AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DE CALCÁRIOS AGRÍCOLAS

PAULO AFFONSO BELLINGIERI

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ CARLOS ALCARDE

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Univer-
sidade de São Paulo, para obtenção do
Título de Doutor em Agronomia. Área de
Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março, 1983

Aos meus pais e avô,

OFEREÇO

À Maria do Carmo, minha esposa,

Fabiana e Paulo Henrique, meus filhos,

com amor,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao PROF. DR. JOSÉ CARLOS ALCARDE, pela orientação e apoio.

À ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ", pelo aperfeiçoamento concedido.

À FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL - UNESP, pela oportunidade desse aperfeiçoamento.

À ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO DO ESTADO DE SÃO PAULO, pelo suporte financeiro.

AO CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

Aos colegas DR. EUCLIDES ALEXANDRINO DE SOUZA e MS EUCLIDES BRAGA MALHEIROS, pelos auxílios prestados, sugestões e manifestações de apoio.

Aos colegas que conviveram comigo no Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pelo auxílio, sugestões e amizade.

Ao pessoal do LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA DO DEPARTAMENTO DE QUÍMICA da ESALQ/USP, pela colaboração prestada nas determinações analíticas.

Aos Professores e Funcionários do DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA da FCAVJ/UNESP, pelos auxílios prestados, sugestões

e manifestações de apoio.

Ao PROF. ARGEMIRO OLIVEIRA SOUZA, pelo auxílio pres
tado na revisão do texto.

Às Srtas. MARLI SAES e LUIZA MARIA VILLANOVA pela
datilografia e dedicação.

INDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMO	xvi
SUMMARY	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A acidez dos Solos	4
2.2. Os Corretivos de Acidez dos Solos	14
2.3. Os calcários	15
2.3.1. Conceito e Classificação	15
2.3.2. Origem e Mineralogia	15
2.4. Ação Neutralizante dos Corretivos e Fatores que Influem	19
2.5. Eficiência dos Calcários na Corre ção da Acidez de Solos	21
2.6. Avaliação da Qualidade dos Calcá rios por Métodos Químicos	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1. Materiais	36
3.1.1. Solos	36
3.1.2. Corretivos	37

3.2. Métodos	40
3.3. Delineamento Experimental	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. Valor pH	43
4.1.1. Solo LVd	43
4.1.2. Solo LEd	46
4.1.3. Solo LEa	51
4.2. Teor de Al^{3+}	54
4.2.1. Solo LVd	54
4.2.2. Solo LEd	58
4.2.3. Solo LEa	61
4.3. Teor de Ca^{2+}	65
4.3.1. Solo LVd	65
4.3.2. Solo LEd	68
4.3.3. Solo LEa	71
4.4. Teor de Mg^{2+}	75
4.4.1. Solo LVd	75
4.4.2. Solo LEd	78
4.4.3. Solo LEa	81
4.5. Estudo das Interações entre Solos, Cal cários e Frações Granulométricas	84
4.6. Estimativa da Eficiência Relativa das Frações Granulométricas	85

5. CONCLUSÕES 89

6. LITERATURA CITADA 91

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
01	Equivalente em carbonato de cálcio dos diferentes constituintes neutralizantes dos corretivos	22
02	Estimativas da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários, no Brasil	25
03	Classificação dos solos utilizados	37
04	Características físicas e químicas da camada de 0-30 cm dos três solos, LVd, LE _d , LE _a , antes da incubação	38
05	Teores de óxidos de cálcio e de magnésio nas diferentes frações granulométricas dos calcários estudados	39
06	Variação do pH do solo LVd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	44

TABELA

Página

07	Valores de F da equação de regressão de 1º, 2º ou 3º grau, referentes à variação do pH, teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} em função do tempo de incubação	45
08	Variação do pH do solo LEd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições) ...	49
09	Variação do pH do solo LEa, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições) ...	52
10	Variação do teor de Al^{3+} , do solo LVd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	55
11	Variação do teor de Al^{3+} , do solo LEd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	59
12	Variação do teor de Al^{3+} , do solo LEa, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	62
13	Variação do teor de Ca^{2+} , do solo LVd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	66

TABELA

Página

14	Variação do teor de Ca^{2+} , do solo LEd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	69
15	Variação do teor de Ca^{2+} , do solo LEa, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	72
16	Variação do teor de Mg^{2+} , do solo LVd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	76
17	Variação do teor de Mg^{2+} , do solo LEd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	79
18	Variação do teor de Mg^{2+} , do solo LEa, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições)	82
19	Eficiência relativa (%) das diferentes frações granulométricas dos calcários nos vários solos, após 12 semanas de incubação	87

TABELA

Página

20	Sugestões para as eficiências relativas (ER %) obtidas para as diferentes fra ções granulométricas dos calcários (mé dia de 4 repetições)	88
----	--	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS		Página
1 a 3	Relação dada pela equação de regressão <u>li</u> near, entre pH e quantidades de CaCO_3 p.a. (mg/50 g solo), determinado por incubação ...	41
4 a 7	Representação gráfica da equação de <u>re</u> gressão polinomial do pH em função do <u>tem</u> po de incubação, no solo LVd com os <u>qua</u> tro tipos de calcários	47
8 a 11	Representação gráfica da equação de <u>re</u> gressão polinomial do pH em função do <u>tem</u> po de incubação, no solo LEd com os <u>qua</u> tro tipos de calcários	50
12 a 15	Representação gráfica da equação de <u>re</u> gressão polinomial do pH em função do <u>tem</u> po de incubação, no solo LEa com os <u>qua</u> tro tipos de calcários	53
16 a 19	Representação gráfica da equação de <u>re</u> gressão polinomial do Al^{3+} em função do <u>tem</u> po de incubação, no solo LVd com os <u>qua</u>	

FIGURAS

Página

	tro tipos de calcários	57
20 a 23	Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Al^{3+} em função do tempo de incubação, no solo LEd com os quatro tipos de calcários	60
24 a 27	Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Al^{3+} em função do tempo de incubação, no solo LEa com os quatro tipos de calcários	63
28 a 31	Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Ca^{2+} em função do tempo de incubação, no solo LVD com os quatro tipos de calcários	67
32 a 35	Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Ca^{2+} em função do tempo de incubação, no solo LEd com os quatro tipos de calcários	70
36 a 39	Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Ca^{2+} em função do	

FIGURAS

Página

	tempo de incubação, no solo LEa com os quatro tipos de calcários	73
40 a 43	Representação gráfica da equação de <u>re</u> gressão polinomial do Mg^{2+} , em função do tempo de incubação, no solo Lvd com os quatro tipos de calcários	77
44 a 47	Representação gráfica da equação de <u>re</u> gressão polinomial do Mg^{2+} , em função do tempo de incubação, no solo LEd com os quatro tipos de calcários	80
48 a 51	Representação gráfica da equação de <u>re</u> gressão polinomial do Mg^{2+} , em função do tempo de incubação, no solo LEa com os quatro tipos de calcários	83

AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DE CALCÁRIOS AGRÍCOLAS

Autor: Paulo Affonso Bellingieri

Orientador: Dr. José Carlos Alcarde

R E S U M O

O objetivo deste trabalho foi estabelecer, em condições de laboratório, valores para as eficiências de quatro frações granulométricas, de quatro calcários agrícolas, dois sedimentares e dois metamórficos, separados nas frações retidas entre as peneiras nº (ABNT), 5-10, 10-30, 30-50 e 50-60, em três solos cobertos com vegetação de cerrado, com diferentes propriedades físicas e químicas, provenientes de Brasília (DF) - LVd e LEd e Assis (SP) - LEa.

O cálculo das doses de calcários foi baseado na curva de neutralização dos solos com CaCO_3 p.a., ou seja, quantidade necessária para elevar o pH a 6,5, em um período de 40 dias.

Os solos foram incubados com as doses de calcário

estabelecidas pela curva de neutralização por 160 dias e no 8º, 16º, 32º, 48º, 64º, 80º, 96º, 128º e 160º dia analisados quimicamente (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}).

Os dados obtidos permitiram concluir que:

1 - a reatividade dos calcários nos três tipos de solo independe da natureza geológica do calcários;

2 - a reação dos calcários varia nos diferentes tipos de solo;

3 - Sugerem-se os seguintes valores para a eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários: fração maior do que 10 (nº de peneira -ABNT) = 0%; de 10 a 30 = 35%; de 30-50 = 75% e menor do que 50 = 100%.

Assim, a expressão para o cálculo do PRNT dos calcários seria:

$$\text{PRNT} = \frac{\% E_{\text{CaCO}_3} (A_{10-30} \times 0,35 + A_{30-50} \times 0,75 + A_{<50} \times 1,0)}{100}$$

onde,

$\% E_{\text{CaCO}_3}$ = porcentagem de óxidos de cálcio e de magnésio, expressa em equivalente de CaCO_3 .

A_{10-30} = porcentagem da fração retida entre as peneiras 10 e 30.

A_{30-50} = porcentagem da fração retida entre as peneiras 30 e 50.

$A_{<50}$ = porcentagem da fração que passa na peneira 50

EVALUATION IN LABORATORY OF THE EFFECTIVENESS OF DIFFERENT GRANULOMETRIC FRACTIONS OF AGRICULTURAL LIMESTONES

Author: Paulo Affonso Bellingieri

Adviser: Prof. Dr. José Carlos Alcarde

S U M M A R Y

The aim of this work was to establish, in laboratory conditions, the values of effectiveness of four granulometric fractions of four types of agricultural limestones, two of them of sedimentary origin and two metamorphic, divided in the fractions retained between the sieves nº (ABNT) 5-10, 10-30, 30-50 and 50-60 and incubated in three types of soils covered with "cerrado" vegetation with different physical and chemical properties, from the region of Brasília (DF) - LVD and LEd and Assis region (SP) - LEa.

The calculation of the doses of limestones were based on the neutralization curve of the soils with CaCO_3 p.a., or the necessary quantity to raise the pH to 6,5, during a period of 40 days.

The soils were incubated with the doses of limestones, established by the neutralization curve, during 160

days in the 8th, 16th, 32nd, 48th, 64th, 80th, 96th, 128th and 160th days and chemically analysed (pH, Ca²⁺, Mg²⁺ and Al³⁺).

The results obtained allowed to conclude that:

1 - The reactivity of the limestones in the three types of soil is not dependent upon the geological nature of the limestones.

2 - The reaction of the limestones varies in the types of soil.

3 - The following values for the relative efficiency of the different granulometric fractions of the limestones are suggested: fractions larger than 10 (nº sieve - ABNT) = 0%, from 10 to 30 = 35%, from 30 to 50 = 75% and less than 50 = 100%.

Then, the expression for the calculation of RPTN of limestone would be:

$$\text{RPTN} = \frac{\%E_{\text{CaCO}_3} (A_{10-30} \times 0,35 + A_{30-50} \times 0,75 + A_{<50} \times 1,0)}{100}$$

where:

$\%E_{\text{CaCO}_3}$ = percentual of calcium and magnesium oxides expressed in equivalent of CaCO₃.

A_{10-30} = percentual of retained fraction between the sieves 10 and 30.

A_{30-50} = percentual of retained fraction between the sieves 30 and 50.

$A_{<50}$ = percentual of the fraction that passes through sieve 50.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do problema da acidez do solo assume cada vez mais interesse face ao aumento da importância da necessidade de sua correção, para obtenção de boas colheitas. Por outro lado, não se dispõe ainda de parâmetros suficientemente seguros para avaliar a qualidade dos calcários, materiais mais comumente usados nessa correção.

Os calcários variam geralmente quanto às características mineralógicas, composição química e propriedades físico-químicas. A capacidade total na neutralização do solo é determinada pelos teores de carbonato de cálcio e magnésio, do material calcário. Porém, a rapidez de reação desses materiais depende também do estado de divisão ou grau de finura. Portanto, a reatividade no solo, das diferentes rochas calcárias moídas, está condicionada ao poder neutralizante e à granulometria. Por outro lado, as características mineralógicas e a textura têm sido indicados, por hipótese, como elementos de influência na solubilidade desses materiais, podendo deter

minar variações de ação, ainda que se apresentem com a mesma composição química e granulométrica, já que lhes conferem propriedades diferentes.

A diminuição do diâmetro das partículas e conseqüente acréscimo da superfície de exposição, traduz-se num aumento de solubilidade. Por outro lado, para um mesmo grau de finura, a rapidez da reação poderia variar com o tipo de calcário.

No Sul do País, os calcários vêm sendo avaliados pelo PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total), o qual é um índice que mede a eficiência de calcários, conjugando o poder de neutralização total com a eficiência relativa das partículas de diferentes tamanhos. O cálculo do PRNT feito no Sul adota valores de eficiência utilizados nos Estados Unidos da América do Norte, isto é, o valor zero para partículas retidas na peneira nº 10, 20% para partículas retidas entre peneiras 10 e 20, 60% para partículas retidas entre as peneiras 20 e 60 e 100% para partículas que passam na peneira 60.

A legislação brasileira atual, Lei nº 6.894 e respectivos decretos e portarias, estabelece que os corretivos de acidez do solo devem conter 100% das partículas com diâmetro inferior a 2,00 mm (peneira nº 10-ABNT) e no mínimo 50% das partículas com diâmetro inferior a 0,300 mm (peneira nº 50 -ABNT).

A eficiência relativa das diferentes frações granu

lométricas dos calcários fundamenta-se na velocidade de sua reação com o solo. Portanto, essa eficiência deve ser dependente também das características do solo e do clima, além das características dos calcários. Assim, a simples transferência de valores de eficiência estabelecidos de uma região para outra pode ser contestada. Essa suposição constitui a hipótese do presente trabalho, cujo objetivo foi estudar, em condições de laboratório, o estabelecimento da eficiência de quatro frações granulométricas de quatro calcários agrícolas em função de três solos de diferentes propriedades físicas e químicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Acidez dos Solos

Os fatores que limitam o rendimento das plantas cultivadas são vários e o efeito de cada um, ou de suas interações, estão condicionados aos diferentes tipos de solos, às condições ambientais da região considerada e às plantas em cultivo. Além disso, o número de propriedades do solo, alteradas, quando o pH é corrigido, dificultam a definição pelo fator, ou pelos fatores interrelacionados, mais responsáveis pela baixa fertilidade dos solos ácidos (JACKSON, 1967). Mesmo assim, a toxidez do alumínio e do manganês e as deficiências de cálcio, magnésio e fósforo são mais comumente constatadas nesses solos (JACKSON, 1967 e KAMPRATH, 1967).

O pH do solo, que expressa a atividade dos ions hidrogênio na solução do solo, é a representação analítica comumente medida e a este se relacionam a disponibilidade, deficiência ou toxidez dos elementos, sendo constatado que, quanto mais baixo seu valor, mais limitantes se tornam

as condições de fertilidade do solo (JACKSON, 1967). Entretanto, a extensão da sua influência não está suficientemente esclarecida.

A acidez do solo, no século passado, era atribuída à presença de ácidos húmicos. Porém, em 1904 Veitch, conforme JENNY (1961), mostrou que em solos com baixos teores de húmus a causa da acidez seria o alumínio extraível com cloreto de sódio. Posteriormente, surgiram várias teorias sobre a natureza da acidez dos solos, ora destacando o alumínio como a causa, ora atribuindo a acidez ao hidrogênio trocável. Mais tarde, foi aceita a idéia da ocorrência do alumínio e hidrogênio em solos ácidos. Em 1946, Schofield, ainda segundo o relato de JENNY (1961), estimulou o reconhecimento do alumínio como participante na troca de cátions nos solos ácidos, postulando a existência de íons $H_2O-OH-Al$. Polímeros do alumínio, coordenados octaetricamente, de alta valência e que poderiam ser titulados com bases.

JACKSON (1963) atribuiu ao alumínio trocável e às formas polimerizadas do alumínio, o principal papel na acidez da fração mineral do solo.

COLEMAN (1962) relata que a origem do alumínio em solos ácidos é devida: (a) à instabilidade das argilas saturadas com hidrogênio, que se decompõem e liberam-no da rede cristalina; e (b) à afinidade de adsorção do íon alumínio com os sítios de troca das argilas.

Em soluções ácidas, o alumínio ocorre como um cá

tion trivalente complexo, onde cada ion Al^{3+} está envolvido por seis moléculas de H_2O em coordenação, formando o $\text{Al}[(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ (McLEAN, 1965), denominando alumínio hexahidrônio (JACKSON, 1963). Quando o pH aumenta, uma ou duas medidas de água perdem H^+ , ou uma ou duas moléculas de água são substituídas por íons OH^- , formando radicais mono e divalentes (McLEAN, 1965). São os polímeros dos hidróxidos parciais de alumínio, de tamanho e grau de hidratação indefinidos, que juntamente com o alumínio trivalente monomérico, são adsorvidos pelos sítios de troca das argilas (THOMAS, 1960; COLEMAN & THOMAS, 1967 e LEON, 1971).

Essas formas de ligações do alumínio que, aparentemente, estão em equilíbrio em solos ácidos (HEDDLESON *et alii*, 1960), compõem a principal fonte de acidez da fração mineral do solo. Porém, a extensão de sua contribuição depende: (a) do grau de intemperismo do solo, dado aparentemente pelo teor de alumínio trocável (COLEMAN, 1962 e HEDDLESON *et alii*, 1960); (b) do pH, que é a expressão da atividade dos íons hidrogênios (YUAN, 1963); e (c) do teor de matéria orgânica, o componente ácido-fraco dos solos (THOMAS, 1960; COLEMAN & THOMAS, 1967 e LEON, 1971).

Solo ácido tem sido definido como um sistema capaz de liberar protons ou aceitar OH^- (JACKSON, 1963). É observado quando o pH é inferior a 7,0 e/ou a capacidade de troca de cations não está preenchida por cations básicos (COLEMAN e THOMAS, 1967). Este sistema é constituído pelos fatores de acidez

que controlam a troca de ions e as reações de adsorção, que de finem o caráter ácido dos solos.

As formas de acidez dos solos parecem ter a seguinte ordem de atividade: cargas permanentes ocupadas pelo H^+ > cargas permanentes ocupadas pelo Al^{3+} ; monômeros de hidróxidos de alumínio ($AlOH^{2+}$); polímeros dos hidróxidos de alumínio $\approx$ acidez da matéria orgânica $\approx$ acidez do Al-OH e Si-OH da rede cristalina (JACKSON, 1963; McLEAN *et alii*, 1964 e COLEMAN e THOMAS, 1967). As duas primeiras formas ocupam parte da capacidade de troca de cátions permanente ou "efetiva", e constituem, a acidez de troca. As quatro últimas compõem a acidez pH-dependente.

Não se conhece exatamente o mecanismo de neutralização da acidez, mas presume-se que, quando as reações de neutralização iniciam-se no solo, provavelmente primeiro são neutralizadas as formas mais ativas, H^+ e Al^{3+} (KENNEY e COREY, 1963; KAMPRATH, 1970 e LEON, 1971). Os íons H^+ seriam neutralizados ainda antes das reações do alumínio com a base (YUAN, 1963).

O alumínio trivalente monomérico se hidroliza na solução, produzindo: $Al^{3+} + H_2O \rightarrow AlOH^{2+} + H^+$. Possivelmente os produtos dessa hidrólise sejam readsorvidos pelas argilas (RAGLAND e COLEMAN, 1960; FRINCK e PEECH, 1963 e JACKSON, 1963), desenvolvendo cargas aparentemente pH-dependentes, ou seja, inativando sítios de troca pela adsorção ou obstrução destes (COLEMAN *et alii*, 1964 e COLEMAN e THOMAS, 1967), ou ainda, recobrimo os cristais de argila na forma de $Al(OH)_x$ (RAGLAND e CO

LEMAN, 1960).

MOHR (1960), KAMPRATH (1967) e REEVE e SUMMER (1970) apontam o alumínio trocável como o principal responsável pelo baixo rendimento das plantas cultivadas em solos com pH inferior a 5,0 e VOLKWEISS (1970) atribui-lhe, e ao manganês, os baixos rendimentos obtidos com culturas em solos brasileiros. A presença de alumínio e manganês trocáveis no solo implica no decréscimo de absorção de cálcio e tem efeitos prejudiciais no crescimento das raízes (KAMPRATH, 1967).

Estudos sobre o efeito da acidez e calagem no rendimento de plantas cultivadas asseguram que os rendimentos máximos foram alcançados quando os teores de alumínio e manganês trocáveis reduziram-se até quantidades não tóxicas (ABRUÑA, *et alii*, 1970; REEVE e SUMNER, 1970; VOLKWEISS, 1970; WHITE, 1970 e VIDOR, 1972), embora em alguns casos o pH tenha atingido valores próximos a 7,0 e, em outros, pouco ultrapassado a 5,0. COLEMAN e THOMAS (1967) observaram que elevando o pH do solo até valores em torno de 5,5 o alumínio trocável deixava de ser tóxico às plantas e o manganês diminuía consideravelmente seu efeito nocivo às plantas ensaiadas. BORKERT (1973) relatou, para alguns solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, que em valores de pH 6,0 e 6,5 ainda eram encontrados teores de manganês considerados tóxicos (24 ppm) para plantas cultivadas.

Por essa razão, torna-se difícil estabelecer o pH ideal para o máximo rendimento das plantas cultivadas, ou mes

mo onde cessam as limitações e/ou os efeitos nocivos dos ele
mentos tóxicos comuns em solos ácidos. Contribui para isso tamb
bém o fato de que existem diferenças na tolerância, pelas espé
cies, aos elementos nocivos, assim como também variação na ca
pacidade de extrair os elementos indispensáveis do solo (JACKSON, 1967).

No Brasil, áreas enormes, muitas delas de importância
agrícola das mais elevadas, são ocupadas por solos ácido
dos. Somente os solos ácidos de cerrado ocupam uma área de 1,6
milhões de km², ou seja, 1/5 da superfície total do país (COMISSÃO DE SOLOS, 1960).

GARGANTINI *et alii* (1965) concluíram que aproximadame
mente 50% da área cultivada do Estado de São Paulo apresenta
problemas de acidez elevada, sendo aconselhável o emprego de
corretivos. Tal emprego, porém, atinge caráter obrigatório, pa
ra que se possa obter colheitas elevadas em cerca de 20% da
área sob cultivo neste Estado, devido aos teores inconvenientes
de alumínio trocável.

A necessidade de calagem em áreas agrícolas deste
País é, pois, um fato reconhecido e que não necessita discusão
são. Mas, entre os problemas ainda pendentes de solução en
contra-se o que diz respeito aos métodos de determinação das
quantidades de calcário a serem aplicadas.

De uma forma geral, a determinação da acidez potencial
em solos constitui o princípio dos métodos de indicação das
quantidades de corretivos dos solos (MCLEAN *et alii*, 1959). Assim,

a quantidade de base consumida para medir a acidez de um solo, por um determinado método, corresponde, aproximadamente, à necessidade de corretivo do solo analisado, para atingir um pH pré-estabelecido.

FREITAS *et alii* (1968) subdividem os métodos de determinação de necessidade de calagem dos solos em dois grupos: um que consiste em prever a quantidade de calcário para elevar o pH do solo até uma faixa de valores pré-fixada; outro, que prevê calcário para neutralizar o alumínio trocável e assegurar o suprimento de cálcio e magnésio para as plantas, independente dos valores de pH que alcançaria o solo. O último emprega soluções de sais não tamponados, medindo a acidez de troca dos solos e, conseqüentemente, a necessidade de calcário para sua neutralização (KAMPRATH, 1967).

Os métodos de determinação de necessidade de calcário de solos têm sido testados mediante comparação com os resultados obtidos pela incubação do solo com carbonato de cálcio até atingir um valor de pH de equilíbrio. Também têm sido conduzidos estudos para correlacionar a necessidade de calagem com o teor de alumínio trocável dos solos e rendimento dos cultivos, independente dos valores de pH que o solo alcance.

FREITAS *et alii* (1968) observaram que o método baseado na acidez extraída com cloreto de potássio e no suprimento de cálcio e magnésio ao solo mostrou-se satisfatório, tanto para neutralizar o alumínio trocável como para suprir as culturas de cálcio e magnésio dando, porém, baixa correlação,

embora significativa, com os valores de necessidade de corretivos para controle do pH determinados pela incubação.

KAMPRATH (1970) trabalhando com Oxisol e Ultisol dos E.U.A. e REEVE e SUMNER (1970), usando Oxisol de Natal, na África, questionam a elevação do pH dos solos até 6,5. Os autores observam que, nesses solos, o uso de calcário em quantidades suficientes para eliminar o alumínio trocável tem dado resultados satisfatórios no rendimento das plantas cultivadas.

MOHR (1960) e KAMPRATH (1970) sugerem o emprego do fator 1,5 que, multiplicado ao valor da acidez de troca, dada em e. mg/100 g e obtida na extração com cloreto de potássio, corresponderia à necessidade de calcário do solo em toneladas por hectare. HOYT e NYBORG (1971) encontraram resultados semelhantes aos dos autores citados e acrescentam que o cloreto de sódio 2N apresentou eficiência similar à do cloreto de potássio na determinação da acidez de troca para indicação de corretivos.

O uso desses métodos na determinação de acidez e necessidade de calcário tem limitações. Estas se relacionam com as propriedades dos extratores, com as características dos solos e com a rapidez de execução.

Continua ainda, no Brasil, a tendência de se recomendar a quantidade de corretivo a ser distribuída numa determinada área, tomando-se por base o teor de Al^{3+} trocável do solo, seguindo o conceito de que o importante é a neutralização da acidez causada por esse elemento e o fornecimento de cálcio

e magnésio às plantas (KAMPRATH, 1967 e KAMPRATH, 1970). Contudo, não existe experimentação adequada a esse respeito e, no Rio Grande do Sul, em várias situações, tem-se verificado que as quantidades de calcário recomendadas de acordo com o método referido são muito pequenas.

MUZILLI *et alii* (1969), por exemplo, utilizando o método de incubação de amostras de terra com quantidades crescentes de CaCO_3 , concluíram que, em relação aos cinco solos roxos estudados, as quantidades de CaCO_3 , em toneladas, ($Q = 1,5 \times \text{n}^\circ \text{ de e. mg Al}^{3+} \text{ trocável}/100 \text{ g de terra}$) eram suficientes para reduzir os teores deste cátion na forma trocável a valores menores do que 0,5 e. mg/100 g de terra, mesmo quando o teor original era igual a 2,3 e. mg/100 g de terra.

O estudo conduzido nos mesmos solos, em condições de campo (MUZILLI *et alii*, 1969), revelou que, aos 60 dias após a aplicação, a quantidade de calcário dolomítico empregada (29,23% de CaO e 21,36% de MgO), $Q = 1,5 \times \text{n}^\circ \text{ de e. mg Al}^{3+} \text{ trocável}/100 \text{ g de terra}$, era suficiente para reduzir em todos os casos, o teor de Al^{3+} trocável a 0,5 ou menos e. mg/100 g de terra, correspondendo a valores $\text{pH} \geq 5,4$. A redução do teor de Al^{3+} trocável bem como a elevação do pH se tornaram mais visíveis à medida que se aumentavam as doses de calcário e o período de amostragem, que se prolongou até 120 dias após a incorporação do corretivo.

CATANI e ALONSO (1969) estudaram a exigência de calcário de 20 amostras de solo empregando a técnica de incubação

com quantidades crescentes de CaCO_3 p.a. Os resultados obtidos serviram para testar os seguintes métodos:

a) Elevação do pH do solo a 6,5, mediante a extração de hidrogênio ou prótons, dos diversos componentes da acidez, com solução neutra e normal de acetato de cálcio e posterior titulação com solução 0,02N de NaOH; obteve-se um coeficiente de correlação $r = 0,92^{**}$.

b) Elevar o pH do solo a 6,5, mediante extração de hidrogênio ou prótons de diversos componentes da acidez, com solução tampão SMP, com pH original 7,5 e determinação posterior do pH da suspensão do solo; obteve-se um coeficiente de correlação $r = 0,90^{**}$.

c) Elevação do pH do solo a 6,5, mediante a elevação da porcentagem de saturação em bases a 85%; obteve-se um coeficiente de correlação $r = 0,96^{**}$.

d) Elevação do pH do solo a 5,7, por meio da extração do alumínio trocável com solução 1N de KCl; coeficiente de correlação $= 0,72^{***}$.

Atualmente, alguns pesquisadores (KAMPRATH, 1967; SANTANA, 1970) têm dado mais ênfase à porcentagem de saturação do complexo coloidal do solo em Al^{3+} que ao próprio teor desse elemento existente em forma trocável, ou à combinação teor de Al^{3+} trocável e soma dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis (SOUZA, 1970).

2.2. Os Corretivos de Acidez dos Solos

Os materiais que podem ser usados na correção da acidez dos solos são aqueles que contêm como "componente neutralizante" ou "princípio ativo", ôxidos, hidrôxidos, carbonatos e/ou silicatos de cálcio e/ou de magnésio.

O material corretivo natural mais comum é o calcârio, existente com relativa frequência e abundância, o que justifica o seu maior uso universalmente. Seu componente neutrilizante é o carbonato de cálcio, normalmente associado ao carbonato de magnésio.

Além do calcário, diversos outros materiais também podem ser usados como corretivos. Óxido de cálcio e/ou de magnésio, obtidos pela calcinação de calcário, também conhecidos como cal virgem e se apresentam, por natureza, como pó bastante fino. Hidrôxido de cálcio e/ou de magnésio, obtidos pela hidratação dos ôxidos de cálcio e/ou de magnésio, também conhecidos como cal hidratada ou cal extinta, cujas características e propriedades são muito semelhantes às do ôxido. Calcário calcinado, obtido pela calcinação parcial do calcário, onde nem todo o CaCO_3 e MgCO_3 são decompostos, é um produto intermediãrio entre o calcário e a cal. Escórias de siderurgia, sub-produto da indústria do ferro e do aço, cujo componente neutrilizante é o silicato de cálcio e/ou de magnésio, comportam-se semelhante ao calcário (GOMES *et alii*, 1962; WUTKE e GARGANTINI, 1962 e GOMES *et alii*, 1965) e apresentam teores relativamente

elevados de micronutrientes, mas praticamente não têm sido usados. Outros materiais, como: margas (depósitos terrestres de carbonato de cálcio), calcários marinhos (corais, sambaquis) e sub-produtos de diversas indústrias, podem ser usados.

No Brasil o material mais importante como corretivos é o calcário.

2.3. Os Calcários

2.3.1. Conceito e Classificação

Calcário é um termo geral que abrange rochas carbonatadas ou fósseis, compostas primariamente de carbonato de cálcio ou combinações de carbonatos de cálcio e magnésio com quantidades variadas de impurezas, sendo as mais comuns sílica e alumina.

Calcita ou aragonita contêm 100% de CaCO_3 (56% de CaO); dolomita pura contêm 54,3% de CaCO_3 e 45,7% de MgCO_3 (30,4% de CaO e 21,8% de MgO). Em função do teor de MgCO_3 presente nos calcários, estes são classificados em altamente calcíticos, quando o teor de MgCO_3 é baixo (não excedendo a 2-5% ou a 1-2,5% de MgO); magnesiano, quando o teor de MgCO_3 é de 5-20% ou 2,5-10% de MgO); dolomítico, quando o teor de MgCO_3 é maior do que 20% ou o de MgO maior que 10% (BOYNTON, 1965).

2.3.2. Origem e Mineralogia

O calcário, que é a mais importante e abundante de

todas as rochas sedimentares, com emprego comercial e é, geralmente, de origem orgânica.

Os fossilíferos, sedimentações marinhas e de água doce, são constituídos de conchas e esqueletos de plantas e animais, gradualmente acumulados por deposição, camada sobre camada, para formar, em alguns casos, camadas maciças de rocha calcária. Alguns destes sedimentos foram depositados por reações químicas naturais, isto é, dissolução infinitesimal destes fósseis de carbonato de cálcio através da ação solvente do dióxido de carbono, formando bicarbonato de cálcio, o qual foi posteriormente reprecipitado na forma de carbonato. Algumas vezes esta precipitação é indireta, por intermédio de organismos vegetais e/ou animais. A precipitação direta de carbonato através de uma solução saturada é causada por um aumento na temperatura, a qual provoca uma redução na solubilidade do carbonato de cálcio (BOYNTON, 1965).

A textura e a forma cristalina da rocha calcária dependem do tamanho e formato das partículas ou grãos de calcário que são depositados normalmente. Esta deposição é contaminada por diferentes quantidades de impurezas, como sílica, que através do tempo, tornam-se uma parte integrante (íntima) da rocha, cimentadas externamente por partículas de carbonato.

O sedimento calcário pode permanecer relativamente friável. ou pode ser metamorfisado através de altas temperaturas e pressão e se fundir numa forma altamente cristalina. Exemplos de rocha calcária que não são de

origem orgânica seriam as estalactites e estalagmites em cavernas e alguns calcários aolíticos, travertina e turfa calcária. Entretanto, a presença de fósseis em vários graus é visível na maioria dos calcários comerciais e isto possibilita aos geólogos determinar a era geológica da qual derivaram.

Outro constituinte comum da rocha calcária, o carbonato de magnésio, é formado da mesma maneira descrita anteriormente, mas existe também uma teoria de que ele foi formado pela troca de cálcio por magnésio a partir de sais de magnésio que estão em abundância no mar. A decomposição da serpentina (silicato de magnésio hidratado) seria uma outra origem possível.

Todas as autoridades geológicas concordam que o calcário pode ser composto de 4 minerais e ter impurezas restritas: Calcita - CaCO_3 ; Aragonita - CaCO_3 ; Dolomita - $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ e Magnesita - MgCO_3 . Nos minerais acima, há um ponto de desacordo que é a controvérsia sobre o fato da dolomita ser um carbonato duplo de cálcio e magnésio ou uma mistura mecânica de calcita e magnesita.

Os dois tipos fundamentais de calcário são o calcítico e o dolomítico. Calcário altamente puro (calcita ou aragonita) tem 100% de carbonato de cálcio. Não há calcário com esta pureza, comercialmente disponível. Para fins práticos, o calcário é considerado calcítico (alto teor de cálcio) de alta qualidade quando tem de 97 a 99% de CaCO_3 e dolomítico quando tem de 40 a 43% de MgCO_3 , com o composto CaCO_3 apresentando um

um teor um pouco maior do que o teórico, e 1 a 3% de impurezas.

Em água destilada pura que é livre de CO_2 dissolvido e numa atmosfera livre de CO_2 , o calcário é virtualmente insolúvel, mas com o aumento da pressão parcial de CO_2 , a solubilidade aumenta até o ponto onde pode ser caracterizado como fracamente solúvel.

A solubilidade de todos os calcários é marcadamente aumentada com aumento no incremento da pressão de CO_2 , e a amplitude da solubilidade torna-se progressivamente menor, com o aumento da temperatura.

Kline (1923) citado por BOYNTON (1965), calculou a taxa de solubilidade do CaCO_3 a várias temperaturas, independente da pressão de 1 atm (25°C). Ele provou que a solubilidade decresce prontamente, assim que a temperatura é elevada acima de 0°C .

O aumento das pressões parciais de CO_2 tem o mesmo efeito da magnesita, exceto que o grau de dissolução é mais pronunciado. À $19,5^\circ\text{C}$ e à pressão de 9 atmosferas de CO_2 , observou-se uma solubilidade de 56,59 g/l. Desta maneira, o MgCO_3 é cerca de 15 a 20 vezes mais solúvel do que o CaCO_3 em bases equivalentes, porém a dolomita é considerada como sendo apenas 2 a 3 vezes mais solúvel.

Soluções aquosas de sais de várias concentrações afetam a solubilidade do carbonato de cálcio e magnésio de diferentes minerais, com ou sem pressão de CO_2 .

Apesar dos sais, a altas concentrações, aumentarem

a solubilidade dos calcários em 10 ou 20 vezes, em nenhum caso o mineral carbonato torna-se realmente solúvel. Modestos aumentos na solubilidade ocorrem mesmo com concentrações muito diluídas, como 0,1 a 0,5 g/l de soluto.

2.4. Ação Neutralizante dos Corretivos e Fatores que Influem

A baixa solubilidade do calcário faz com que a velocidade de neutralização da acidez dependa da área de contato entre o corretivo e o solo. Quanto menor a granulometria do calcário mais rápida é a reação de neutralização (MIELNICZUK *et alii*, 1971; VERLENGIA e GARGANTINI, 1972; BOHNEN e WÜNSCHE, 1972; SOUZA e NEPTUNE, 1979 e TEDESCO e ANGHINONI, 1980).

O calcário agrícola é constituído por um contínuo de frações granulométricas inferiores a 2,00 mm (a legislação brasileira permite até 50% de partículas compreendidas entre 2 e 0,3 mm - peneiras nº 10 e 50 - ABNT, respectivamente). As frações mais finas do corretivo reagem mais rapidamente, atingindo o pH de equilíbrio no solo em pouco tempo (2 a 3 meses). Devido a este fato, GARGANTINI (1974) não detectou diferenças na efetividade entre os tratamentos de calcário que adicionou ao solo, pois todos continham as frações mais finas. Em outro trabalho, VERLENGIA e GARGANTINI (1972) reconhecem que as frações mais finas são mais eficientes na correção da acidez.

A velocidade de neutralização depende também do

teor de umidade, da temperatura, do grau de homogeneização com o solo, e das propriedades físicas e químicas do calcário.

Para avaliar a qualidade do calcário como corretivo da acidez é necessário estabelecer índices que expressem a capacidade de reação de cada fração granulométrica durante um período de tempo determinado. A metodologia de trabalho mais indicada é a descrita por LOVE *et alii* (1960), necessitando separação das diversas frações do corretivo, adição ao solo em quantidades variáveis de cada uma e avaliação dos elementos da acidez do solo por 3-5 anos.

Alguns trabalhos de incubação em laboratório ou casas de - vegetação têm sido realizados (BOHNEN e WÜNSCHE, 1972; VERLENGIA e GARGANTINI, 1972; TEDESCO e ANGHINONI, 1980). A extrapolação destes dados para condições de campo, entretanto, pode representar resultados não satisfatórios devido às variações em temperatura, umidade e grau de homogeneização com o solo. Os trabalhos com plantas em vasos não foram conduzidos por um período suficiente para reação completa das partículas mais grossas, superior a 2 anos (LOVE *et alii*, 1960 e TEDESCO e ANGHINONI, 1980).

Além disso, a informação de pesquisa disponível indica que as maiores diferenças entre as frações granulométricas são observadas neste intervalo de partículas (diâmetro de 2,00 a 0,25 mm), porquanto as frações de menor diâmetro tendem a nivelar seus efeitos nos primeiros 12 meses de atuação no solo.

2.5. Eficiência dos Calcários na Correção da Acidez dos Solos

A eficiência dos calcários depende do teor de carbonatos, do grau de moagem, da estrutura cristalina do material, do teor de umidade, da temperatura do solo, do tipo de vegetação, do manejo do solo, etc.

Como a correção da acidez dos solos é feita pelo ion carbonato, cuja reação inicial de hidrólise no solo é:

torna-se claro que a eficiência do calcário é proporcional ao teor de carbonato, "princípio ativo" ou o componente neutralizante dos calcários.

A importância do conteúdo de neutralizantes nos corretivos é óbvia. No entanto, os diferentes constituintes neutralizantes têm diferentes capacidades de neutralização da acidez. A fim de que o teor neutralizante reflita também a capacidade de neutralização, esse teor é expresso em "equivalente em carbonato de cálcio" (E_{CaCO_3}), ao qual se atribuiu o valor 1 ou 100% à sua capacidade de neutralização. A capacidade de neutralização dos diferentes constituintes está apresentada na Tabela 1.

TABELA 01 - Equivalente em carbonato de cálcio dos diferentes constituintes neutralizantes dos corretivos.

Constituintes	Fórmula	Equivalentes		%
		em 100 g	E_{CaCO_3}	E_{CaCO_3}
Carbonato de cálcio	$CaCO_3$	2,00	1,00	100
Carbonato de magnésio	$MgCO_3$	2,37	1,19	119
Hidróxido de cálcio	$Ca(OH)_2$	2,70	1,35	135
Hidróxido de magnésio	$Mg(OH)_2$	3,43	1,72	172
Óxido de cálcio	CaO	3,57	1,79	179
Óxido de magnésio	MgO	4,96	2,48	248
Silicato de cálcio	$CaSiO_3$	1,72	0,86	86
Silicato de magnésio	$MgSiO_3$	1,99	1,00	100

Assim, dispondo-se do teor dos constituintes neutralizantes de um corretivo, o seu E_{CaCO_3} é facilmente calculado:

Teor de óxidos no corretivo	$\% E_{CaCO_3}$
25% de CaO e 15% de MgO	$25 \times 1,79 + 15 \times 2,48 = 82,0$
35% de CaO e 3% de MgO	$35 \times 1,79 + 3 \times 2,48 = 70,1$
60% de CaO e 12% de MgO	$60 \times 1,79 + 12 \times 2,48 = 137,2$
80% de CaO e 1% de MgO	$80 \times 1,79 + 1 \times 2,48 = 145,7$

Referências feitas na literatura, tanto estrangeira (BARBER, 1967) como nacional (MALAVOLTA, 1967), consideram que corretivos com um teor equivalente em CaCO_3 abaixo de 80% são de baixa qualidade.

A legislação dos Estados Unidos da América estabelece diferentes mínimos em $\%E_{\text{CaCO}_3}$, para a comercialização dos diversos corretivos (AAPFCO, 1976): cal virgem - 140; cal extinta - 110; calcário, escórias e sambaquis - 80).

A legislação brasileira (BRASIL, 1982) não estabelece um mínimo de E_{CaCO_3} para os corretivos. Porém, exige um mínimo de 38% na soma dos óxidos de cálcio e de magnésio. Se, hipoteticamente, o óxido for exclusivamente CaO , o $\%E_{\text{CaCO}_3}$ é 68. Essa condição não é comum e qualquer substituição de CaO por MgO eleva substancialmente esse valor.

Apesar da óbvia importância do teor de neutralizantes do corretivo, as recomendações de calagem ainda não estão suficientemente refinadas para levar em conta esse fator. As considerações que têm sido feitas são empíricas e essa carência compromete, pelo menos em parte, o estudo econômico que aparentemente parece ser bastante viável, a respeito das possíveis vantagens do calcário calcinado, quando se computa principalmente o custo do transporte.

A composição química de qualquer material calcário expressa seu poder neutralizante num estado potencial e por conseguinte, sua capacidade em corrigir a acidez do solo. Não indica, porém, sua eficiência. Conforme tem sido demonstrado

conclusivamente, a rapidez de reação de um calcário no solo ou em qualquer meio ácido diluído, depende, em grande parte, do estado de divisão do material.

A ação dos calcários no solo ocorre através do contato entre ambos: quanto maior a superfície do contato, mais rápida será sua ação. Sabe-se que quanto menor o tamanho das partículas de um material, maior é a sua superfície de exposição, razão porque o tamanho das partículas dos corretivos constitui uma característica fundamental da qualidade, particularmente nos calcários.

Mais recentemente, tem-se interessado, no Brasil, em avaliar a eficiência relativa das diferentes frações granulométricas dos calcários. No sul do país têm sido utilizados valores estabelecidos nos Estados Unidos da América do Norte. RAIJ (1977) estimou valores baseando-se em trabalho de VERLENGIA e GARGANTINI (1972), no qual utilizou 2 calcários, um calcítico e um dolomítico, e um tipo de solo. Estes dois conjuntos de valores referidos estão condensados na Tabela 02.

TABELA 02 - Estimativas da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários, no Brasil.

Fração Granulométrica	Eficiência Relativa*	
	A (%)	B
maior do que 10	0	0
10 - 20	20	-
10 - 50	-	40
20 - 60	60	-
menor do que 50	-	100
menor do que 60	100	-

*A: Valores adotados no sul do Brasil; a fração granulométrica é dada em "mesh".

B: Valores encontrados por RAIJ (1977); a fração granulométrica é dada em nº de peneira - USBS.

Através dos valores da eficiência relativa de cada fração pode-se avaliar a eficiência relativa (ER) de um calcário em função de sua composição granulométrica através da expressão:

$$\% ER_{\text{calcário}} = \frac{F_1 \cdot \frac{Er_1}{100} + F_2 \cdot \frac{Er_2}{100} + \dots + F_n \cdot \frac{Er_n}{100}}{100}$$

onde: $F_1, F_2, \dots, F_n$ = percentual das diversas frações granulométricas.

$E_{r_1, r_2, \dots, r_n}$ = eficiência relativa percentual das respectivas frações granulométricas.

RAIJ (1977), utilizando as composições granulométricas de 32 amostras de calcários, cuja média foi 20,3%, 20,6%, 8,3% e 49,1% para as frações 10-20, 20-50, 50-60 e menor do que 60, respectivamente, calculou as eficiências relativas em função da granulometria, com base nas taxas que estabeleceu e nas utilizadas no sul do país: no segundo caso os valores foram sempre inferiores, cuja média foi 70,6% contra 73,8%.

Considerando-se as condições elevada acidez dos solos brasileiros e o clima quente e relativamente úmido, permite-se supor, pelo menos que a reatividade dos calcários deva ser maior do que nas condições norte-americanas. Assim conclui-se que as taxas utilizadas no sul e as de RAIJ (1977) devem estar subestimando a reatividade dos calcários nas condições do Brasil. Também, uma das frações granulométricas consideradas no critério sulino (fração 20-60) e no critério de RAIJ (1977) (fração 10-50) é bastante ampla para se atribuir um único valor para a sua eficiência. Mas não resta dúvida que novas estimativas semelhantes devem ser feitas, com calcários e solos diversificados, aperfeiçoando-se então a representatividade des

sas taxas.

Quanto ao tamanho das partículas mineralógicas (expressas em "mesh" ou em milímetros e classificados pela tamisação através de grupos convencionais de peneiras), muitos são os trabalhos existentes e relacionados com a solubilidade.

GARGANTINI (1974), em trabalho com diferentes granulometrias de calcários calcíticos e dolomíticos, avaliadas em função das produções de milho e trigo, mostrou que não foi observada diferença, em efeito, para as diferentes granulometrias dos corretivos estudados.

Os trabalhos de pesquisa realizados com o intuito de medir a eficiência das partículas de calcário com diversas granulometrias na correção da acidez do solo são unânimes em afirmar que o aumento da superfície específica do material, pelo fracionamento dos grânulos, favorece a ação corretiva no solo (LOVE *et alii*, 1960; MIELNICZUK *et alii*, 1971; WÜNSCHE e BOHNEN, 1976).

Os experimentos de SHAW e ROBINSON (1960), onde se estudou a eficiência de calcário de diferentes graus de finura, utilizando-se lisímetros, chegou-se à conclusão que calcário passado em peneira de 60 mesh dissolveu-se em dois anos e o passado em peneira de 8 mesh em 3-4 anos. Neste mesmo trabalho concluiu-se que o calcário dolomítico é tão eficiente quanto o calcítico, quando o calcário dolomítico é duas vezes mais fino que o calcário calcítico.

Trabalhos de BEAR e TOTH (1952) determinaram que

partículas de calcário que atravessam a peneira de 150 mesh e são retidas em peneira de 200 mesh são completamente dissolvidas em solos ácidos. A eficiência baixa para 87,5% para o calcário que fica entre 65-100 mesh, para 33,2% no calcário retido entre peneira de 20-28 mesh e para 17,8% para o material retido na peneira de 10-14 mesh.

Pesquisas de MEYER e VOLK (1952) mostraram que as mudanças de pH do solo ocasionadas pela aplicação de corretivos da acidez dependem mais do tamanho das partículas e do tempo de contato que do tipo de calcário (calcítico ou dolomítico). Verificaram também que a elevação do pH foi de 0,13 após um mês de aplicação de um calcário dolomítico passado em peneira de 4-8 mesh, ao passo que quando se usou peneira de 100 mesh, neste mesmo período, a elevação foi de 1,6. Observaram que o pH do solo que recebeu calcário de peneira mais grossa que 20 mesh decresceu após um mês, onde apuraram que o acréscimo inicial se deveu ao pó que envolve as partículas mais grosseiras. Geralmente, os valores de pH mais elevados ocorrem 6 meses após a aplicação do calcário. Para peneiras 50-60 mesh o valor pH mais elevado ocorreu aos 12 meses, ao passo que, para as partículas que não atravessam a peneira 50 mesh o valor de pH mais elevado ocorreu aos 18 meses. Ficou provado que calcários com granulometria abaixo de 20 mesh são pouco eficientes, pois não houve alteração no pH inicial após 18 meses de contato. Quantidades iguais de calcários calcíticos e dolo

míticos de igual finura elevam o pH após 6 a 9 meses de sua aplicação; essa mesma tendência verifica-se para as frações que não passam pela peneira 50 mesh após 18 meses de aplicação. Entretanto, acima de 9 meses, materiais dolomíticos de peneira 50 ou mais fina causaram maior elevação do pH do que o calcário calcítico de igual finura. Materiais passados em peneiras entre 20-30 mesh, cujas quantidades aplicadas foram de 20 t/ha, reagiram após 18 meses e verificou-se que toda partícula que não passa na peneira 40 mesh pareceu possuir igual valor neutralizante.

Em experimento onde se visou observar o efeito imediato de calcários calcíticos e dolomíticos de diferentes graus de finura no trevo vermelho, bem como residual na alfafa, BEACHER *et alii* (1952) observaram que o trevo vermelho não se desenvolveu quando o calcário não foi aplicado ou então quando o calcário calcítico ou dolomítico de peneira 20-40 mesh foi usado. O calcário calcítico de peneira 60-80 mesh foi eficiente, mas o dolomítico, de tamanho correspondente, foi ineficiente. Calcários dolomíticos e calcíticos mais finos que peneira 100 mesh foram tão eficientes quanto a cal hidratada na produção e redução dos teores de hidrogênio, alumínio e manganês trocáveis. O calcário dolomítico foi tão bom quanto ao calcítico para peneira mais fina que 100 mesh. O crescimento da alfafa mostrou que o efeito residual dos calcários passados em peneira de 20-40 mesh ainda era ineficiente. Tanto o calcário calcítico como o dolomítico de peneira 60-80 mesh mostraram influência residual

na alfafa. Foi verificado que a acidez trocável foi de 3,1 e. mg/100 g de solo e também maior valor de pH, menor teor de alumínio e maior teor de cálcio quando se usou o calcário calcítico passado em peneiras de 100-200 mesh.

Em relação à granulometria de materiais calcários, LEPSCH *et alii* (1968) observaram que 14 amostras apresentaram uma porcentagem acumulativa que passa pela peneira de nº 50 menor que 50%, sendo este um valor abaixo do limite mínimo estabelecido pela legislação, sendo que a porcentagem que passa pela peneira de nº 50 nunca foi inferior a 40%. Também verificaram que em média 97% a 100% de materiais procedentes de seis regiões passam pela peneira de nº 10 quando a legislação exige que passe 100% do material.

A eficiência das frações granulométricas pode ser medida por seus efeitos no solo (pH, Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc). Estudos realizados por BRAGA *et alii* (1971), onde se procurou apreciar o efeito de calcário sobre os níveis de pH, cálcio, magnésio, fósforo e potássio do solo, mostraram que em uma das localidades estudadas, embora o pH tenha sido inferior, os teores de cálcio foram maiores. A análise de variância mostrou significância onde a causa da variação foi a profundidade, e que as maiores quantidades de calcário aplicadas não alteram o teor de cálcio no solo. Notou-se também que as doses não afetam a quantidade de cálcio na profundidade de 0,20 m, não havendo, portanto, movimento descendente pronunciado do cálcio, isto provavelmente devido à não solubilização dos compostos de cál

cio existentes no solo ou adicionado na forma de carbonato de cálcio, ou devido ao tempo de contato que foi relativamente curto. O teor de cálcio adicionado correlacionou-se significativamente com os valores de pH apenas na primeira amostragem a 10 cm de profundidade.

BARBER (1967) diz que é desejável utilizar um calcário que reaja completamente com o solo dentro de dois a três anos. Considerando que a rapidez de reação está relacionada com a finura e que a maior moagem aumenta o custo do produto. Ainda diz que o calcário agrícola precisa conter material fino para promover uma rápida correção da acidez do solo e, ao mesmo tempo, incluir algum material menos fino, de modo que os benefícios da calagem se estendam por um período de tempo mais longo.

Diz ELPHICK (1955) que as formas de avaliação da efetividade do calcário pelos diversos autores têm sido principalmente: a) pela razão de dissolução dos carbonatos no solo ou outros meios ácidos; b) pelos efeitos sobre as propriedades dos solos, como pH, saturação de bases, etc; e c) pelos efeitos sobre a produção de culturas.

Quanto à forma química dos carbonatos, tem sido considerado que os calcários calcíticos são mais reativos do que os dolomíticos, principalmente na literatura norte - americana (BARBER, 1967). No Brasil, GALLO *et alii* (1956) não verificaram diferença entre ambos na cultura de soja. VERLENGIA e GARGANTINI (1972) encontraram que o calcário dolomítico foi mais

efetivo do que o calcítico na elevação do pH do solo. GARGANTI NI (1974) obteve os mesmos efeitos entre ambos no aumento de produção da massa seca de milho e de trigo.

BEACHER *et alii* (1952) observaram que partículas de igual tamanho de dolomita e de calcários calcíticos foram igualmente eficientes para a produção de alfafa. Por outro lado, em se tratando de material calcítico, partículas dos mesmos corretivos, de igual tamanho, porém mais finas ou iguais a 80 mesh, foram muito mais eficientes na produção do trevo vermelho.

A eficiência de um calcário na correção de acidez do solo e sua disponibilidade de Ca e Mg às plantas dependem de uma série de fatores conjugados. Se, entre os fatores que dizem respeito ao material calcário, o poder neutralizante, o tipo de material, o grau de finura e a dose e maneira de aplicação do calcário são de elevada importância agrícola e econômica, entre os fatores extrínsecos, as condições de clima e de solo, as perdas por lavagem, bem como por remoção pelas plantas, e as exigências das culturas, dificultam sobremaneira o cálculo da quantidade de corretivo a ser incorporado, como também o julgamento do valor efetivo dos materiais calcários.

2.6. Avaliação da Qualidade dos Calcários por Métodos Químicos

Dentre as diversas características relacionadas com

a qualidade dos corretivos de acidez do solo, duas se mostram as mais importantes e são as que têm sido consideradas na avaliação da qualidade desses produtos: granulometria e teor de neutralizantes.

Em relação à granulometria, no Brasil, a exigência oficial é de que os corretivos devam passar 100% em peneira nº 10 (ABNT) e, no mínimo, 50% em peneira nº 50 (ABNT).

Quanto ao teor de neutralizantes, a avaliação é feita através da determinação do poder de neutralização (PN), que consiste em digerir brandamente a amostra de corretivo com uma quantidade conhecida e excessiva de ácido em solução relativamente diluída (0,5N). O excesso de ácido que não reage é posteriormente determinado e a quantidade de ácido neutralizada pelo corretivo é o seu PN e é expresso em %E_{CaCO₃}. E como os neutralizantes devem estar na forma de cálcio e de magnésio, estes constituintes também são determinados e expressos em forma de óxidos. À primeira vista, pode-se inferir que, quanto maior o teor de neutralizantes, melhor a qualidade do corretivo. Contudo, o aumento da capacidade de neutralização dos corretivos é acompanhada nas características químicas e físicas dos solos que apresentam diversas vantagens no caso dos óxidos e hidróxidos, razão porque o calcário calcinado poderia se constituir numa alternativa interessante (ALCARDE, 1982). A legislação brasileira exige que os corretivos apresentem 67% de poder de neutralização (com tolerância para menos de até 20% da garantia) e 38% na soma dos óxidos de cálcio e de magnésio (com tolerância para menos de até 10% da garantia

da soma, sem exceder a 20% para o Óxido de magnésio).

Através da avaliação desses dois parâmetros, isto é, granulometria e teor de neutralizantes, separadamente, fica difícil definir quantitativamente a qualidade de um corretivo; e isso impede o seu uso racional em função da qualidade, face às necessidades dadas pelas recomendações de calagem.

Tal dificuldade levou à idealização de um índice que traduzisse a eficiência de um corretivo contemplando esas duas características de qualidade: o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), surgido nos Estados Unidos e utilizado no Estado de Ohio daquele país (TISDALE e NELSON, 1975), o qual é obtido pela expressão:

$$PRNT = \frac{\%E_{CaCO_3} \times \%ER}{100}$$

sendo: $\%E_{CaCO_3} = 1,79 \times \% CaO + 2,48 \times \% MgO$

$\%ER$ = eficiência relativa porcentual em função da granulometria.

Observação: o valor de $\%E_{CaCO_3}$ poderia, ou melhor, deveria ser o determinado no poder de neutralização. Ocorre que a metodologia oficial brasileira (BRASIL, 1982) estabeleceu, para essa determinação, o uso de amostra tal qual é comercializada e nessas condições

o valor PN encontrado é normalmente menor do que o obtido pelo cálculo indicado. Isso porque, na de terminação do PN a digestão da amostra é branda, não sendo efetiva sobre as partículas mais grosseiras e na determinação do cálcio e do magnésio a digestão é enérgica, promovendo a solubilização total. O ideal seria usar o valor obtido do PN, cuja determinação fosse feita na amostra moída e passada em peneira nº 100 (ABNT) (AOAC, 1980).

A adoção desse índice oficialmente no Brasil vem sendo sugerida há alguns anos. Apesar da sua indiscutível utilidade, a sua não oficialização até agora é devida à indefinição existente na avaliação da eficiência granulométrica. Porém, tem sido utilizado extra-oficialmente, empregando, no cálculo da eficiência granulométrica, as taxas adotadas no sul do país e as adotadas no Estado de São Paulo, as quais foram apresentadas no item 2.5.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos em casa-de-vegetação na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP - Piracicaba, SP, no período de agosto de 1980 a novembro de 1981. Estes ensaios constituíram-se de incubações em três tipos de solo com quatro tipos de calcários visando ao estudo da eficiência de quatro frações granulométricas dos calcários.

3.1. Materiais

3.1.1. Solos

Foram empregados três solos ácidos, de regiões de vegetação de cerrado, provenientes de Brasília (DF) e Assis (SP). Os solos foram retirados de uma camada entre 0-30 cm, secos ao e peneirados a 2mm.

A classificação dos solos utilizados encontra-se na Tabela 03.

TABELA 3 - Classificação dos solos utilizados

PROVENIÊNCIA	CLASSIFICAÇÃO
Brasília (DF)	Latossolo Vermelho Amarelo - Distrófico Argiloso-LVd
Brasília (DF)	Latossolo Vermelho Escuro - Distrófico Argiloso-LEd
Assis (SP)	Latossolo Vermelho Escuro - Fase arenosa - LEa

As características físicas e químicas dos três solos LVd, LEd, LEa, se encontram na Tabela 4.

3.1.2. Corretivos

Foram utilizados dois tipos de calcários, isto é, sedimentar e metamórfico, separados em 4 frações granulométricas, a saber: as frações retidas entre as peneiras nºs 5-10, 10-30, 30-50 e 50-60 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT).

As análises químicas dos corretivos estão apresentadas na Tabela 05.

TABELA 4 - Características físicas e químicas da camada de 0-30 cm dos três solos
 LVd, LEd, LEa, antes da incubação.

SOLOS	Análise Química										Análise Granulométrica						
	pH (H ₂ O) (1:2,5)	Carbono Z	M.O. Z	Teor em miliequivalentes/100g de TFSA						CTC		(Z)	Argila	Limo	Areia Total		
				Solúvel		Trocável				Efet.	Pot.						
				PO ⁻³ ₄	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)								
																VZ	S
Lvd	5,2	1,56	2,69	0,03	0,27	0,40	0,20	0,40	5,90	1,27	6,77	13	0,87	31,5	37	9	54
LEd	5,1	1,80	3,10	0,07	0,27	0,40	0,30	2,20	7,60	3,17	8,57	12	0,97	69,4	65	13	22
LEa	4,6	0,26	0,65	0,09	0,08	0,30	0,30	0,98	2,20	1,66	2,88	25	0,68	59,0	13	1	86

TABELA 05 - Teores de óxidos de cálcio e de magnésio nas diferentes frações granulométricas dos calcários estudados. (Média de 5 repetições)

Calcários	Granulometria	%	
		CaO	MgO
Sedimentar (Amostra 1)	5-10	29,61	19,65
	10-30	28,14	23,32
	30-50	29,19	19,78
	50-60	29,61	21,36
Sedimentar (Amostra 2)	5-10	27,30	20,00
	10-30	28,14	21,16
	30-50	32,90	22,87
	50-60	27,58	19,29
Metamórfico (Amostra 3)	5-10	31,78	19,80
	10-30	32,13	20,55
	30-50	31,99	18,44
	50-60	32,97	17,93
Metamórfico (Amostra 4)	5-10	28,42	17,13
	10-30	26,18	19,39
	30-50	25,55	16,57
	50-60	24,15	15,87

3.2. Métodos

As doses de calcário foram calculadas com base na curva de neutralização dos solos com CaCO_3 p.a., por um período de 40 dias. Essas curvas foram obtidas adicionando-se ao solo, quantidades crescentes de CaCO_3 p.a., correspondentes a 2, 4, 6 e 8 t/ha, no caso dos solos LVd e LEa e 4, 8, 12 e 16 t/ha, no caso do solo LEd, em função do seu alto poder tampão⁽¹⁾. As respectivas curvas são mostradas nas Figuras 1, 2 e 3.

As unidades experimentais foram constituídas de 500 g de solo, colocados em copos de polietileno. Cada fração granulométrica dos calcários foi misturada com o solo utilizando-se uma quantidade equivalente à de óxidos necessários para elevar o pH a 6,5; o ensaio foi realizado em casa de vegetação, com controle de umidade (30%). Após períodos de 8, 16, 32, 48, 64, 80, 96, 128 e 160 dias, foram coletadas amostras de solo, homogeneizando-se o total de solo de cada vaso, seguido de retirada da amostra, a qual foi seca ao ar. Determinou-se imediatamente nas mesmas o pH e os teores de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis.

O pH foi determinado em água na proporção de 1:2,5 (solo-água) após 30 minutos de repouso com auxílio de um potenciômetro com escala expandida. Os teores de cálcio e magnésio

(1) Informação BOLETIM Nº 2 - EMBRAPA - PLANALTINA (DF).

FIGURAS 1 a 3 - Relação dada pela equação de regressão linear, entre pH e quantidades de CaCO_3 p.a. (mg/50 g solo), determinada por incubação.

foram determinados por quelatometria e o de alumínio por alca
limetria, no produto da extração com KCl-lN (VETTORI, 1969).

3.3. Delineamento Experimental

O delineamento utilizado foi o Inteiramente Casualiz
ado, num esquema fatorial 3 x 4 x 4 (3 tipos de solo, 4 calcári
os e 4 frações granulométricas), com 4 repetições. Consider
ando-se que as amostragens foram repetidas no tempo, fez-se
para cada tratamento a regressão polinomial, até 3º grau.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Valor pH

4.1.1. Solo LVd

Na Tabela 06 são apresentados os dados médios dos valores pH do solo LVd em função de 09 tempos de incubação para os quatro tipos de calcários com as suas diferentes frações granulométricas.

Na Tabela 07 são apresentados os valores de F para as equações de primeiro, segundo ou terceiro grau, levando-se em conta somente os que deram significativos. Nas Figuras 04 a 07 são apresentadas gráfica e matematicamente as equações obtidas.

Observa-se pelas Figuras 04 e 05 que os calcários sedimentares mais grosseiros 5-10 e 10-30 (ABNT), não alteraram significativamente o valor pH do solo, fato este também observado por (BOHNEN & WUNCHE, 1972; VERLENGIA e GARGANTINI,

TABELA 6 - Variação do pH do solo Lvd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	5,33	5,37	5,30	5,23	5,27	5,23	5,33	5,27	5,20	
	10 - 30	5,53	5,57	5,60	5,57	5,60	5,70	5,77	5,77	5,80	
	30 - 50	5,67	5,80	5,90	6,03	6,07	6,20	6,37	6,47	6,37	
	50 - 60	5,83	5,93	6,03	6,17	6,30	6,47	6,50	6,50	6,47	
Sedimentar 2	5 - 10	5,33	5,40	5,37	5,40	5,43	5,37	5,33	5,27	5,27	
	10 - 30	5,53	5,60	5,63	5,57	5,60	5,67	5,77	5,77	5,80	
	30 - 50	5,70	5,83	5,87	5,93	6,00	6,13	6,33	6,53	6,37	
	50 - 60	5,83	5,97	6,03	6,17	6,27	6,43	6,57	6,57	6,73	
Metamórfico 3	5 - 10	5,30	5,33	5,30	5,30	5,30	5,30	5,33	5,23	5,20	
	10 - 30	5,47	5,53	5,57	5,63	5,63	5,67	5,73	5,83	5,77	
	30 - 50	5,57	5,67	5,83	5,97	6,03	6,13	6,33	6,53	6,30	
	50 - 60	5,73	5,90	6,00	6,13	6,27	6,47	6,53	6,57	6,47	
Metamórfico 4	5 - 10	5,33	5,30	5,27	6,27	5,33	5,37	5,40	5,33	5,27	
	10 - 30	5,50	5,53	5,57	5,57	5,63	5,70	5,83	5,93	5,73	
	30 - 50	5,63	5,67	5,77	5,93	6,07	6,10	6,23	6,47	6,33	
	50 - 60	5,77	5,90	6,00	6,10	6,27	6,43	6,53	6,57	6,50	

TABELA 7 - Valores de F da equação de regressão de 1º, 2º ou 3º grau, referentes à variação do pH, teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} , em função do tempo de incubação.

Teste P	Calcários																	
	Sedimentar 1						Sedimentar 2						Metamórfico 3					
	5 - 10	10 - 30	30 - 50	50 - 60	5 - 10	10 - 30	30 - 50	50 - 60	5 - 10	10 - 30	30 - 50	50 - 60	5 - 10	10 - 30	30 - 50	50 - 60	5 - 10	10 - 30
	Granulometrias																	
Lvd	-	(1) 75,57	(2) 22,80	(2) 95,23	-	(1) 56,10	(2) 16,68	(2) 42,49	-	(1) 43,03	(2) 93,73	(2) 87,80	-	(3) 24,88	(2) 20,99	(2) 104,87		
pH	(2) 23,15	(2) 6,58	(2) 5,33	(2) 15,69	(1) 24,26	(2) 6,84	(2) 17,08	(2) 85,64	(2) 16,88	(2) 9,26	(2) 24,61	(2) 147,32	(2) 31,09	(2) 7,70	(2) 25,19	(2) 86,15		
LEa	-	(1) 115,59	(1) 560,68	(2) 141,22	(2) 10,45	(1) 190,75	(1) 1262,19	(1) 551,65	-	(1) 154,46	(1) 703,70	(1) 597,69	-	(1) 191,29	(1) 656,78	(1) 1052,45		
Lvd	(1) 39,60	(1) 107,95	(2) 145,41	(3) 60,56	(1) 63,83	(1) 175,86	(2) 100,57	(3) 60,56	(1) 44,75	(1) 175,69	(2) 410,77	(3) 50,33	(1) 81,41	(1) 380,66	(2) 154,14	(3) 49,63		
AL ³⁺	(2) 311,00	(1) 2338,28	(2) 1175,20	(2) 974,05	(2) 346,74	(1) 5427,08	(2) 902,94	(2) 2841,35	(2) 248,75	(1) 4678,17	(2) 989,94	(2) 1560,29	(2) 389,23	(1) 4108,71	(2) 557,59	(2) 3305,27		
LEa	(2) 182,01	(1) 1441,23	(2) 321,91	(2) 388,56	(2) 66,60	(1) 810,41	(2) 664,83	(2) 555,38	(2) 63,40	(1) 954,67	(2) 495,08	(2) 314,65	(2) 88,37	(1) 1109,53	(2) 289,27	(2) 493,31		
Lvd	(1) 79,28	(1) 634,06	(1) 10831,80	(1) 12908,28	(1) 120,66	(1) 510,14	(1) 8544,81	-	(1) 52,21	(1) 860,79	(1) 6147,35	(1) 6752,79	(1) 46,96	(1) 235,77	(1) 9210,75	(1) 5653,65		
Ca ²⁺	(1) 60,56	(1) 33,93	(1) 13025,89	(1) 14737,16	(1) 9,86	(1) 730,26	(1) 17264,28	(1) 2115,68	(1) 59,98	(1) 841,48	(1) 21914,64	(1) 21631,91	(1) 50,32	(1) 701,22	(1) 25556,85	(1) 17839,72		
LEa	(1) 74,90	(1) 3299,21	(2) 604,86	(2) 2093,96	(1) 46,24	(1) 1538,49	(1) 5092,15	(1) 6057,08	(1) 36,29	(1) 890,61	(1) 7428,71	(1) 6699,92	(1) 401,66	(1) 1544,67	(1) 6816,57	(1) 6138,57		
Lvd	(1) 55,44	(1) 423,61	(1) 6453,23	(1) 7465,61	(1) 60,56	(1) 181,25	(1) 6600,04	(1) 9488,47	(2) 12,28	(1) 300,64	(1) 6198,36	(2) 34,38	(1) 90,57	(1) 305,05	(1) 7785,21	(1) 7858,76		
Mg ²⁺	(1) 65,09	(1) 265,34	(1) 8702,60	(1) 8237,27	(1) 96,72	(1) 131,45	(1) 1920,21	(1) 7279,01	(1) 33,87	(1) 186,93	(1) 8539,35	(1) 8931,37	(1) 101,06	(1) 271,04	(1) 6202,89	(1) 9163,11		
LEa	(1) 22,56	(1) 1177,70	(1) 2918,61	(1) 6722,89	(1) 600,43	(1) 1898,90	(1) 1644,04	(1) 14353,81	(1) 174,96	(1) 571,17	(1) 5735,29	(1) 16656,28	(1) 138,44	(1) 712,41	(1) 16974,72	(1) 11506,38		

- Os casos de não significância para as equações de 1º, 2º e 3º grau, são representados por um traço.

- Os valores entre parênteses indicam o grau de equação de regressão selecionada.

1972), a fração 5-10 do calcário metamórfico (Figuras 06 e 07) não alterou o valor pH do solo, porém a fração 10-30 alterou significativamente. Deve-se citar que para as curvas obtidas que não foram significativas são apresentados os valores de $\bar{Y}$ médio. Pelas curvas representativas, bem como pela equação, nota-se que a diferença que existe entre sedimentar e metamórfico deve-se provavelmente à diferença química das amostras, apesar de que a mesma não é elevada (Tabela 05).

Quanto à real efetividade dos calcários e de suas frações os dados mais significativos foram obtidos para os quatro calcários dentro das frações 30-50 e 50-60 (ABNT), sendo que sempre o mais fino reagiu melhor, elevando mais rapidamente o valor pH do solo, como aqueles obtidos por MIELNICZUK *et alii*, 1971; SOUZA e NEPTUNE, 1979; TEDESCO e ANGHINONI, 1980. Nas Figuras 04 a 07 vê-se a representação gráfica bem como as respectivas equações.

Dentro da fração 30-50, após o cálculo do Ponto de Máxima Eficiência Técnica (M.E.T.), procurou-se determinar o ponto máximo de valor pH atingido em função do tempo, determinando-se o valor 6,39 para o calcário metamórfico-3.

Igual raciocínio se fez para a fração 50-60 (ABNT), para os calcários, obtendo-se os valores pH 6,65 aos 127 dias para o calcário sedimentar-1.

4.1.2. Solo LED

FIGURAS 4 a 7 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do pH em função do tempo de incubação, no solo LVD com os quatro tipos de calcários.

Na Tabela 08, encontram-se os dados referentes a valores pH em função do tempo de incubação bem como dos diferentes calcários com as diferentes frações.

Na Tabela 07, são apresentados os valores de F, para as equações do primeiro, segundo ou terceiro grau.

Nas Figuras de 08 a 11, são apresentadas gráfica e matematicamente as equações obtidas.

Para este solo, observa-se nas Figuras 08 a 11 uma variação no valor pH diferente daquela obtida para o solo LVd, pois, somente para um dos calcários sedimentares-2, e um dos metamórficos-3 é que a fração 5-10 não reagiu, independentemente do tempo de incubação. Para a fração 10-30, o que não se notou para os calcários sedimentares 1 e 2 no solo LVd foi observado no solo LEd para todos os calcários. A possível explicação desse fato pode ser dada pelo potencial de ácidos oriundos da decomposição de um maior teor de matéria orgânica, o qual solubilizaria frações mais grosseiras de calcalcário, associada ao maior teor de argila, o qual aumentaria a superfície específica de contato, porém, a elevação do valor do pH não foi marcante, pois, tanto a matéria orgânica como o teor de argila, dão a esse solo maior poder tampão, induzindo com isso variabilidades menores que aquelas observadas nos solos LVd e LEd.

O comportamento de reação das frações 30-50 e 50-60 para os quatro tipos de calcários foram de ordem quadrática,

TABELA 8 - Variação do pH do solo LED, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	5,17	5,23	5,23	5,23	5,27	5,30	5,33	5,27	5,00	
	10 - 30	5,33	5,37	5,40	5,43	5,53	5,70	5,77	5,73	5,87	
	30 - 50	5,53	5,70	5,73	5,80	5,87	6,10	6,27	6,47	6,47	
	50 - 60	5,73	5,87	5,93	6,03	6,20	6,37	6,53	6,50	6,50	
Sedimentar 2	5 - 10	5,20	5,27	5,23	5,20	5,27	5,30	5,37	5,30	5,33	
	10 - 30	5,37	5,43	5,47	5,57	5,60	5,70	5,83	5,87	5,90	
	30 - 50	5,53	5,63	5,70	5,83	5,97	6,10	6,27	6,47	6,43	
	50 - 60	5,77	5,93	6,03	6,13	6,30	6,47	6,57	6,60	6,50	
Metamórfico 3	5 - 10	5,13	5,23	5,20	5,27	5,23	5,27	5,30	5,27	5,13	
	10 - 30	5,30	5,37	5,33	5,43	5,53	5,67	5,77	5,83	5,80	
	30 - 50	5,46	5,63	5,70	5,83	5,93	6,13	6,33	6,47	6,47	
	50 - 60	5,67	5,87	5,97	6,07	6,20	6,40	6,53	6,63	6,47	
Metamórfico 4	5 - 10	5,17	5,23	5,20	5,27	5,30	5,33	5,40	5,33	5,20	
	10 - 30	5,30	5,37	5,37	5,33	5,53	5,63	5,77	5,80	5,73	
	30 - 50	5,50	5,67	5,67	5,87	6,00	6,13	6,37	6,50	6,43	
	50 - 60	5,70	5,87	5,90	6,03	6,23	6,40	6,57	6,63	6,47

FIGURAS 8 a 11 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do pH em função do tempo de incubação, no solo LEd com os quatro tipos de calcários.

bastante semelhantes inclusive com aqueles apresentados para o solo LVd (Figuras 04 a 07), porém, deve-se notar que no tempo de 160 dias, dentro do solo LEd a eficiência da fração 30-50 tende a igualar àquela da fração 50-60.

Calculando-se o Ponto de Máxima Eficiência Técnica (M.E.T.) em função das equações obtidas e levando-se em conta somente aqueles valores obtidos dentro do intervalo de tempo estudado (até 160 dias), obteve-se para a fração 50-60, o maior valor pH em função de todos os calcários e tempos, o qual foi de 6,59 aos 130 dias para o calcário sedimentar-2.

4.1.3. Solo LEa

Na Tabela 09, são encontrados os valores pH em função do tempo de incubação bem como dos quatro calcários com suas quatro diferentes frações granulométricas.

Na Tabela, 07, são apresentados os valores de F, para as equações de primeiro, segundo ou terceiro grau.

Nas Figuras de 12 a 15 são apresentadas gráfica e matematicamente as equações obtidas. Para a fração mais grosseira 5-10, independentemente do tipo de calcário não se detectou reação, mantendo-se constante o valor pH em função do tempo de incubação; todas as outras frações, com exceção da 50-60 para o calcário sedimentar-1, tiveram uma reação linear em função do tempo, mas sempre a granulometria mais fina reagiu

TABELA 9 - Variação do pH do solo LEa, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	4,90	4,93	4,90	4,90	4,97	4,97	4,93	4,80	4,93	
	10 - 30	5,07	5,13	5,13	5,10	5,27	5,37	5,40	5,33	5,47	
	30 - 50	5,30	5,37	5,37	5,47	5,63	5,77	5,87	6,07	6,13	
	50 - 60	5,43	5,63	5,73	5,93	6,07	6,27	6,47	6,53	6,43	
Sedimentar2	5 - 10	4,87	4,93	4,93	4,97	4,97	5,03	5,07	4,93	4,83	
	10 - 30	5,10	5,17	5,20	5,23	5,23	5,37	5,47	5,53	5,47	
	30 - 50	5,33	5,43	5,50	5,57	5,67	5,87	6,00	6,30	6,23	
	50 - 60	5,50	5,67	5,80	5,97	6,10	6,27	6,47	6,60	6,50	
Metamórfico 3	5 - 10	4,83	4,87	4,87	4,97	4,93	4,93	4,97	4,90	4,87	
	10 - 30	5,03	5,03	5,07	5,10	5,17	5,27	5,40	5,47	5,47	
	30 - 50	5,23	5,33	5,43	5,53	5,63	5,77	5,97	6,20	6,17	
	50 - 60	5,40	5,60	5,77	5,97	6,17	6,30	6,50	6,53	6,53	
Metamórfico 4	5 - 10	4,87	4,93	4,93	4,97	4,97	4,93	5,00	4,93	4,87	
	10 - 30	5,03	5,07	5,10	5,17	5,20	5,30	5,37	5,40	5,47	
	30 - 50	5,20	5,30	5,37	5,57	5,70	5,87	6,00	6,20	6,17	
	50 - 60	5,37	5,57	5,77	5,93	6,13	6,33	6,50	6,63	6,53

FIGURAS 12 a 15 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do pH em função do tempo de incubação, no solo LEa com os quatro tipos de calcário.

mais que as grosseiras, elevando-se, portanto, o valor pH, confirmando nesse ponto os trabalhos de VERLENGIA e GARGANTINI (1972). Essa maior reatividade dos calcários nesse tipo de solo, em função dos anteriormente citados, deve-se provavelmente ao teor de matéria orgânica que é de 0,65%, o teor de argila que é 13% e o de areia total de 86%, materiais esses que em conjunto condicionam uma baixa CTC do solo. Nesses tipos de solo em relação aos outros dois, para fins agrícolas deve-se usar uma dose menor de calcários.

Como somente para o calcário sedimentar-1 obteve-se uma equação de regressão quadrática, calculou-se para tanto o Ponto de Máxima Eficiência Técnica (M.E.T.), o qual proporcionou um valor pH de 6,56 no tempo de 141 dias. Deve-se frisar que para fins de fertilidade de solo, não é de todo interessante a obtenção de equações de regressão lineares, pois, isto indica que o solo não atingiu o seu ponto de equilíbrio, e que aí se torna difícil fazer suposição a respeito de qual calcário seria o melhor e qual seria o tempo de melhor reação, pois, observando-se as Figuras 13 a 15 vê-se que os valores pH obtidos aos 160 dias, aproximam-se de 7,0.

4.2. Teor de Al^{3+}

4.2.1. Solo LVd

Na Tabela 10, são apresentados os valores de Al^{3+}

TABELA 10 - Variação do teor de Al^{3+} do solo LVd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	0,37	0,35	0,32	0,32	0,32	0,32	0,29	0,27	0,21	
	10 - 30	0,35	0,29	0,27	0,24	0,21	0,19	0,11	0,03	0,00	
	30 - 50	0,29	0,24	0,13	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	50 - 60	0,24	0,19	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sedimentar 2	5 - 10	0,37	0,35	0,32	0,32	0,32	0,29	0,27	0,24	0,19	
	10 - 30	0,35	0,27	0,24	0,21	0,21	0,19	0,11	0,03	0,00	
	30 - 50	0,29	0,21	0,13	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	50 - 60	0,24	0,19	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Metamórfico 3	5 - 10	0,37	0,40	0,35	0,35	0,35	0,32	0,29	0,27	0,21	
	10 - 30	0,35	0,32	0,29	0,27	0,24	0,21	0,11	0,03	0,00	
	30 - 50	0,29	0,24	0,16	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	50 - 60	0,24	0,19	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Metamórfico 4	5 - 10	0,40	0,40	0,37	0,37	0,35	0,32	0,29	0,27	0,19	
	10 - 30	0,35	0,32	0,24	0,24	0,21	0,19	0,11	0,00	0,00	
	30 - 50	0,29	0,24	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	50 - 60	0,27	0,19	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

em função do tempo de incubação dos quatro calcários com seus quatro graus de finura.

Na Tabela 07, são apresentados os valores de F , para as equações de primeiro, segundo e terceiro grau.

Nas Figuras de 16 a 19 são apresentadas gráfica e matematicamente, as equações obtidas.

Independentemente do tipo de calcário, as frações 5-10 e 10-30 não neutralizaram totalmente o Al^{3+} , mesmo no tempo de 160 dias a não ser para o caso do calcário sedimentar-1, cujo teor de Al^{3+} para a fração 10-30 foi eliminado no tempo de 148 dias, Figura 16, fato também observado por BOHNEN e WÜNCHE (1972), valor este que não se deve levar em conta em função do tempo decorrido, pois a nível agrícola perde a sua aplicabilidade.

Sempre a fração 50-60 reagiu em um menor tempo que a de 30-50, para os quatro tipos de calcários, mas esses calcários eliminaram o Al^{3+} do solo, em períodos que tiveram a seguinte variabilidade: para a fração 30-50 necessitou-se de 72 a 84 dias e, para a fração 50-60, este tempo ficou reduzido para a faixa de 51 a 57 dias, dando, portanto, um período menor em cerca de 30 dias, o que representa, para a agropecuária um prazo bastante grande, tendo-se em vista a necessidade que se tem de plantios não muito tardios; isto é, no início das águas, pois, a aplicação do calcário se faz em julho e agosto.

FIGURAS 16 a 19 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Al^{3+} em função do tempo de incubação, no solo LVD com os quatro tipos de calcários.

Deve-se citar que o teor original de Al^{3+} desse solo era de 0,40 e.mg/100 g TFSA e que para as frações mais finas 30-50 e 50-60, já, aos 8 dias, quando se iniciaram as determinações, esses teores já tinham decrescidos numa faixa entre 0,24 e 0,29 e.mg. Se levarmos em conta a saturação do Al^{3+} , obteve-se que para o calcário mais fino, 50-60, a saturação diminuiu de 31,4% para 19%. Em vista disso, sugere-se que as determinações Al^{3+} , quando se usa calcário mais fino, seja feita em intervalo de tempo menores que aqueles do presente ensaio.

4.2.2. Solo LEd

Na Tabela 11, são encontrados os valores de Al^{3+} em função dos tempos de incubação e dos calcários e frações utilizadas.

Na Tabela 07, são apresentados os valores de F, para as equações de primeiro, segundo e terceiro grau.

Nas Figuras de 20 a 23, são apresentadas gráfica e matematicamente, as equações obtidas. Independentemente do tipo de calcário e de suas respectivas frações, as curvas tiveram um comportamento semelhante. A granulometria mais grossa 5-10 teve efeito quadrático, pois se nota que até cerca de 48 dias a mesma não neutralizou o Al^{3+} , porém, logo após esse período, o fez de maneira quadrática, em função do

TABELA 11 - Variação do teor de Al^{3+} do solo LEd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	2,11	2,05	2,03	2,00	1,97	1,95	1,87	1,43	0,93	
	10 - 30	1,95	1,84	1,49	1,44	1,25	1,20	0,99	0,59	0,35	
	30 - 50	1,57	1,33	0,93	0,64	0,48	0,21	0,05	0,00	0,00	
	50 - 60	1,39	1,09	0,67	0,35	0,16	0,03	0,00	0,00	0,00	
Sedimentar 2	5 - 10	2,13	2,08	2,05	2,03	2,00	1,95	1,87	1,40	0,88	
	10 - 30	1,92	1,81	1,44	1,39	1,25	1,15	0,96	0,56	0,35	
	30 - 50	1,57	1,25	0,85	0,61	0,43	0,24	0,11	0,00	0,00	
	50 - 60	1,41	1,09	0,64	0,32	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	
Metamórfico 3	5 - 10	2,16	2,13	2,08	2,03	2,03	1,97	1,87	1,53	0,96	
	10 - 30	1,95	1,84	1,52	1,49	1,36	1,23	0,93	0,61	0,37	
	30 - 50	1,65	1,39	0,91	0,64	0,51	0,27	0,11	0,00	0,00	
	50 - 60	1,49	1,23	0,75	0,35	0,19	0,03	0,00	0,00	0,00	
Metamórfico 4	5 - 10	2,19	2,16	2,13	2,08	1,97	1,95	1,84	1,56	0,93	
	10 - 30	1,95	1,85	1,55	1,52	1,31	1,23	0,93	0,64	0,37	
	30 - 50	1,65	1,47	0,93	0,67	0,53	0,29	0,16	0,03	0,00	
	50 - 60	1,52	1,23	0,75	0,37	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00

FIGURAS 20 a 23 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Al^{3+} em função do tempo de incubação, no solo LEd com os quatro tipos de calcário.

tempo.

Para a fração 10-30, a neutralização do Al^{3+} , não ocorreu de maneira total, porém, foi linear até os 160 dias. Por outro lado, as frações 30-50 e 50-60 eliminaram o Al^{3+} do solo, porém sempre a mais fina foi a mais eficiente para a fração 50-60 a eliminação do Al^{3+} se deu entre 81 a 86 dias e para a fração 30-50, entre 106 e 109 dias, isto é, cerca de 25 dias a mais. Deve-se notar que este período é bastante semelhante àquele obtido para o solo LVd.

4.2.3. Solo LEa

Na Tabela 12, encontram-se os dados do Al^{3+} em função dos tempos de incubação e dos quatros tipos de calcários, com seus quatros graus de finura.

Na Tabela 07, são apresentados os valores de F , para as equações de primeiro, segundo e terceiro grau.

Nas Figuras 24 a 27 são apresentadas, gráfica e matematicamente as equações obtidas.

O comportamento das curvas de reação dos calcários, independentemente das granulometrias, são bastante semelhantes com as citadas para o solo LEd, alterando-se somente os valores quantitativos, confirmando em parte as afirmações de WUNCHE e BOHNEN (1972). A fração 5-10, apesar de efeito quadrático, praticamente não reagiu até os 48 dias, o que era de

TABELA 12 - Variação do teor de Al^{3+} do solo LEa, em função do tempo de incubação
(média de 4 repetições)

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	0,93	0,91	0,88	0,91	0,88	0,85	0,75	0,56	0,24	
	10 - 30	0,77	0,75	0,69	0,67	0,64	0,51	0,24	0,05	0,00	
	30 - 50	0,61	0,51	0,35	0,19	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	
	50 - 60	0,48	0,35	0,19	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sedimentar 2	5 - 10	0,91	0,93	0,91	0,88	0,85	0,83	0,67	0,53	0,27	
	10 - 30	0,75	0,72	0,67	0,64	0,61	0,53	0,27	0,08	0,03	
	30 - 50	0,64	0,51	0,27	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	50 - 60	0,48	0,32	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Metamórfico 3	5 - 10	0,93	0,93	0,91	0,91	0,88	0,85	0,72	0,61	0,29	
	10 - 30	0,77	0,77	0,69	0,67	0,64	0,53	0,29	0,13	0,03	
	30 - 50	0,64	0,53	0,29	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
	50 - 60	0,51	0,35	0,19	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Metamórfico 4	5 - 10	0,93	0,91	0,91	0,88	0,85	0,83	0,72	0,59	0,27	
	10 - 30	0,77	0,75	0,69	0,67	0,64	0,53	0,29	0,13	0,00	
	30 - 50	0,67	0,51	0,32	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
	50 - 60	0,53	0,40	0,19	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

FIGURAS 24 a 27 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Al^{3+} em função do tempo de incubação, no solo LEa com os quatro tipos de calcários.

se esperar, tendo-se em vista que o solo é pobre em matéria orgânica, e portanto, potencialmente pobre em ácidos que solubilizariam essas partículas mais grosseiras, pois, a reação ocorre na superfície e é por isto, lenta.

A fração 10-30 reagiu linearmente em função do tempo na diminuição do Al^{3+} , chegando para o calcário sedimentar-2 e para os dois metamórficos, a eliminar o Al^{3+} no período de 160 dias de incubação, fato este não detectado para os solos LVd e LEd. Este comportamento pode ser explicado, como já o foi anteriormente, pelo baixo poder tampão desse solo, quer em função do teor de matéria orgânica, quer em função do teor de argila. Para as granulometrias mais finas, 30-50 e 50-60, já aos 8 dias (1ª determinação) o teor de Al^{3+} decresceu de 0,98 e.mg para cerca de 0,50 e.mg para 50-60 e 0,64 e.mg para 30-50. Em função do tempo, observa-se nas Figuras 24 a 27 que o Al^{3+} foi eliminado do solo em períodos de tempo bem mais curtos que nos outros solos. Para a fração 30-50 entre 76 a 84 dias e para a fração 50-60 entre 69 a 72 dias.

Deve-se citar que, em função da menor capacidade de troca catiônica desse solo, a diferença entre as eficiências dessas duas frações 30-50 e 50-60 foi estreitada, pois, enquanto no LVd a variação era de 20 a 26 dias e no LEd de 20 a 33 dias, para o solo LEa essa faixa se situou entre 5 a 15 dias, mostrando que não se necessita de granulometrias muito finas para se eliminar o Al^{3+} do solo, quando o poder tampão

desse é baixo.

Não se deve esquecer que um calcário comercial na da mais é do que uma somatória de frações granulométricas, e em função dessas poder-se-ia ter um material de PRNT específico para cada tipo de solo, pois, tudo indica que a eficiência do calcário é mais marcante quando se leva em conta as propriedades físicas e químicas do solo, que a própria eficiência relativa do calcário.

4.3. Teor de Ca^{2+}

4.3.1. Solo LVd

Na Tabela 13, são encontrados os teores de Ca^{2+} em função do tempo de incubação bem como dos calcários e seus graus de finura.

Na Tabela 07, são apresentados os valores F, para as equações de primeiro, segundo e terceiro grau.

Nas Figuras de 28 a 31, encontram-se as representações gráfica e matemática das equações obtidas.

Pela observação das Figuras 28 a 31, nota-se, independentemente do tipo de calcário, uma semelhança bastante estreita entre as frações e a reação dessas em função do tempo, sendo todas representadas por equação linear. Praticamente, a fração mais grosseira (5-10) não alterou o teor de Ca^{2+} ao longo do tempo, porém a de 10-30 o fez, de maneira não

TABELA 13 - Variação do teor de Ca^{2+} do solo LVd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	0,21	0,24	0,21	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35	0,40	
	10 - 30	0,35	0,43	0,51	0,53	0,56	0,59	0,67	0,91	1,07	
	30 - 50	0,67	0,85	1,01	1,41	1,89	2,45	2,67	2,85	3,11	
	50 - 60	1,01	1,31	1,61	1,89	2,32	2,61	2,88	3,01	3,47	
Sedimentar 2	5 - 10	0,24	0,24	0,24	0,24	0,27	0,29	0,32	0,37	0,40	
	10 - 30	0,37	0,45	0,53	0,56	0,59	0,64	0,69	0,93	1,09	
	30 - 50	0,64	0,99	1,39	1,89	2,08	2,32	2,60	2,77	3,03	
	50 - 60	0,99	1,33	1,76	1,92	2,37	2,60	2,77	2,96	3,22	
Metamórfico 3	5 - 10	0,21	0,24	0,21	0,21	0,24	0,24	0,29	0,35	0,37	
	10 - 30	0,35	0,43	0,48	0,51	0,53	0,56	0,64	0,91	1,07	
	30 - 50	0,61	0,85	1,20	1,31	1,71	2,33	2,48	2,69	2,93	
	50 - 60	0,93	1,23	1,48	1,87	2,16	2,45	2,72	2,99	3,19	
Metamórfico 4	5 - 10	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	0,29	0,32	0,37	
	10 - 30	0,35	0,43	0,45	0,48	0,51	0,53	0,64	0,85	1,01	
	30 - 50	0,59	0,91	1,25	1,73	2,05	2,21	2,40	2,64	2,80	
	50 - 60	0,91	1,23	1,51	1,87	2,19	2,48	2,67	2,88	3,01

FIGURAS 28 a 31 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Ca^{2+} em função do tempo de incubação, no solo LVD com os quatro tipos de calcários.

muito acentuada, resultados que se aproximaram aos de TEDESCO e ANGHINONI (1980).

O aumento do teor de Ca^{2+} foi bastante notado para as frações 30-50 e 50-60, independentemente do calcário utilizado, porém sempre com maiores valores para a granulometria mais fina (50-60). De uma maneira geral, na fração 30-50 o teor de Ca^{2+} variou no tempo de 8 dias, de 0,59-0,67 e.mg. até 2,80-3,12 e.mg. para 160 dias, valores estes sempre crescentes e lineares; para a granulometria 50-60, a variação foi de 0,91-1,01 e.mg aos 8 dias até 3,01-3,47 e.mg aos 160 dias. Essas reações de efeitos lineares provavelmente aconteceram em função de que a dose de calcário utilizada não foi suficiente para saturar esse solo, pois o seu poder tampão é bastante elevado, devido ao teor de matéria orgânica (2,69%) e o de argila (37%).

4.3.2. Solo LED

Na Tabela 14, são encontrados os valores de Ca^{2+} em função do tempo de incubação e dos quatro tipos de calcários com seus diferentes graus de finura.

Na Tabela 07, são apresentados os valores F, para as equações de primeiro, segundo e terceiro grau.

Nas Figuras 32 a 35, são apresentadas, gráfica e matematicamente, as equações de regressão obtidas.

TABELA 14 - Variação do teor de Ca^{2+} do solo LED, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	0,19	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,29	0,35	0,37	
	10 - 30	0,24	0,29	0,35	0,40	0,43	0,48	0,53	0,72	0,83	
	30 - 50	0,53	0,83	1,15	1,65	2,35	2,72	2,99	3,36	3,79	
	50 - 60	0,93	1,25	1,79	2,35	2,72	3,27	3,71	3,97	4,27	
Sedimentar 2	5 - 10	0,19	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,29	0,37	0,40	
	10 - 30	0,27	0,29	0,37	0,40	0,45	0,48	0,56	0,75	0,91	
	30 - 50	0,59	0,91	1,17	1,68	2,35	2,59	2,88	3,25	3,81	
	50 - 60	0,96	1,31	1,89	2,53	2,93	3,43	3,79	4,27	4,40	
Metamórfico 3	5 - 10	0,19	0,19	0,19	0,21	0,24	0,24	0,29	0,32	0,35	
	10 - 30	0,24	0,27	0,29	0,27	0,35	0,40	0,48	0,69	0,93	
	30 - 50	0,51	0,75	1,15	1,52	2,21	2,69	3,09	3,81	4,19	
	50 - 60	0,91	1,23	1,87	2,45	2,99	3,55	3,87	4,51	4,91	
Metamórfico 4	5 - 10	0,19	0,19	0,21	0,19	0,21	0,24	0,29	0,32	0,35	
	10 - 30	0,24	0,27	0,29	0,29	0,35	0,40	0,45	0,69	0,93	
	30 - 50	0,51	0,75	1,15	1,49	2,24	2,67	3,12	3,89	4,19	
	50 - 60	0,91	1,25	1,63	1,89	2,43	2,99	3,55	4,05	4,51

FIGURAS 32 a 35 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Ca^{2+} em função do tempo de incubação, no solo LED com os quatro tipos de calcários.

Em função do solo anterior, nota-se que existe uma semelhança de comportamento dos calcários e de suas granulometrias. As frações grosseiras (5-10 e 10-30), pouco contribuíram para o aumento do teor de Ca^{2+} do solo até os 160 dias da incubação, tendo, portanto, um valor agrônômico bastante baixo.

Os calcários mais finos tiveram uma reação bastante acentuada, porém linear, e sempre a fração 50-60 forneceu mais Ca^{2+} ao solo que a 30-50. Apesar do solo não ter se equilibrado quanto ao teor de cálcio, pode-se dizer que a variabilidade do mesmo foi a seguinte: para a fração 30-50, de 0,51-0,59 e.mg. aos 8 dias, elevou-se para 3,79-4,19 e.mg aos 160 dias e, para a fração 50-60, de 0,91-0,96 e.mg aos 8 dias, para 4,27-4,91 e.mg aos 160 dias.

4.3.3. Solo LEa

Na Tabela 15, são encontrados os valores de Ca^{2+} em função do tempo de incubação e dos corretivos com suas respectivas frações granulométricas.

Na Tabela 07, são apresentados os valores de F, para as equações de primeiro, segundo e terceiro grau.

Nas Figuras 36 a 39, são apresentadas gráfica e matematicamente, as equações obtidas. Pela observação das Figuras 36 a 39 nota-se que, com exceção das granulometrias 30-50 e

TABELA 15 - Variação do teor de Ca^{2+} do solo LEa, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	0,27	0,28	0,31	0,29	0,31	0,34	0,37	0,38	0,40	
	10 - 30	0,31	0,32	0,35	0,37	0,38	0,43	0,49	0,59	0,72	
	30 - 50	0,49	0,57	0,71	0,86	0,99	1,07	1,16	1,20	1,23	
	50 - 60	0,61	0,79	0,93	1,05	1,11	1,15	1,17	1,19	1,21	
Sedimentar 2	5 - 10	0,27	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,34	0,38	0,40	
	10 - 30	0,34	0,36	0,42	0,45	0,49	0,53	0,59	0,66	0,74	
	30 - 50	0,48	0,53	0,61	0,70	0,78	0,85	0,93	0,99	1,10	
	50 - 60	0,53	0,64	0,71	0,83	0,95	1,03	1,10	1,16	1,20	
Metamórfico 3	5 - 10	0,24	0,27	0,31	0,30	0,31	0,31	0,31	0,35	0,37	
	10 - 30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,49	0,53	0,59	0,65	0,72	
	30 - 50	0,51	0,61	0,73	0,83	0,91	1,07	1,19	1,26	1,31	
	50 - 60	0,60	0,64	0,79	0,86	0,93	1,07	1,15	1,28	1,32	
Metamórfico 4	5 - 10	0,24	0,24	0,30	0,30	0,31	0,32	0,34	0,37	0,40	
	10 - 30	0,35	0,39	0,43	0,48	0,53	0,59	0,63	0,69	0,81	
	30 - 50	0,49	0,58	0,71	0,83	0,94	1,02	1,09	1,14	1,21	
	50 - 60	0,66	0,79	0,85	0,89	0,93	1,04	1,13	1,19	1,22

FIGURAS 36 a 39 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Ca^{2+} em função do tempo de incubação, no solo LEa com os quatro tipos de calcários.

50 - 60 do calcário sedimentar-1, as quais foram quadráticas, todos os outros três calcários e suas respectivas frações granulométricas tiveram efeitos lineares. Pela observação dessas curvas, vê-se que as mesmas se cruzam ao redor de 136 dias pois, como o poder tampão desse solo é menor que o do LEd e o LVD, a granulometria 30-50 tende a igualar-se e inclusive ultrapassar a eficiência da granulometria 50-60 no período de 160 dias. As granulometrias mais grosseiras de uma maneira geral, para todos os calcários, tenderam a dar uma reação ao longo do tempo e isso foi notado em função de que, por menor que seja a reatividade dessas partículas (5-10, 10-30), como o poder tampão do solo é baixo, essa pequena solubilidade dos calcários é detectada pela análise química, tendo-se em vista que os mesmos ficam mais disponíveis. Pela Figura 37, vê-se que o calcário sedimentar-2 reagiu também linearmente com o tempo, porém, o mais fino 50-60 teve melhor efeito que a fração menos fina 30-50. Os valores obtidos variaram de 0,53 a 1,20 e.mg. Nas Figuras 38 e 39, praticamente as retas representativas das frações 30-50 e 50-60 se superpõem, indicando que em solos arenosos e pobres em matéria orgânica, consequentemente com baixo poder tampão, a partir de um certo grau de finura o poder de reação dos mesmos é igual. Para os dois calcários metamórficos esse fato aconteceu, provavelmente porque a soma dos teores de CaO e MgO para cada calcário foi praticamente igual.

A variabilidade, incluindo os dois calcários metamórficos, foi de: 0,48-0,68 e.mg aos 8 dias e 1,20-1,34 e.mg aos 160 dias.

Em relação aos outros solos, como os teores de carbonatos fornecidos são os mesmos e nesse ensaio não ocorreu lixiviação e nem extração por culturas é de se supor que uma porcentagem desse material não tenha reagido em função do próprio potencial do solo em solubilizar esses carbonatos.

4.4. Teor de Mg^{2+}

4.4.1. Solo LVd

Na Tabela 16, são encontrados os valores de Mg^{2+} em função do tempo de incubação e para os calcários com seus diferentes graus de finura.

Na Tabela 07, são apresentados os valores de F, para as equações de primeiro, segundo e terceiro grau.

Nas Figuras 40 a 43, são apresentadas gráfica e matematicamente, as equações obtidas. Excetuando as equações quadráticas obtidas para o calcário metamórfico-3 em suas frações granulométricas 5-10 e 50-60, todas as demais equações foram lineares, demonstrando, como para o Ca^{2+} , uma condição de não equilíbrio químico no solo. Sempre as frações mais grosseiras (5-10, 10-30) tiveram pouca eficiência no fornecimento de Mg^{2+} ao solo, inclusive com uma inclinação da reta bastan

TABELA 16 - Variação do teor de Mg^{2+} do solo Lvd, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	0,21	0,24	0,24	0,24	0,24	0,27	0,29	0,35	0,37	
	10 - 30	0,32	0,40	0,48	0,48	0,51	0,53	0,59	0,64	0,77	
	30 - 50	0,53	0,75	0,93	1,15	1,39	1,79	2,13	2,45	2,67	
	50 - 60	0,75	1,01	1,17	1,41	1,73	2,13	2,45	2,77	3,09	
Sedimentar 2	5 - 10	0,21	0,24	0,27	0,27	0,27	0,29	0,32	0,37	0,40	
	10 - 30	0,32	0,37	0,45	0,45	0,48	0,51	0,53	0,61	0,69	
	30 - 50	0,53	0,75	0,91	1,17	1,39	1,79	2,13	2,51	2,67	
	50 - 60	0,75	0,91	1,15	1,44	1,76	2,11	2,43	2,69	3,07	
Metamórfico 3	5 - 10	0,24	0,24	0,27	0,24	0,24	0,24	0,29	0,32	0,37	
	10 - 30	0,32	0,40	0,43	0,45	0,48	0,51	0,59	0,67	0,75	
	30 - 50	0,48	0,75	0,88	1,07	1,25	1,65	2,00	2,37	2,61	
	50 - 60	0,69	0,85	1,09	1,31	1,63	1,89	2,29	2,53	2,99	
Metamórfico 4	5 - 10	0,24	0,24	0,21	0,24	0,24	0,24	0,32	0,35	0,37	
	10 - 30	0,29	0,40	0,43	0,43	0,48	0,51	0,53	0,69	0,77	
	30 - 50	0,48	0,72	0,85	1,09	1,25	1,63	1,95	2,35	2,59	
	50 - 60	0,67	0,85	1,09	1,39	1,71	1,89	2,32	2,51	3,01

FIGURAS 40 a 43 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Mg^{2+} , em função do tempo de incubação, no solo LVD com os quatro tipos de calcários.

te baixa em relação às abcissas, demonstrando que os valores determinados aos 8 dias não são muito diferentes daqueles obtidos aos 160 dias. Porém, ao se utilizar as granulometrias mais finas, a inclinação da reta se acentua e a diferença de concentração inicial (8 dias) e final (160 dias) é mais ampla. Os valores médios dessa variabilidade foram: para a fração 30-50, de 0,48-0,56 e.mg aos 8 dias para 2,56-2,78 e.mg aos 160 dias e para a fração 50-60, de 0,64-0,80 e.mg aos 8 dias para 2,96-3,12 e.mg aos 160 dias, resultados semelhantes aos de TEDESCO e ANGHINONI (1980).

4.4.2. Solo LEd

Na Tabela 17, encontram-se os valores de Mg^{2+} , em função dos tempos de incubação, dos tipos de calcários e de suas granulometrias.

Na Tabela 07, são apresentados os valores de F, para as equações de primeiro, segundo e terceiro grau.

Nas Figuras de 44 a 47, são apresentadas gráfica e matematicamente, as equações obtidas.

De uma maneira geral, existe uma semelhança de comportamento entre os diferentes calcários, com seus diferentes graus de finura, no fornecimento de Mg^{2+} para o solo LEd e para o LVd, que já foi anteriormente explicado.

Sempre a reação foi mais eficiente, e em ordem cres

TABELA 17 - Variação do teor de Mg^{2+} do solo LED, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Funções Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	0,29	0,32	0,29	0,29	0,32	0,35	0,37	0,43	0,48	
	10 - 30	0,35	0,37	0,40	0,45	0,48	0,51	0,59	0,67	0,75	
	30 - 50	0,48	0,75	0,69	0,85	1,09	1,57	2,03	2,35	2,56	
	50 - 60	0,72	0,91	1,01	1,31	1,55	1,95	2,35	2,67	2,99	
Sedimentar 2	5 - 10	0,32	0,29	0,29	0,29	0,32	0,35	0,37	0,48	0,48	
	10 - 30	0,37	0,43	0,45	0,48	0,48	0,51	0,53	0,61	0,69	
	30 - 50	0,51	0,67	0,75	0,96	1,09	1,55	1,97	2,35	2,56	
	50 - 60	0,69	0,91	1,09	1,33	1,55	1,89	2,35	2,69	2,99	
Metamórfico 3	5 - 10	0,29	0,32	0,29	0,32	0,35	0,35	0,37	0,40	0,43	
	10 - 30	0,35	0,37	0,43	0,43	0,43	0,45	0,51	0,67	0,75	
	30 - 50	0,48	0,59	0,69	0,88	0,99	1,39	1,84	2,19	2,43	
	50 - 60	0,67	0,80	1,04	1,31	1,41	1,79	2,19	2,59	2,91	
Metamórfico 4	5 - 10	0,27	0,27	0,27	0,29	0,32	0,35	0,40	0,43	0,48	
	10 - 30	0,35	0,37	0,43	0,45	0,48	0,48	0,51	0,69	0,77	
	30 - 50	0,51	0,61	0,69	0,91	1,09	1,41	1,79	2,16	2,45	
	50 - 60	0,69	0,80	0,99	1,31	1,41	1,79	2,24	2,59	2,93

FIGURAS 44 a 47 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Mg^{2+} , em função do tempo de incubação, no solo LEd com os quatro tipos de calcários.

cente, das frações mais grosseiras (5-10, 10-30) para as mais finas (30-50, 50-60). As mais grosseiras não elevaram os teores de Mg^{2+} em função do tempo e do tipo de calcário, porém, as mais finas tiveram, ao longo do tempo, um comportamento mais efetivo, ou seja, fornecendo mais Mg^{2+} ao solo. A variabilidade nas trocas iniciais (8 dias) e finais (160 dias), independentemente do tipo de calcário foram: para a fração 30-50 de 0,48-0,50 e.mg para 2,43-2,56 e.mg e, para a fração 50-60, de 0,67-0,72 e.mg para 2,91-2,29 e.mg.

Não se deve esquecer que esses efeitos lineares indicam que não foi obtido o equilíbrio químico do solo, o que poderia ser explicado pela não dissolução total do carbonato de magnésio contido no calcário.

4.4.3. Solo LEa

Na Tabela 18, são encontrados os valores de Mg^{2+} , em função do tempo de incubação, dos diferentes calcários com as diversas frações granulométricas.

Na Tabela 07, são apresentados os valores de F, para as equações de primeiro, segundo e terceiro grau.

Na Figuras 48 a 51, são apresentadas gráfica e matematicamente, as equações obtidas. Pela observação dessas Figuras, nota-se que, para as frações granulométricas grosseiras 5-10 e 10-30, as retas chegam a se sobrepor no início da incu

TABELA 18 - Variação do teor de Mg^{2+} do solo LEa, em função do tempo de incubação (média de 4 repetições).

Calcários	Frações Granulométricas (nº peneira - ABNT)	Tempo de incubação (dias)									
		8	16	32	48	64	80	96	128	160	
Sedimentar 1	5 - 10	0,32	0,35	0,36	0,35	0,35	0,37	0,38	0,40	0,42	
	10 - 30	0,34	0,39	0,38	0,40	0,41	0,45	0,49	0,57	0,66	
	30 - 50	0,53	0,64	0,75	0,84	0,94	1,13	1,24	1,38	1,48	
	50 - 60	0,63	0,76	0,85	0,93	1,05	1,13	1,26	1,41	1,52	
Sedimentar 2	5 - 10	0,32	0,32	0,32	0,35	0,36	0,37	0,40	0,43	0,47	
	10 - 30	0,33	0,34	0,36	0,39	0,38	0,40	0,48	0,54	0,65	
	30 - 50	0,63	0,75	0,83	0,91	1,01	1,09	1,25	1,39	1,55	
	50 - 60	0,69	0,77	0,87	0,95	1,07	1,15	1,27	1,39	1,53	
Metamórfico 3	5 - 10	0,29	0,32	0,34	0,35	0,37	0,40	0,42	0,43	0,45	
	10 - 30	0,36	0,37	0,37	0,36	0,37	0,39	0,44	0,51	0,67	
	30 - 50	0,53	0,63	0,75	0,83	0,93	1,03	1,17	1,29	1,47	
	50 - 60	0,69	0,73	0,83	0,89	1,03	1,17	1,29	1,41	1,55	
Metamórfico 4	0 - 10	0,31	0,32	0,35	0,36	0,39	0,41	0,41	0,43	0,47	
	10 - 30	0,32	0,33	0,36	0,38	0,39	0,45	0,53	0,59	0,67	
	30 - 50	0,55	0,63	0,75	0,85	0,97	1,09	1,21	1,31	1,45	
	50 - 60	0,65	0,75	0,83	0,91	1,07	1,19	1,31	1,42	1,57

FIGURAS 48 a 51 - Representação gráfica da equação de regressão polinomial do Mg^{2+} , em função do tempo de in cubação, no solo LEa com os quatro tipos de calcários.

bação (até ± 32 dias) e, a partir desse tempo, a fração 5-10 fornece pouco Mg^{2+} ao solo, porém a 10-30 apresenta uma maior diferenciação, atingindo o máximo aos 160 dias. Apesar desse aspecto, o valor agronômico da fração 10-30 não é viável devido ao tempo decorrido após a incubação. Quanto às frações 30-50 e 50-60, as mesmas são praticamente superpostas para os dois tipos de calcários sedimentares e, para os dois tipos de metamórficos, as duas curvas são praticamente paralelas e bastante próximas.

Esses fatos, vêm novamente afirmar o que já foi dito em função do poder tampão desse solo, pois, a eficiência dos calcários além de ser bastante semelhante, chegam a se igualar para as frações 30-50 e 50-60.

Dentro de valores médios, pode-se dizer que, para a fração 30-50, a variabilidade aos 8 dias foi de 0,53-0,63 e.mg a 1,47-1,55 e.mg aos 160 dias. para granulometria 50-60 foi de 0,63-0,69 e.mg aos 8 dias para 1,52-1,57 e.mg aos 160 dias. Ao se observar esses valores, pode-se dizer que os mesmos são semelhantes em função de seu uso agronômico, pois a variabilidade entre eles, quer no início quer no fim da incubação, é bastante próxima.

4.5. Estudo das Interações entre Solos, Calcários e Frações Granulométricas

Fez-se a análise de variância auxiliar para se de

terminar os valores do teste F para as interações Solos x Calcários, Solos x Frações e Calcários x Frações, para pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} e para as 09 épocas de estudo. Nos efeitos significativos obtidos fizeram-se todos os desdobramentos possíveis, e pelos dados obtidos, observou-se que sempre a interação Solos x Frações foi significativa para qualquer época ou para qualquer determinação feita. Disso se pressupõe que no estudo da reatividade dos calcários, o mais importante é o efeito das frações granulométricas, independentemente do tipo de calcário, e isto, em função de cada solo. Dentro de um contexto, as propriedades de um solo não se alteram com facilidade, porém um grau de moagem dos calcários é facilmente obtido, pois, nota-se pelas análises químicas apresentadas (Tabela 05), que a diferença dos teores totais de óxidos dos corretivos não é elevada. Em função do exposto, deveria ter-se, para cada solo, reações diferentes para uma mesma fração granulométrica, mas isso é inaplicável. Portanto, o adequado é se determinar o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de um calcário não se levando em conta a reação desse material em cada tipo de solo.

4.6. Estimativa da Eficiência Relativa das Frações Granulométricas

Nas Tabelas 06, 08 e 09 estão apresentados os dados de variação do pH obtidos nos 3 solos, incubados com os quatro

tipos de calcários nas suas diferentes frações granulométricas. É importante notar que após 12 semanas, aproximadamente, a fração 50-60, e apenas ela, de todos os calcários proporcionou a elevação do pH para 6,5 nos três solos estudados. Isso, em primeiro lugar, vem ao encontro da recomendação dada à prática da calagem, isto é, deve ser feita com três meses de antecedência; também, essa confirmação sugere o uso dessas condições, isto é, a fração que passa na peneira 50 eleva o pH dos solos para 6,5 em 12 semanas como parâmetro de referência, atribuindo-lhe a eficiência de 100%.

Em função desse parâmetro pode-se calcular a eficiência relativa das demais frações granulométricas considerando os acréscimos ocorridos no pH dos solos nesse período. Os valores obtidos estão contidos na Tabela 19, tendo sido considerado como pH original dos solos o valor obtido pela média dos valores determinados durante todo o experimento, isto é, 5,20 para o solo LVd; 5,24 para o LEd e 4,99 para o LEa. Deve ser ressaltada a consistência da média das eficiências, considerando os três solos, dentro de cada fração granulométrica dos diferentes calcários.

Conforme evidenciam os dados das Tabelas 06, 08 e 09, a reatividade dos calcários é bastante influenciada pelo tipo de solo, sendo decrescente na seguinte ordem: LEd, LVd e LEa. Por outro lado, a reatividade não mostrou qualquer dependência da natureza geológica dos calcários, isto é, tanto os

TABELA 19 - Eficiência relativa (%) das diferentes frações granulométricas dos calcários nos vários solos, após 12 semanas de incubação.

Calcários	Fração Granulométrica (Peneira nº ABNT)	Solos			
		Lvd	LEd	LEa	Média
S-1	5-10	10,0	6,9	4,1	7,0
	10-30	43,8	41,1	27,7	37,5
	30-50	90,0	79,8	79,8	76,4
	50-60	100,0	100,0	100,0	100,0
S-2	5-10	9,5	9,8	5,4	8,2
	10-30	41,6	44,4	32,4	39,5
	30-50	82,5	77,4	68,2	76,0
	50-60	100,0	100,0	100,0	100,0
M-3	5-10	9,8	4,7	1,3	5,3
	10-30	39,8	41,1	27,2	36,0
	30-50	85,0	84,5	64,9	78,1
	50-60	100,0	100,0	100,0	100,0
M-4	5-10	15,0	12,0	0,7	9,2
	10-30	47,4	39,8	25,2	37,5
	30-50	77,4	85,0	66,9	76,4
	50-60	100,00	100,00	100,00	100,00

de origem sedimentar como os de origem metamórfica apresentaram reatividades muito semelhantes.

Na Tabela 20 estão apresentados as eficiências relativas médias calculadas para cada fração granulométrica, a partir dos resultados obtidos em cada calcário. Levando-se em conta a reação relativamente baixa dos resultados apresentados pela fração 5-10 e adotando um intervalo de confiança, sugere-se que se possa atribuir, de maneira geral, os valores também apresentados na Tabela 20 para as eficiências relativas das referidas frações granulométricas de calcários.

TABELA 20 - Sugestões para as eficiências relativas (ER%) obtidas para as diferentes frações granulométricas dos calcários (média de 4 repetições).

Frações	E.R.	Frações	E.R.
Granulométricas	Obtidas(%)	Granulométricas	Sugeridas(%)
5-10	7,4	> 10	0
10-30	37,6	10-30	35
30-50	76,7	30-50	75
50-60	100,0	< 50	100

5. CONCLUSÕES

Nas condições do experimento, os dados permitem concluir que:

1- a reatividade dos calcários nos três tipos de solo independe da natureza geológica dos calcários;

2- a reação dos calcários, varia nos diferentes tipos de solo;

3- sugerem-se os seguintes valores para a eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários: fração maior do que 10 (nº peneira-ABNT)=0%; de 10 a 30= 35%; de 30 a 50= 75% e menor do que 50=100%.

Assim a expressão para o cálculo do PRNT dos calcários seria:

$$\text{PRNT} = \frac{\%E_{\text{CaCO}_3} (A_{10-30} \times 0,35 + A_{30-50} \times 0,75 + A_{<50} \times 1,0)}{100}$$

onde,

$\%E_{\text{CaCO}_3}$ = porcentagem de óxidos de cálcio e magnésio, expressa em equivalente de CaCO_3 .

A_{10-30} = porcentagem da fração retida entre as peneiras 10 e 30.

A_{30-50} = porcentagem da fração retida entre as peneiras 30 e 50

$A_{<50}$ = porcentagem da fração que passa na peneira 50.

6. LITERATURA CITADA

- A.A.P.F.C.O., 1976. *Association of American Plant Food Control Officials*. Columbia, University of Missouri. (Official Publications, 29).
- ABRUÑA, F.R.; J.V. CHANDLER; R.W. PEARSON e S. SILVA, 1970. Crop response to soil acidity factors in Ultisol and oxisols. I: Tobacco. *Proceedings Soil Science Society of America*, Wadison, 34(4):629-32.
- ALCARDE, J.C., 1982. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: 15º Simpósio Sobre Acidez e Calagem, Campinas, 12p.
- A.O.A.C., 1980. *Official Methods of Analysis*. 13. ed. Washington, Association of Official Analytical Chemists, p1-6.
- BARBER, S.A., 1967. Liming materials and practices. In: PEARSON, R.W. e ADAMS, F. *Soil Acidity and Liming*. Wadison, American Society of Agronomy, p.125-60.
- BEACHER, R.L.; D. LONGENEKER e F.G. MERKLE, 1952. Influence of form, fineness, and amount of limestone on plant development and certain soil characteristics. *Soil Science*, Baltii

more, 73:75-82.

- BEAR, F.E. e S.J. TOTH, 1952. The pH values and lime requirements of 20 New Jersey soils. Circular off New Jersey Agriculture Experimental Station, nº 446.
- BOHNEN, H. e W. WÜNSCHE, 1972. Determinação da reação do calcário, através do estudo da sua composição granulométrica : Relatório de Pesquisa para o CNPq. Porto Alegre, UFRGS, Departamento de Solos. 12p. (Não Publicado).
- BORKERT, C.M., 1973. *Efeito do calcário e do cloreto de potássio sobre as concentrações de manganês e alumínio nos solos Santo Angelo e Passo Fundo e suas relações com a nodulação e rendimento de duas cultivares de soja.* Porto Alegre, UFRGS. Faculdade de Agronomia, 97p. (Tese de Mestrado).
- BOYNTON, R.S., 1965. *Chemistry and Technology of Lime and Limestone.* New York, Interscience. 520p.
- BRAGA, J.M.; L.S. BRAGA e L.A.N., FONTES, 1971. Efeito da aplicação do calcário sobre os níveis de pH, cálcio, magnésio, fósforo e potássio do solo. *Revista Ceres, Viçosa*, 27: 279-93.
- BRASIL. Leis e Decretos, 1982. *Decreto nº 86.955 de 18/02/1982, Portaria nº 01 de 20/04/1982 e Portaria nº 031 de 08/06/1982 do Ministério da Agricultura.* Brasília, DF.
- CATANI, R.A. e O. ALONSO, 1969. Avaliação da exigência de calcário do solo. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba*, 26:141-56.

- COLEMAN, N.T., 1962. II - Decomposition of clays and the fade of aluminium. *Economic Geology*, Lancaster, Pa - USA, 57: 1207-18.
- COLEMAN, N.T., G. W. THOMAS, F.H. LE ROUX e G. BREDELL, 1964. Salt exchangeable and titratable acidity in Bentonite-Sesquioxide mixtures. *Proceedings Soil Science Society of America* Madison, 28(1):35-7.
- 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*. Madison, American Society of Agronomy, p. 1-41. (Agronomy Series, 12).
- COMISSÃO DE SOLOS. 1960. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*. São Paulo, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. (Boletim, 12).
- ELPHICK, B.L. 1955. Studies in use of agricultural limestone: II - Solubility of limestone in acid soil as influenced by particle size. New Zealand. *Journal of Science and Technology*, Wellington, 37(2):156-73.
- FREITAS, L.M.M., P.F. PRATT e L. VETTORI, 1968. Testes rápidos para estimar as necessidades em calcário de alguns solos de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, 3:159-64.
- FRINK, C.R. e M. PEECH, 1963. Hydrolysis and exchange reactions of the aluminum ion in the bentonite and montmorillonite suspensions. *Proceedings Soil Science Society of America* Madison, 27(5):527-30.

- GALLO, J.R. e R.A. CATANI, 1954. Solubilidade de alguns tipos de calcários. *Bragantia*, Campinas, 13:63-74.
- GALLO, J.R.; R.A. CATANI e H. GARGANTINI, 1956. Efeito de três tipos de calcário na reação do solo e no desenvolvimento da soja. *Bragantia*, Campinas, 15:121-30.
- GARGANTINI, H. 1974. Efeitos da granulometria formas e quantidades de materiais corretivos na acidez do solo. *Bragantia*, Campinas, 33:87-96.
- GARGANTINI, H. e H.G. BLANCO, 1965. Absorção de nutrientes pela cultura do arroz. *Bragantia*, Campinas, 24(38):515-19.
- GARGANTINI, H., A.G. GOMES e H.G. BLANCO, 1965. Modos de aplicação ao solo de materiais corretivos na acidez. *Bragantia*, Campinas, 24:403-10.
- GOMES, A.G.; H. GARGANTINI, H.G. BLANCO, 1965. Comportamento de tipos de escórias de siderurgia como corretivo da acidez do solo. *Bragantia*, Campinas, 24(15):173-79.
- GOMES, A.G.; H. GARGANTINI, G. GUIMARÃES e A.C.P. WUTKE, 1962. Competição entre materiais corretivos (escórias de siderurgia x calcário) em solos de várzea do Vale do Paraíba. *Bragantia*, Campinas, 21:778-92.
- HEDDLESON, M.R.; E.O. McLEAN e N. HOLOWAYCHUK, 1960. Aluminium in soils. IV. The role of aluminium in soil acidity. *Proceedings Soil Science Society of America*, Madison, 24(1):91-4.
- HOYT, P.B. e NYBORG, M., 1971. Toxic metals in acid soils: I - Estimation of plant available aluminum. *Proceedings Soil Science Society American*, Madison, 35(2):236-40.

JACKSON, M.L., 1963. Aluminum bonding in soils: A unifying principle in soil science. *Proceedings Soil Science Society of America*, Madison, 27(1):1-9.

JACKSON, W.A., 1967. Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R.W. e ADAMS, F. ed. *Soil Acidity and Liming*. Madison, American Society of Agronomy, p.43-124 (Agronomy Series, 12).

JENNY, H. 1961. Refletions on the soil acidity merry-go-round *Proceedings Soil Science Society of America*, Madison, 25(4): 428-31.

KAMPRATH, E.J., 1967. *A acidez do solo e calagem*. Madison, Wisc., International Soil Testing. 23p. (Boletim Técnico, 4).

KAMPRATH, E.J., 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached soils, mineral soils. *Proceedings Soil Science Society of America*, Madison, 34(2):252-54.

KENNEY, D.R. e R.B. COREY, 1963. Factors affecting the lime requirement of Wisconsin soils. *Proceedings Soil Science of America*, Madison, 27(3):277-80.

LEON, A.S., 1971. Teorias modernas sobre la naturaleza de la acidez del suelo. Suelos Equatoriales, "acidez y encalamiento en el tropico". In: 3. Colóquio de Suelos, Medellin, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, v.1. p.1-23.

LEPSCH, I.F., L.C. ROTTA e A. KUPPER, 1968. Estudos dos materiais calcários usados como corretivo do solo no Estado de

- São Paulo. I. Composição granulométrica. *Bragantia*, Campinas, 27:225-237.
- LOVE, J.R., R.B. COREY e C.C. OLSEN, 1960. Effect of particle size and rate of application of dolomitic limestone on soil pH and growth of alfafa. INF. CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7th, Madison, 3:293-300.
- MALAVOLTA, E., 1967. *Manual de Química Agrícola*. São Paulo, Ceres. 606p.
- MCLEAN, E.O., 1965. Aluminum. In: BLACK, C.A. et alii, ed. *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Madison, American Society of Agronomy, p.978. (Agronomy Series, 9).
- MCLEAN, E.O., M.R. HEDDLESON e G.J. POST, 1959. Aluminum in soils: III - A comparison of extraction methods in soils and clays. *Proceedings Soil Science Society American*, Madison, 23(2):289-93.
- MCLEAN, E.O., W.R. HOURIGAN, H.E. SHOEMAKER e D.R. BHUMBLA, 1964. Aluminum in soils: V - Form of aluminum as a cause of soil acidity and a composition in its measurement. *Soil Science*, Baltimore, 97(2):119-26.
- MEYER, T.A. e M.W. VOLK, 1952. Effect of particle size of limestone on reaction, exchangeable cations and plant growth. *Soil Science*, Baltimore, 97(2):119-26.
- MIELNICZUK, J. A. LUDWICK e H. BOHNEN, 1971. *Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul*. 2^a ed. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 40p. (Boletim Técnico, 2).

- MOHR, W., 1960. A influência da acidez sobre a fertilidade dos solos. In: 1º Congresso Nacional de Conservação dos Solos, Campinas, 25p.
- MUZZILI, O., R.E. KALCKMANN, F.G. MUNHOZ, 1969. Estudo da conservação da acidez dos solos do Estado do Paraná. I. Determinação de curvas de neutralização em latossolos roxo do oeste. *Revista da Escola de Agronomia e Veterinária da Universidade Federal do Paraná*, Curitiba, 5:25-33.
- RAGLAND, J.L. e N.T. COLEMAN, 1960. The hydrolysis of aluminum salts in clays and soils systems. *Proceedings Soil Science Society American*, Madison, 24(4):457-60.
- RAIJ, B. VAN., 1977. Estudo de materiais calcários usados como corretivos do solo no Estado de São Paulo. IV - O poder relativo de neutralização total. *Bragantia*, Campinas, 36 (12): 139-45.
- REEVE, N.G. e M.E. SUMNER, 1970. Lime requirement of Natal Oxisol based on exchangeable aluminum. *Proceedings Soil Science Society American*, Madison, 34(4):595-8.
- SANTANA, M.B.M., 1970. Nova orientação sobre o emprego de calcário em solos com altos níveis de alumínio, cálcio e magnésio. Itabuna, Centro de Pesquisas do Cacau. 7p.
- SHAW, W.M. e B. ROBINSON, 1960. Reaction efficiencies of liming materials as indicated by lisimeter leachate composition. *Soil Science*, Baltimore, 89:209-18.
- SOUZA, E.A. e A.M.L. NEPTUNE, 1979. Efeitos da granulometria de calcário dolomítico sobre as propriedades químicas de um la

- tossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 3:120-25.
- SOUZA, E.A., 1970. Resposta das culturas da mamoneira, do mi lho e da soja à adubação e calagem, e efeitos da calagem so bre algumas propriedades químicas em Latossol Vermelho Escu ro - fase arenosa. Jaboticabal, FCAVJ/UNESP, 90 p. (Tese de Doutorado).
- TEDESCO, M.J. e I. ANGHINONI, 1980. Efetividade da superfície específica de partículas de calcário na correção da acidez do solo. I. Avaliação de Laboratório. Porto Alegre, UFRGS, Departamento de Solos. 12p. (Pesquisa em Andamento).
- THOMAS, G.W., 1960. Forms of aluminum in cation exchangers. In: 7. International Congress of Soil Science, Madison, v.2., 47:364-69.
- TISDALE, S.L. e NELSON, W.L. 1960. *Soil and Fertilizer*. The MacMillan Co., New York, 694 p.
- VERLENGIA, L. e H. GARGANTINI, 1972. Estudo sobre a eficiência de diferentes frações granulométricas de calcário no solo. *Bragantia*, Campinas, 31:119-28.
- VETTORI, L., 1969. *Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do solo. 24p. (Boletim Técnico nº 7).
- VIDOR, C., 1972. Toxidez de alumínio e manganês e suas rela ções com a nodulação, rendimento e absorção de manganês por *Glycine max* (L) Merrill. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de

Agronomia. 71p. (Tese de Mestrado).

VOLKWEISS, S.J., 1970. Influência do calcário no pH, alumínio, manganês e zinco de solos do Rio Grande do Sul e suas relações com o rendimento e absorção de manganês e zinco pelo milho. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 92p. (Tese de Mestrado).

WHITE, R.P., 1970. Effects of lime upon soil and plant manganese levels in acid soils. Proceedings Soil Science Society American, Madison, 34(4):62-9.

WUNSCHÉ, W.A. e H. BOHNEN, 1976. Avaliação da dissolução de várias frações de calcário dolomítico no oxisol do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, 12:173-78.

WUTKE, A.C.P. e H. GARGANTINI, 1962. Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivos da acidez do solo. *Bragantia*, Campinas, 21:795-805.

YUAN, T.L., 1963. Some relationships among hydrogen, aluminum and pH in solution and soil systems. *Soil Science*, Baltimore, 95(3):155-63.