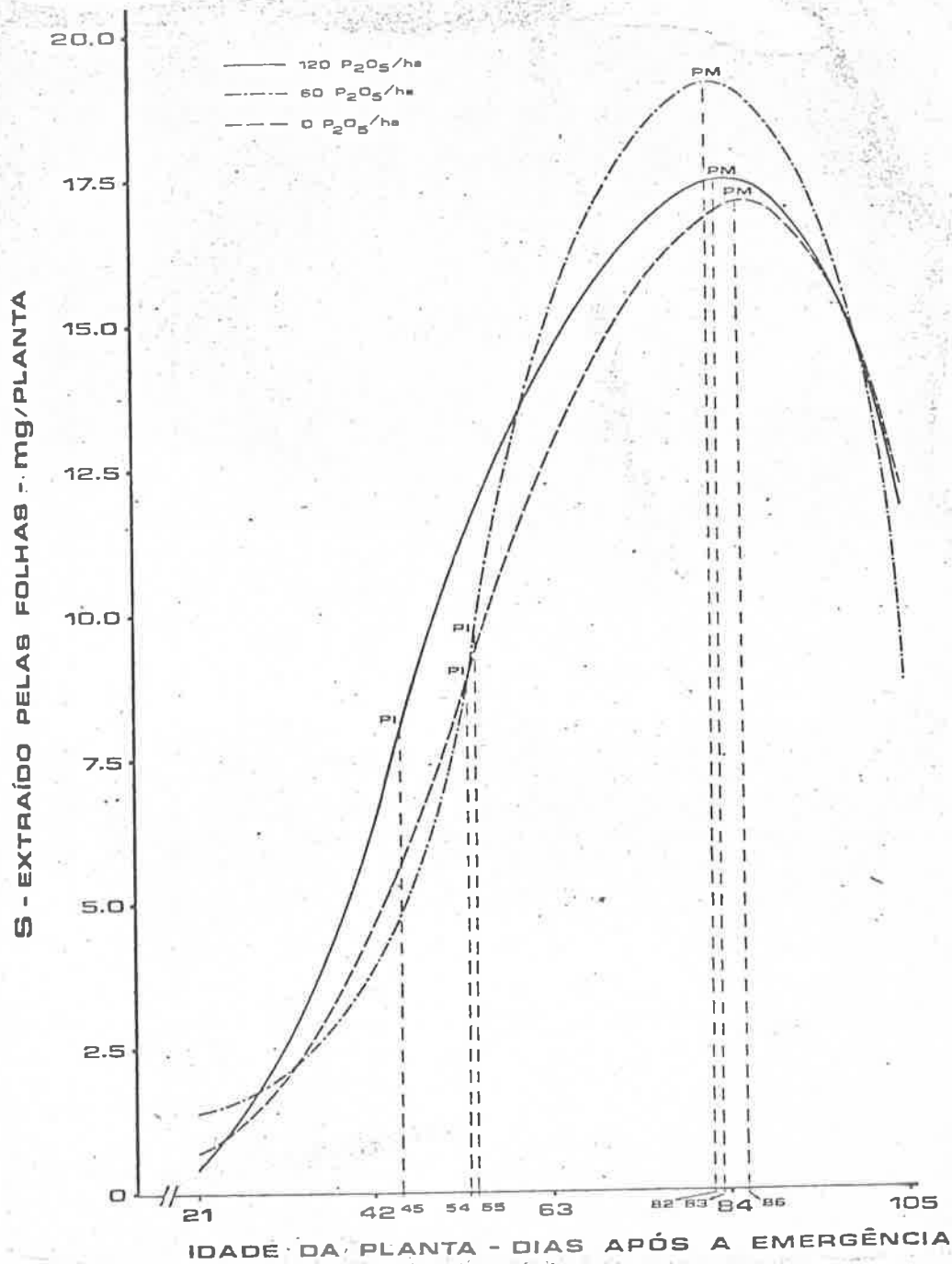


FIGURA 10 - Pontos de máxima e de inflexão da extração de enxofre pelas folhas de soja (Cultivar IAC-2, de hábito de crescimento indeterminado) em função da idade da planta nas três doses de fósforo aplicadas (Extraído de CORDEIRO, 1977).

crescimento indeterminado, pode-se discutir alguns aspectos de caráter prático inerentes as informações obtidas através do Quadro 5.

QUADRO 5 - Quantidade total do nutriente acumulado, porcentagem do total acumulado e período crítico em relação a idade da planta.

MACRONUTRIENTES	Pontos de inflexão		Ponto de máximo acúmulo		Período crítico dias ^{2/}
	Idade da planta ^{1/}	% do total acumulado	Idade da planta	Total acumulado do 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
ENXOFRE	51,5	49,7	84,1	17,9	33,0

1/ Dias após a emergência

2/ Período de intensa absorção

Pelo exposto no Quadro 5, 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, onde as plantas absorvem em torno de 50% de suas necessidades.

8. RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO

As recomendações de adubação de fósforo e potássio para os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina estão apresentadas nas tabelas 3 e 4.

TABELA 3 . Recomendações de Adubação corretiva para fósforo e potássio para o RS e SC - 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
DE FÓSFORO (P) ppm	M. BAIXO	1	2	3	120	120	120	80	120	40	120	0
		0,0	0,0	0,0								
	a	a	a	80	120	80	80	80	40	80	0	
	3,1	6,1	10,1									
6,0	12,0	20,0	40	120	40	80	40	40	40	0		
6,1	12,1	20,1										
a	a	a	0	120	0	80	0	40	0	0		
9,0	18,0	30,0										
BOM	+9,0	+18,0	+30,0	0	120	0	80	0	40	0	0	

* - 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)
com 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.

Nas recomendações de adubação para o RS e SC usa-se a adubação corretiva* para fósforo e potássio, considerando-se três tipos de textura do solo. Este sistema objetiva elevar o solo a um nível ótimo de fertilidade nesses dois nutrientes, independente da cultura a ser utilizada. A adubação de manutenção** (Devolução ao solo, dos teores que foram extraídos pela cultura) é recomendada levando-se em conta a cultura a ser utilizada. Os teores de fósforo e potássio indicados para a cultura da soja, estão inseridos na tabela 5.

TABELA 4 - Adubação de manutenção para a cultura da soja nos Estados do RS e SC, 1977.

K-ppm	Adubação / kg/ha.			Adubação de Cobertura	
	N ^{2/}	P ₂ O ₅ ^{2/}	K ₂ O ^{2/}	M.O %	N. kg/ha
- 80	10	75	50	qualquer	
80-120	10	70	30	teor	0
+ 120	10	75	10		

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

No Estado do Paraná (Tabela 5) as recomendações de adubação para P e K, levam em consideração a sucessão

* Adubação de correção - Os teores de P e K recomendados são distribuídos a lanço e incorporados ao solo numa profundidade de 20 cm.

** Adubação de manutenção - Os teores de P e K indicados são colocados na linha de plantio.

TABELA 5 - Adubação da soja em sucessão ao Trigo no Estado do Paraná. MUZILLI et alli, 1977.

Análise do solo		Nutrientes a aplicar (kg/ha) no plantio					
		Solos cultivados (1)			Solos de uso recente(2)		
P	K	N ⁽³⁾	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
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	< 6	< 0.10
MÉDIO	6 - 12	0.10-0.30
ALTO	> 12	> 0.30

(1) Refere-se a solos cultivados com a sucessão trigo-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.

(2) Refere-se a solos onde o cultivo com a sucessão trigo-soja se iniciou ou 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.

(3) A aplicação de nitrogênio está condicionada a fatores de uso e manejo do solo e/ou no espaço de tempo entre a colheita de trigo e a semeadura de soja.

trigo-soja e a evolução de cultivo dos solos do Estado. A adubação indicada é feita na linha de plantio.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, F. e PEARSON, R.W. 1967. Crop response to lime in Southern United States and Puerto Rico. In: PEARSON, R. W. e ADAMS, F. ed. Soil Acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy. p. 101-206.
- BARBER, S.A.; R.D. MUNSON e W.B. DANCY. 1971. Production, Marketing and use of potassium fertilizers. In: Fertilizer, Technology & Use. Soil. Sci. Soc. p. 303-334.
- BEACHER, R.L., LONGNECKER, D. & MERKLE, F.G. Influence of form on plant development and certain soil characteristics. Soil Sci. Baltimore, 73: 75-82, 1962.
- BESEDIN, P.N. 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, 1966.
- BLACK, C.A. 1968. Soil plant relationship. John Wiley e Sons - New York. 192 p.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. Porto Alegre. 97p. (Tese de Mestrado).
- CAMARGO, A.P. 1972. Influência de granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo. ESALQ. Piracicaba - SP. (Tese de Mestrado).

- COLEMAN, N.T. e G.W. THOMAS. 1967. The basic chemistry of Soil acidity. In: Pearson, R.W. e Adams F. ed. Soil Acidity and liming. Am. Soc. Agric. Publ., Madison, Wis consin. p. 1-41.
- CORDEIRO, D.S. 1977. Efeito de adubação NPK na absorção, translocação e extração de nutrientes pela soja (Glycine max (L.) Merrill). ESALQ-Piracicaba (SP). (Tese de Doutorado).
- deMOOY, C.J., J. PESEK, E. SPALDON. 1973. Mineral Nutri tion. In: CALDWELL, B.E. Soybean: improvement, production and uses. Madison, American Society of Agronomy, 9: 267 -334.
- EPSTEIN, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. John Wiley Sons. Inc. New York -412p.
- EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e pers pectivas; tradução e notas. MALAVOLTA, E. Rio de Janei ro. Livros técnicos e Científicos, 1975. 344 p.
- EVANS, C.E., D.J. LATWELL., H.J. MEDERSKI. 1950. Effect of deficient or toxic levels of nutrients in solution on fo liar syptomis and mineral Content of soybean leaves. as meadured by spectrografic methods. Agronomy Jour. 42 : 25-32.
- FEIJOSA, C.T. e 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. A nais do Décimo Quinto Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Campinas, p.215-220.

- FOLE, A.D. e J. MIELNICZUK. 1975. Efeito da aplicação de diferentes fontes fosfatadas sobre a produção da soja (Trabalho mimeografado e apresentado na III^a Reunião Conjunta de Pesquisa de soja. Fac. Agron. UFRGS - Porto Alegre. RS.
- FREIRE, J.R.J. e C. VIDOR. 1974. II. Fixação simbiótica do nitrogênio. In: GOEPFERT, C.F.; FREIRE, J.R.J. e VIDOR, C. Nutrição da cultura da soja. Boletim técnico. Porto Alegre. p. 17-30.
- GUPTA, V.C., CHIPMANN, E.W. e MACKAY, D.C. 1970. Influence of manganese and pH on chemical composition bronzing of leaves and yield of carrots grown are acid sphagnum. Peat soil. S.S.S.A.P. 34:762-764.
- HANWAY, J.J. e C.R. WEBER. 1971a. Dry matter accumulation in soybean (Glycine max (L.) Merrill) varieties. Agronomy Jour. 63:277-280.
- HEMWALL, J.B. 1957. The fixation of phosphorus by soils. Adv. in Agronomy. 9: 95-112.
- HENDERSON, J.B. e E.J. KAMPRATH. 1970. Nutrient and dry matter accumulation by soybeans. N.C. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. n° 197.
- KAMPRATH, E.J. 1967. "A calagem dos solos ácidos". In: Aidez do solo e a calagem. International Soil Testing. Boletim Técnico n° 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. e FOY, C.D. 1971. Límé-Fertilizér-Plānt in terations in acid soils. In: Olson R.A. et alli. Editores. Fertilizer technology and use. 2^a ed. S.S.S.A. Inc. Madison, Wisconsin p.105-151.
- LAROCHE, F.A. Efeitos da calagem sobre o complexo de troca de um latossolo tropical e os teores de cátions absorvidos pelo tomate. Recife, SUDENE, Dv. Documentação, 1967. 80 p. (Brasil, SUDENE, Agricultura, 9).
- LYON, T.L. e BUCKMAN, H.O. 1958. Edafologia. Traduzido da 4^a edição inglesa por Victor S. Nicollier. 2^a ed. espanhola. Comp. Ed. Continental. México. 479 p.p.
- MASCARENHAS, H.A.A., 1972. Acúmulo de matéria seca, absorção e distribuição de elementos na soja, durante o seu ciclo vegetativo. Piracicaba, ESALQ/USP, 100 p. (Tese de Doutorado).
- MEYER, T.A. e G.W. VOLK. 1952. Effect of particle of limestone on Soil reaction, exchangeable cation and plant growth. Soil Sci. 73:37-52.
- MEHLICH, A. & COLEMAN, N.T. Type of soil colloid and the mineral nutrition of plants. Adv. in Agronomy. New York: 4: 67-99, 1952.
- MELLO, F.; M.O.C. BRASIL SOBRO; S. ARZOLLA; A. COBRA NETO e R.I. SILVEIRA. 1972. Fertilidade do solo (2^a ed.). Departamento de Solos e Geologia. ESALQ-USP. Piracicaba (SP) - pp. 37-47.
- MIELNICZUK, J., A. LUDWICK, H. BOHNEN. 1969. Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul. Boletim Técnico nº 2. U.F.R.G.S.

- MILLER, R.J., J.T. PESEK e J.J. HANWAY. 1961. Relationship between soybean yield and concentration of phosphorus and potassium fertilizers. Agronomy Jour. 53: 393-396.
- MUZILLI, O. e K. IGUE. 1976. Fertilidade do Solo e adubação. In: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. 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. Informe da Pesquisa n° 002. IAPAR - Londrina - PR.
- NUNEZ, R. e R.J. LAIRD. 1969. Fertilidade de suelos. Parte I. Série n° 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.
- SHOEMAKER, H.E.; E.O. MACLEAN e P.F. PRATT. 1961. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminium. Madison, Wisc. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 25:274-277.
- SIQUEIRA, O.J.F. de; KOCHHMANN, R.A.; BARTZ, H.R.; SCHOLLES, D.; BORKERT, C.M.; MARTINI, J.A. 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.

SFREDO, J.G. Efeito das relações entre Ca^{2+} e Mg^{2+} sobre o pH, Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo e sobre a produção de matéria seca do sorgo. (*Sorghum bicolor*). Viçosa, U.F.V., 1976. 61p. (Tese de Mestrado).

TISDALE, S.L. e W.L. NELSON. 1971. Soil Fertility and Fertilizers. Sec. Ed. Collier. Macmillan. New York . p.413-447.

VOLKWEISS, S.J. e A.E. LUDWICK. 1969. O melhoramento do solo pela calagem. Bol. Técnico nº 01. FAV-UFRGS. Porto Alegre (RS), 30 p.

WEBB, J.R., A.J. OHLROGGE, S.A. BARBER, 1954. The effect of magnesium upon the growth and the phosphorus content of soybean plant. Soil Sci. Amer. Proc. 18:458-462.

WIKLANDER, L. Cation and anion exchange phenomena. In: BEAR, F.E., ed. Chemistry of the soil, 2nd. ed. New York , Reinhold, 1964. 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. Poligno. p.149-168.