

MEMÓRIA
CNPT
Doc.22/00

ISSN 1516-5582



**Ministério
da Agricultura
e do Abastecimento**



CALAGEM NO BRASIL

PT
52c
00

-2008.00963

Calagem no Brasil.

2000

LV-2008.00963



43945-1

Embrapa



ISSN 1516-5582

Calagem no Brasil

Sírio Wiethölter

*Passo Fundo, RS
2000*

Embrapa

Trigo

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Trigo

Rodovia BR 285, km 174

Telefone: (54) 311-3444

Fax: (54) 311-3617

Caixa Postal 451

99001-970 Passo Fundo, RS

Tiragem: 1.000 exemplares

Comitê de Publicações

Rainoldo Alberto Kochhann - Presidente

Amarilis Labes Barcellos

Erivelton Scherer Roman

Geraldino Peruzzo

Irineu Lorini

Tratamento Editorial: *Fátima Maria De Marchi*

Capa: *Liciane Duda Bonatto*

Ficha Catalográfica: *Maria Regina Martins*

Embrapa	
Unidade:	<i>di Sede</i>
Valor aquisição:
Data aquisição:
N.º N. Fiscal/Fatura:
Fornecedor:
N.º OC:
Origem:	<i>Doação</i>
N.º Registro:	<i>00963/08</i>

WIETHÖLTER, S. Calagem no Brasil. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 104p. (Embrapa Trigo. Documentos 22).

Solo; Acidez; Calagem.

CDD: 631.821

© Embrapa Trigo - 2000

Apresentação

A acidez do solo, um fenômeno natural, ou induzido por práticas de uso e manejo e de exploração de solos, pode causar, de certo modo, limitações à maximização do potencial produtivo de culturas.

As causas, os efeitos e as conseqüências da acidez em solos agrícolas do Brasil são discutidos neste trabalho "Calagem no Brasil", que a Embrapa Trigo tem o prazer de editar e disponibilizar aos usuários de suas tecnologias.

Na presente publicação os leitores poderão encontrar informações pertinentes às causas da acidez em solo, métodos para determinar a necessidade de calagem, evolução histórica da adoção da prática de calagem em diversas regiões do país, respostas das culturas à calagem, dados estatísticos sobre consumo de calcário, perspectivas da calagem no sistema plantio direto, evolução da legislação brasileira sobre corretivos da acidez de solo e necessidades de pesquisa em calagem.

Espera-se que esta publicação contribua com informações que facilitem a tomada de decisão no processo produtivo, por parte dos agricultores, da assistência técnica, da indústria de calcário e da área de crédito, bem como seja útil no âmbito acadêmico.

Benami Bacaltchuk
Chefe-geral da Embrapa Trigo

Nota do Autor

Escrever um trabalho constitui tarefa interminável, mas certamente tem começo e fim. O começo dessa publicação surgiu através de convite para apresentar uma palestra sobre histórico e perspectivas da prática de calagem no Brasil, no XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, 20 a 26 de julho de 1997. Revisões e consultas à vários profissionais se seguiram e culminaram com um texto diverso do original. Por entender que o conteúdo poderá ser útil à vários setores, decidiu-se publicá-lo, mas reconhecendo ser um esboço incompleto, como tudo é, no avançar do tempo.

*Sírio Wiethölter
Dezembro 2000*

Sumário

<i>CALAGEM NO BRASIL</i>	9
<i>Introdução</i>	9
<i>As razões básicas da acidez no solo</i>	11
<i>A água</i>	11
<i>Os minerais primários</i>	13
<i>O efeito do calcário e as reações com o Al</i>	15
<i>Definição química da acidez de solo</i>	17
<i>Métodos para determinar a necessidade de calagem</i>	20
<i>Os primeiros métodos e a interpretação dos valores analíticos</i>	20
<i>Métodos usados atualmente</i>	25
<i>A evolução da adoção da calagem no Brasil</i>	37
<i>A calagem no Rio Grande do Sul</i>	37
<i>A calagem em Santa Catarina</i>	43
<i>A calagem no Paraná</i>	45
<i>A calagem em São Paulo</i>	47
<i>A calagem em solos sob Cerrado</i>	48
<i>Resposta das culturas à calagem e retornos econômicos</i>	49

<i>Dados estatísticos sobre consumo e disponibilidade de calcário e perspectivas da calagem</i>	<i>51</i>
<i>A calagem no sistema plantio direto.....</i>	<i>58</i>
<i>Legislação sobre corretivos da acidez de solo</i>	<i>65</i>
<i>Síntese histórica sobre calagem.....</i>	<i>70</i>
<i>Necessidades de pesquisa</i>	<i>71</i>
<i>Resumo.....</i>	<i>72</i>
<i>Summary.....</i>	<i>74</i>
<i>Agradecimentos</i>	<i>76</i>
<i>Referências.....</i>	<i>76</i>
<i>Equipe Técnica Multidisciplinar da Embrapa Trigo.....</i>	<i>103</i>

Calagem no Brasil

Sirio Wiethölter¹

Introdução

A calagem é considerada uma das práticas agrícolas mais antigas, tendo sido usada pelos romanos há mais de três mil anos (McCool & Millar, 1918; Kelley, 1948). Os gregos aplicavam marga (depósito de argila mesclada com calcário) ao solo e os romanos aprenderam essa prática dos gregos. Plínio, que viveu entre os anos 62-113 d.C., dizia que o calcário deveria ser distribuído em uma fina camada e que uma aplicação seria "suficiente para muitos anos, mas não para 50" (Tisdale et al., 1993). Nos Estados Unidos, a calagem teve início entre 1825 a 1845 na região leste, no estado de Virginia, por Edmund Ruffin (Tisdale et al., 1993), e gradualmente foi sendo adotada à medida que a colonização ocorreu na direção oeste do país (McCool & Millar, 1918). No Brasil, a calagem provavelmente vem sendo usada desde a década de 20, pois nessa época, em 1923, no Rio Grande do Sul, foi instalada a primeira indústria de calcário (Banco..., 1969). Também nesse período ocorreu a segunda etapa de colonização dos solos ácidos e vermelhos das regiões do Planalto e das Missões no Rio Grande do Sul,

¹ Pesquisador, Embrapa Trigo. Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS. e-mail: siriow@cnpt.embrapa.br.

através dos descendentes de italianos, alemães, poloneses e outros.

O termo calagem, como é usado em agricultura, significa adição ao solo de qualquer composto contendo Ca ou Mg e que seja capaz de reduzir a acidez. As substâncias mais importantes são carbonatos, óxidos e hidróxidos de Ca e de Mg. Sulfatos e cloretos de Ca e de Mg não têm efeito como corretivo de acidez. O calcário agrícola é extraído de minas e a maioria é submetido apenas ao processo físico de moagem.

Muitos solos brasileiros na forma original são quimicamente ácidos e deficientes em um ou mais nutrientes essenciais às plantas. A aplicação de calcário a solos ácidos, aliado a outras práticas de melhoria da fertilidade e do manejo do solo, tem a função de elevar a capacidade produtiva do solo, mediante o aumento da capacidade de troca de cátions, aumento da disponibilidade de nutrientes e insolubilização de elementos tóxicos às plantas, que, no conjunto, se traduz em aumento de rendimento das culturas, um requisito básico para viabilizar economicamente a demanda atual de produção de alimentos e melhorar a sustentabilidade econômica da atividade agrícola.

Objetiva-se abordar aspectos relacionados com as causas originais da acidez em solo, métodos para determinar a necessidade de calagem empregados ao longo do tempo nas diversas regiões do país, evolução histórica da adoção da prática de calagem no país, respostas das culturas à calagem, dados estatísticos sobre consumo de calcário, perspectivas da calagem no sistema plantio dire-

to, evolução da legislação brasileira sobre corretivos da acidez de solo e necessidades de pesquisa em calagem. Considerando que a calagem é atualmente uma prática comum, procurou-se dar ênfase à evolução histórica do conhecimento sobre os processos químicos da acidez em solo e da adoção da calagem no Brasil, fazendo referência a trabalhos que representam esses aspectos. Por essa razão, pretende-se contribuir, mas, com certeza, não esgotar o assunto. Também não é possível assegurar que todos os trabalhos importantes para o avanço da prática de calagem no Brasil tenham sido citados.

As razões básicas da acidez no solo

A água

O pH, ou potencial de hidrogênio, foi definido por Sørensen, em 1909, pela seguinte equação:

$$pH = - \log [H^+], \quad [1]$$

onde $[H^+]$ representa a atividade de H^+ na solução, em mol/L e $p = - \log$. Uma substância ácida ($pH < 7$) é definida como capaz de doar íons de H^+ a outra substância. Uma substância básica ($pH > 7$) é aquela que é capaz de aceitar íons de H^+ . Em outras palavras, substâncias que em contato com água liberam íons H^+ são denominadas ácidos e, em contrapartida, substâncias que em contato

com água apresentam saldo de íons OH são chamadas bases.

A geração de íons de hidrogênio (H^+), ou prótons, ocorre continuamente na natureza. A água da chuva ao atravessar a atmosfera entra em equilíbrio com CO_2 , formando ácido carbônico (H_2CO_3).



Na dissociação de H_2CO_3 , estabelece-se o seguinte equilíbrio de cargas:

$$[H^+] = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-]. \quad [3]$$

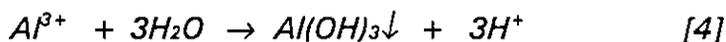
Com base na Equação [3], a água da chuva sempre será ácida, pois a concentração de $[H^+]$ é maior que a de $[OH^-]$. A água pura em equilíbrio com uma pressão parcial de CO_2 igual a $10^{-3,5}$ atm (0,035 %), que é representativa da atmosfera atualmente, apresenta pH 5,65 a $25^\circ C$ (Stumm & Morgan, 1981), ou seja, uma concentração de $H^+ = 2,24 \times 10^{-6}$ mol/L. Porém a água da chuva pode conter $1,2 \times 10^{-5}$ mol H^+ /L (Phillips & Phillips, 1984), atingindo pH 4,9. Considerando-se uma precipitação de 1.000 mm, esse volume de água contribuiria com 120 g H^+ /ha, ou 0,006 mg H^+ /100 g de solo, o que corresponde a 6 kg de $CaCO_3$ por hectare. No entanto, segundo Stumm & Morgan (1981), a concentração de H^+ na água da chuva pode ser de até 10^{-3} mol/L (pH 3) em certas regiões de chuvas ácidas.

A exemplo do que ocorre na atmosfera, o CO₂ e a água do solo ao entrarem em equilíbrio também formam H₂CO₃, que por sua vez se dissociará conforme indicado na Equação [3]. A quantidade de CO₂ que se dissolve na água é diretamente proporcional à concentração (ou pressão parcial) de CO₂ das imediações. Segundo McLean (1982), o pH da água com 1 % de CO₂ é 4,95, e com 10 % é 4,45. Dessa maneira, se a solução do solo estiver em um poro com 10 % de CO₂, o pH dessa solução será 4,45, se ela não for tamponada pelo solo ou neutralizada por substâncias básicas.

Depreende-se, pois, que a natureza dos processos químicos envolvendo interações entre a atmosfera e o solo é de origem ácida, ou seja, a água da chuva é a doadora original de íons H⁺ ao solo. Na ausência de atividade antrópica, é possível que esse processo seja o mais importante em termos de ciclagem de prótons no ambiente.

Os minerais primários

Os minerais primários das rochas sofrem os processos de hidratação (associação de moléculas de água, geralmente não causando alteração direta dos minerais) e de hidrólise. A hidrólise consiste na substituição dos cátions básicos (Ca, Mg, Na e K) e do Al³⁺ por H⁺ (H₃O⁺), ocasionando o colapso e a desintegração da estrutura dos minerais primários das rochas, que dão origem ao solo. O Al liberado poderá ocupar sítios de adsorção de carga negativa ou sofrer o processo de hidrólise e liberar novos íons de H⁺, que, por sua vez, podem promover mais intemperização (Buol et al., 1980):

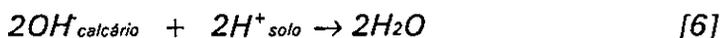
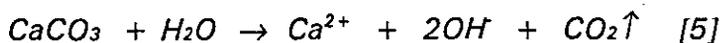


Em conseqüência, em solos ácidos a concentração de íons H^+ na solução é função da taxa de hidrólise de Al^{3+} , de $Al(OH)^{2+}$, de $Al(OH)^+$ e dos compostos resultantes da hidrólise do Fe (Coleman & Thomas, 1967). A tendência de hidrólise é maior quanto maior a valência do cátion e quanto menor seu raio iônico. Por essa razão, Al^{3+} e Fe^{3+} (cátions pequenos, pois perderam 3 elétrons) são mais facilmente hidrolisáveis e tendem a formar mais H^+ no processo de hidrólise do que outros cátions (Thomas & Hargrove, 1984).

A simples dissolução dos minerais primários pela hidrólise formaria sais básicos, e é por essa razão que solos jovens geralmente apresentam pH neutro ou básico. Porém, com a hidrólise e posterior adição de ácidos orgânicos e de H_2CO_3 (resultante da atividade microbiana) e com as adições de H^+ provenientes da oxidação do Fe^{2+} para Fe^{3+} , da hidrólise do Al^{3+} , da exsudação de H^+ pelas raízes (quando a absorção de cátions é maior que de ânions) e da transformação do íon NH_4^+ em NO_3^- , o solo tende a se acidificar paulatinamente. Porém, como a maioria dos íons de H do solo não está dissociada (a parte dissociada chama-se acidez ativa e é medida pelo pH do solo), o solo como um todo apresenta comportamento semelhante ao de um ácido fraco (dissociação parcial de H, sendo o pH afetado apenas pela parte dissociada dos íons H^+), ou seja, apresenta poder tampão (acidez potencial) em relação aos íons H. Dessa forma, nas regiões de clima úmido, a acidificação do solo é um processo lento, mas contínuo.

O efeito do calcário e as reações com o Al

A acidificação do solo pode ser interrompida quando há calcário reagindo, pois este gerará oxidrilas (OH) que se combinarão com H^+ , formando água, CO_2 e Ca^{2+} , conforme as seguintes reações:



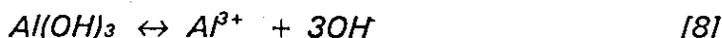
Junto às partículas de calcário também se formam os íons HCO_3^- e CO_3^{2-} , que se dissociarão em OH e CO_2 (Volkweiss, 1989).

A seqüência de neutralização das diversas formas de acidez, ou de cátions ácidos, é a seguinte (McLean, 1982): H^+ , Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$ e outros íons de H^+ pH dependentes.

Em adição ao efeito da água no processo de acidificação do solo, a lixiviação e a remoção pelas culturas de cátions básicos (Ca, Mg, K e Na) e a nitrificação de NH_4^+ para NO_3^- ; tanto proveniente de fertilizantes nitrogenados (principalmente amoniacais) como dos processos finais da mineralização da matéria orgânica do solo ou de resíduos vegetais, geram H^+ e aceleram a acidificação do solo (Rajj, 1991; Tisdale et al., 1993), que, de outra parte, seria muito lenta se dependesse apenas da água da chuva. A denominação "cátion básico" origina-se da idéia de que esses elementos estavam ligados a óxidos e hi-

dróxidos naturais do solo, incluindo, neste contexto, também o Al, que, normalmente, é designado como um "cátion ácido", ou um cátion gerador de acidez. A lixiviação dos cátions básicos com os coíons Cl^- ou SO_4^{2-} tem pouco ou nenhum efeito no pH do solo. Já a lixiviação desses mesmos cátions com os coíons NO_3^- ou HCO_3^{2-} gera acidez (Helyar, 1976).

Um aspecto conceitual importante a considerar na acidez do solo é a presença de Al na forma lábil. Em pH superior a 5,6, a maior parte do Al está precipitado na forma de hidróxido de Al amorfo $[\text{Al}(\text{OH})_3]$, que, com o tempo, adquire forma cristalina, transformando-se no mineral gibbsita, comum em solos bastante intemperizados (Lindsay, 1979). Numa solução aquosa, estabelece-se o seguinte equilíbrio:



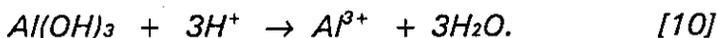
e o produto de solubilidade a 25 °C (Singh, 1974) é,

$$K_{sp} = (\text{Al}^{3+}) (\text{OH}^-)^3 = 10^{-34} \text{ mol/L}. \quad [9]$$

Numa solução em que a relação $\text{OH}^-/\text{Al}^{3+}$ é baixa, a maioria do Al está presente na forma de Al^{3+} e de polímeros de hidroxialumínio $[\text{Al}(\text{OH})_2^+$ e $\text{Al}(\text{OH})_3^+$]. À medida que aumenta a relação $\text{OH}^-/\text{Al}^{3+}$, a polimerização aumenta muito, e íons Al-OH mal definidos se formam (Thomas & Hargrove, 1984).

Com base na Equação [9] e a título de exemplo, em $\text{pH} = 5$ (10^{-9} mol OH/L) a concentração de Al^{3+} será 10^{-7} mol/L, e em $\text{pH} = 6$, 10^{-10} mol/L, ou seja, a gibbsita é um mineral altamente insolúvel. Dessa forma, em fun-

ção da concentração crescente de OH^- à medida que cresce o pH, a concentração de Al^{3+} no solo, em termos práticos, torna-se virtualmente zero quando o pH do solo em água atinge um valor entre 5,4 a 5,6, eliminando a chamada acidez nociva do solo. Assim, em virtude da presença de íons OH^- , o Al^{3+} se precipita (pH maior) ou se dissocia (pH menor). Portanto, a origem do íon Al^{3+} e dos diversos polímeros de Al^{3+} reside no pH do solo, ou seja, na presença de íons H^+ . Isso pode ser representado pela seguinte reação:



Ao ser determinado o teor de Al trocável em KCl (em realidade Al trocável + Al na solução do solo), também denominado acidez trocável (Kamprath, 1984), estão sendo determinadas as conseqüências da presença de íons H^+ e não a causa de acidez em si, que, como visto acima, provém originalmente da água. Portanto, em termos químicos, a concentração de Al representa simplesmente uma forma indireta de determinar a acidez do solo. A acidez total, ou acidez total a pH 7 (definição atual), que é expressa pelo teor de H^+ +Al, é usualmente determinada com acetato de Ca 1 mol/L a pH 7, ou, para fins práticos, é estimada pela leitura do pH SMP (Tabela 2).

Definição química da acidez de solo

O pH do solo representa apenas uma pequeníssima quantidade do total de acidez do solo e sua correção necessita de poucos quilogramas de calcário por hectare.

Porém, a despeito da pequena quantidade de H^+ na solução do solo, o pH tem muito significado prático, pois afeta vários processos relacionados com a química da fertilidade do solo, tais como: disponibilidade de macro e micronutrientes, reações de solubilização, adsorção e precipitação de P, presença de Al trocável, decomposição da matéria orgânica, taxa de solubilização de fosfatos naturais etc.

Considerando que muitos processos químicos que ocorrem no solo têm relação com o grau de acidez do solo, torna-se importante a definição dos termos para representar os diversos aspectos da acidez em solo. No início do presente século, o conhecimento sobre a natureza da acidez em solo era apenas genérico (Veitch, 1904). Vários autores, desde a definição inicial do pH por Sørensen em 1909 e sua aplicação na ciência do solo em 1915, usaram termos com significado, às vezes, divergente. No Brasil, a importância do Al no complexo de acidez do solo foi introduzido em 1925 por Uchoa (1925) e por Vageler em 1932 (Quaggio (1983a). Desde a década de 50, muitos termos foram empregados, como, por exemplo os usados por Mohr (1950), envolvendo acidez hidrolítica (H^+ trocável, ou acidez inócua), acidez trocável (Al trocável, ou acidez nociva), acidez total ($H+Al$) etc. A evolução do conhecimento sobre o assunto no Brasil nas últimas décadas pode ser representada pelos trabalhos de Kinjo (1983), de Volkweiss (1989) e de Raij (1991). Esses autores dividem a acidez em ativa (fator intensidade) e potencial (fator quantidade). A acidez ativa é representada pelo pH da suspensão solo-água, na proporção 1:1 ou 1:2. Já a acidez potencial é representada pela acidez

trocável (Al^{3+}) e acidez não trocável (H^p), provindas do conjunto de substâncias que podem liberar H^+ para a solução do solo. A acidez trocável se constitui no H^+ adsorvido eletrostaticamente (em pequena quantidade, geralmente menos de 5 % da acidez trocável) e no Al^{3+} trocável, ambos deslocáveis por simples reações de troca eletrostática. Por essa razão, essa acidez é geralmente representada somente por Al^{3+} trocável e é extraída com uma solução de um sal neutro (KCl 1 mol/L) e o Al^{3+} é titulado como ácido, com NaOH 0,025 mol/L. A acidez não trocável envolve adsorção específica de H e, portanto, ligações covalentes, cuja forma química é representada por H não dissociado (H^p).

Existe um equilíbrio entre a acidez ativa e a acidez potencial. A acidez potencial torna-se ativa quando a acidez ativa é neutralizada e reações de troca de cátions trazem para a solução do solo a acidez antes tida como potencial. Como a maior parte do H do solo não está dissociada, o solo funciona como um ácido fraco. Essa acidez pode ser determinada pela adição de OH até o solo atingir determinado pH, como, por exemplo, 6. Dessa maneira, a quantidade de base que é necessária adicionar para neutralizar o H liberado com o aumento do pH (desfazendo ligações covalentes) é denominada acidez titulável ao pH desejado. A quantidade de base necessária para elevar em uma unidade o pH é definida como o poder tampão do solo. Essa propriedade varia muito entre tipos de solo. A calagem, quando objetiva elevar o pH do solo a 6, representa, portanto, a quantidade de calcário necessária para neutralizar a acidez titulável a pH 6. Em função da coincidência numérica de que a acidez equivalente a 1

meq/100 g de solo (= 1 cmol_c/dm³ de solo se a densidade for igual a 1 g solo/cm³ solo) corresponde à quantidade de base química contida em 1 t de CaCO₃/ha (camada de solo de ± 17 cm), a necessidade de calcário para elevar o pH do solo a 6, em t/ha, é numericamente igual à quantidade de acidez titulável a pH 6, em meq/100 g de solo.

Na prática, a acidez potencial é definida integralmente pela determinação de H⁺ + Al³⁺, sendo as seguintes as soluções mais empregadas: acetato de cálcio 1 mol/L a pH 7 e a solução tampão SMP tamponado a pH 7,5. Em regiões de clima temperado usa-se cloreto de bário com trietanolamina tamponado a pH 8,2.

Métodos para determinar a necessidade de calagem

Os primeiros métodos e a interpretação dos valores analíticos

O desenvolvimento de métodos quantitativos para estimar a necessidade de calagem de solos tem sido objeto de estudo desde o ano 1900. Inicialmente foram empregados métodos químicos qualitativos, usando indicadores colorimétricos. O método de Wheeler et al. (1900), que empregava papel tornassol, e o método de Veitch (1902, 1904), que envolvia equilíbrio do solo com Ca(OH)₂ e titulação com fenolftaleína até a cor rosa, são talvez os primeiros métodos quantitativos sobre o assunto (McLean et al., 1966; Sparks, 1995) e foram propos-

tos em uma época em que a unidade química pH ainda não havia sido definida. Um processo importante e resultante dos trabalhos de Veitch (1904), mas não reconhecido na época, foi a constatação de que a acidez trocada por NaCl 1 mol/L era $AlCl_3$ e não HCl (Sparks, 1995). Posteriormente muitos trabalhos relacionando Al com acidez foram desenvolvidos. Segundo Thomas (1977), em termos históricos, no entanto, o início dos estudos da acidez em solos deve ser reportado ao livro de Sir Humphry Davy, "Elements of Agricultural Chemistry", publicado em 1813, na Inglaterra, em que constava um método para determinar o teor de $CaCO_3$ em solos. Nos Estados Unidos, Edmund Ruffin usou esse método e, em função dos seus estudos, é considerado o pioneiro em aplicar calcário para o objetivo certo – neutralizar a acidez do solo –, e seu livro, "An Essay on Calcareous Manure", publicado em 1832, é considerado o primeiro relato científico sobre solos e plantas cultivadas, definindo inclusive o termo "solo agrícola" (Simonson, 1968). Em razão disso, Emil Truog (University of Wisconsin, Madison, EUA), em 1938, redescobrimo os trabalhos de Ruffin, considerou-o "o pai da química de solo na América" (Thomas, 1977). Mas, em realidade, os gregos e os romanos já praticavam a calagem há mais de 3 mil anos.

Com base em várias citações bibliográficas de Pierre (1931), pode-se concluir que foi na década de 20 que foram iniciados os estudos relacionados com Al e o desenvolvimento de plantas em solos ácidos, verificando-se que havia estreita relação entre o teor de Al trocável e o pH do solo (Pearson, 1975). Já os estudos envolvendo

teorias sobre as reações do Al no solo foram iniciados por volta do ano 1900 nos Estados Unidos (Veitch) e no Japão (Daikuhara), segundo Jenny (1961) e Jackson (1963).

Durante a Primeira Reunião Brasileira de Ciência do Solo, realizada no Rio de Janeiro, RJ, de 6 a 20 de outubro de 1947, Paiva Neto et al. (1950), Ramos & Kehrig (1950) e Mohr (1950) apresentaram importantes trabalhos sobre métodos de análise de solo. Em termos cronológicos, é interessante destacar que o Primeiro Congresso Internacional de Ciência do Solo havia ocorrido há 20 anos, em Washington, DC, EUA, de 13 a 20 de junho de 1927.

Segundo Mohr (1950), o Laboratório de Química Agrícola da Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, fundado em 1929, realizava, em 1947, 12 análises de solo, a saber: textura, N total, C, P total, Ca trocável, K assimilável, valor S (soma de bases), valor T (capacidade de troca de cátions), acidez hidrolítica (H^+ trocável, ou acidez inócua), acidez trocável (Al trocável, ou acidez nociva), pH no extrato aquoso e pH no extrato com KCl 1 mol/L. O índice de saturação de bases era calculado pelo fator Hissink, $V = 100 S/T$.

Para fazer a interpretação dos valores analíticos, Mohr (1950) dividiu o Estado do Rio Grande do Sul em quatro regiões fisiográficas, tendo sido estabelecidos valores de referência diferentes para cada região: planalto norte (solos derivados de basalto), região sedimentar central (arenito Botucatú), escudo sul-rio-grandense (solos derivados de rochas graníticas) e região da planície cos-

teira (areias e sedimentos recentes). Os valores obtidos nas análises eram comparados com os valores de referência para cada região e, então, era estabelecida uma "recomendação descritiva" para cada solo, como, por exemplo, "o emprego de cal neutralizante se recomenda". Não há referência quanto ao método de cálculo da dose de calcário; tampouco era indicada a quantidade a aplicar, algo que era atribuição do agrônomo local e não do laboratório.

Os métodos usados no Instituto Agronômico de Campinas foram apresentados na Primeira Reunião Brasileira de Ciência do Solo por Paiva Neto et al. (1950), mas já haviam sido publicados, em primeira versão, em 1946. Essas análises incluíam: pH em água, pH em KCl, C, N, NO_3^- , NH_4^+ , Ca, Mg, Mn, K, P, H e Al. A exemplo de Mohr (1950), os procedimentos apresentados por Paiva Neto et al. (1950) não objetivavam especificamente interpretar os resultados para fins de avaliação da fertilidade do solo e nem continham referência ao método para estimar a necessidade de calagem. Já o método proposto por Catani & Gallo (1955) para os solos do Estado de São Paulo visava especificamente uma recomendação de calagem, sendo baseado na determinação do pH do solo e do teor de H^+ trocável, e empregava a relação entre o pH do solo e a percentagem de saturação de bases como referência. Como o pH em água varia em função de vários fatores, esse método não era muito preciso

Os métodos usados no Instituto de Química Agrícola, Rio de Janeiro (Km 47), foram apresentados na Pri-

meira Reunião Brasileira de Ciência do Solo por Ramos & Kehrigh (1950), compreendendo 20 determinações empregadas para a descrição de perfis de solos.

É muito provável que os trabalhos de Paiva Neto et al. (1950), de Ramos & Kehrigh (1950) e de Mohr (1950) tenham sido os pontos de partida do estudo analítico da fertilidade do solo no Brasil. Alguns dos procedimentos usados na época foram os precursores dos métodos de determinação da necessidade de calagem adotados posteriormente, como é o caso do teor de Al trocável. Nesse sentido, a Primeira Reunião Brasileira de Ciência do Solo foi muito importante para a discussão e o avanço da ciência do solo no país.

Na descrição dos métodos adotados no Rio Grande do Sul e publicados por Mohr (1950), não é feita referência à forma de estimar a necessidade de calagem (NC). Porém, cerca de 10 anos após, Mohr (1960) recomendava que se usasse o teor de Al trocável (em KCl 1 mol/L), empregando o "fator de calagem" igual a 1, ou seja, $NC (t/ha) = Al \text{ trocável} \times 1$, considerando o peso de 1 hectare igual a 2.000 toneladas. Contudo, 35 anos antes, Uchoa (1925) já havia proposto o mesmo procedimento para os solos do Rio Grande do Sul, empregando KNO_3 como extrator da acidez e titulação com NaOH, indicando que esse método mantinha estreita relação com o teor de Al ativo e refletia os resultados obtidos sob condições de campo. Segundo Vianna (1972), usou-se, posteriormente, $NC = Al \text{ trocável} \times 1,33$ (Cate, 1965), verificando-se que a dose era baixa em relação à resposta

das culturas. Passou-se a adotar, então, $NC = Al \text{ trocável} \times 2$; as culturas ainda respondiam a doses maiores, mas a dose máxima era limitada a 2 t/ha. Optou-se, então, pela fórmula $NC = Al \text{ trocável} \times 2,5$ quando não se dispunha o valor do pH SMP.

Considerando que 1 hectare apresenta 2.000 m³ de solo, estequiometricamente, 1 cmol_c/dm³ (= 1 meq/100 g se a densidade do solo for 1 g/cm³) é igual a 1 t CaCO₃ por hectare, pois 1 mmol_c de CaCO₃ (ou de CO₃²⁻) pesa 50 mg de CaCO₃. Ou seja, se o solo contém 1 meq de carga/100 g, que equivale à demanda de 50 mg CaCO₃/100 g de solo, serão necessários 1.000 kg CaCO₃/ha de solo. No entanto, tem se verificado que o fator de calagem (ou equivalência de CaCO₃), para cada cmol_c Al/dm³, varia entre 1,5 e 3,3, com a maioria dos valores oscilando entre 1,5 e 2,0 cuja razão reside no consumo de OH⁻ pelos íons de H⁺ pH-dependentes que se formam à medida que aumenta o pH (Kamprath, 1984).

Métodos usados atualmente

Um passo importante no desenvolvimento de métodos foi dado por Shoemaker et al. (1961) com o método da solução tamponada SMP, que despertou atenção pela alta correlação ($r = 0,949$) obtida entre o índice SMP e a necessidade de calagem determinada em estudo de incubação (Keeney & Corey, 1963). Keeney e Corey eram professores da Universidade de Wisconsin (EUA) na época em que foi estabelecido um convênio entre a USAID/Universidade de Wisconsin e a Universidade Fede-

ral do Rio Grande do Sul (UFRGS) e essa talvez tenha sido a razão porque esse método foi trazido para o Rio Grande do Sul e adotado em 1968, com base nos dados de Murdock et al. (1969). Posteriormente, os trabalhos de Kamprath (1970) e de Reeve & Sumner (1970) demonstraram a importância do Al para o desenvolvimento das plantas e o Al trocável foi adotado como índice de campo para estabelecer a necessidade de calagem em solos intemperizados, passando esse método a ser empregado em quase todo o país em 1965 (Cate, 1965; Rajj et al., 1983), exceto nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina e nas regiões semi-áridas (que usam o teor de Ca+Mg para 2 ou 3 cmol/dm³, pois esses solos em geral não apresentam Al, segundo Olmos & Camargo, 1976).

A Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (ROLAS) foi criada em 1968 e adotou, desde a sua fundação, o método da solução SMP tampoadada a pH 7,5 (Tedesco et al., 1994), cuja sigla provém das iniciais dos autores (Shoemaker et al., 1961), modificado por Wayne R. Kussow (Mielniczuk et al., 1969). A modificação introduzida por Wayne R. Kussow (University of Wisconsin, Madison, WI, EUA) para a qual não há registros escritos, consistiu na alteração da concentração dos seguintes reagentes: p-nitrofenol, trietanolamina, cromato de potássio e cloreto de cálcio; a concentração de acetato de cálcio foi mantida. Segundo Murdock et al. (1969), esse procedimento foi adotado por ser de fácil execução e por apresentar resultados consistentes em

solos com elevados teores de Al, algo que foi confirmado posteriormente em muitas regiões do país (Sousa et al., 1980). Até 1968, o laboratório do Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuárias do Sul (IPEAS) empregava o método do Al para determinar a necessidade de calagem e o método de Mehlich-I para determinar a disponibilidade de P (que eram os métodos oficiais dos laboratórios das instituições de pesquisa do Ministério da Agricultura), e o laboratório da UFRGS usava o método SMP e o método de Bray para P e K, que exigia filtragem. Visando uniformizar as técnicas de análise em todo o Estado do Rio Grande do Sul, o laboratório do IPEAS passou a adotar o método SMP para determinar a necessidade de calagem, e o laboratório da UFRGS adotou o método de Mehlich-I, cujo método dispensa filtragem. Os laboratórios do Estado de Santa Catarina passaram a fazer parte da ROLAS em 1972 (Tedesco et al., 1994), porém usaram desde 1963 até janeiro de 1970 o teor de Al x 1,0 a 1,5, variando o fator de calagem de acordo com os teores de matéria orgânica e da textura do solo, conforme preconizado por Vageler (1956, 1965). A partir de 1970 houve uma reformulação geral no Laboratório de Química Agrícola e Industrial da Secretaria da Agricultura, localizado em Florianópolis, que se adaptou a orientação dos procedimentos analíticos do Projeto Internacional de Avaliação e Melhoramento da Fertilidade do Solo (1965), passando a usar o método SMP para avaliar a necessidade de calagem (Pundek, 2000b).

Inicialmente, a recomendação feita pelo método SMP para os solos do Rio Grande do Sul objetivava elevar

o pH do solo em água a 6,5, a exemplo do que previa o método de Catani e Gallo (1955) para os solos de São Paulo, cuja idéia básica, segundo Viets (1977), surgiu na década de 40, em que se supunha que todos os solos deveriam ser corrigidos para um pH próximo a 6,5. Em 1971, foram introduzidas recomendações diferenciadas para alguns solos da fronteira sul do Rio Grande do Sul e para a cultura de alfafa (Bartz, 1993). Em junho de 1973, em decorrência da menor resposta das culturas à calagem do que esperado e, por razões econômicas, passou-se a adotar, para a maioria das culturas do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, a dose de calcário para o solo atingir pH em água igual a 6,0 (Reunião..., 1973) e, a partir de 1987, adotou-se uma tabela de necessidade de calcário para elevar o pH do solo em água para 5,5, 6,0 e 6,5 (Kaminski & Bohnen, 1977; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995), bem como, opcionalmente para solos pouco tamponados (arenosos), equações que permitem calcular a necessidade de calagem (NC, t/ha) em função do teor de Al (cmol/dm³) e da matéria orgânica (MO, %) quando o pH em água é inferior ao desejado e o método SMP não prevê necessidade de calagem (Comissão..., 1995):

para pH 5,5: $NC = - 0,653 + 0,480MO + 1,937Al$ [11]

para pH 6,0: $NC = - 0,516 + 0,805MO + 2,435Al$ [12]

para pH 6,5: $NC = - 0,122 + 1,193MO + 2,713Al$. [13]

Essas equações auxiliam também no controle de

qualidade das análises, pois a NC pelo método SMP pode ser comparada com as Equações [11], [12] e [13] e, havendo valores discrepantes entre os dois procedimentos, as análises podem ser repetidas. Conveniente também é calcular a média dos dois procedimentos e adotá-la como dose de calcário a aplicar. Nas Equações [11], [12] e [13], é interessante observar que a contribuição do Al é cerca de 2,3 (para pH 6,5) a 4,0 (para pH 5,5) vezes maior que a matéria orgânica no cálculo da necessidade de calagem.

Com a crescente adoção do sistema plantio direto e a constatação de não haver resposta das culturas em pH superior a 5,5, adotou-se, a partir do ano 2000, no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, a prática da calagem para elevar o pH do solo somente até 5,5 e 60 % de saturação de bases para a maioria das culturas, mostrando o solo da camada superficial de 0 a 10 cm.

O Estado de São Paulo adotou, até 1965, um critério de recomendação de calagem baseado na correlação entre o pH e a % de saturação em bases (V), proposto por Catani & Gallo (1955), que objetivava elevar o pH dos solos para 6,5, o que corresponde, segundo os dados apresentados por esses autores, a saturação em bases de 70 % [$V = (\text{pH} - 4,288)/0,03126$]. Historicamente, é interessante observar aqui que a idéia de considerar a % de saturação em bases do solo como um fator importante no desenvolvimento de plantas foi introduzida por Pierre (1931), segundo Adams (1984), mas foi Hissink (1923), em trabalho escrito em 1920, na Holanda, quem propôs

representar o grau de saturação do solo pela expressão “% de saturação em bases” (Thomas, 1977), gerando o que se definiu por “fator Hissink”. Pierre, ao definir os fatores da infertilidade de solos ácidos, concluiu que “a percentagem de saturação em bases é um dos mais importantes fatores determinantes do desenvolvimento de plantas em solos ácidos”. Princípio semelhante foi proposto por Bear & Toth (1948) em termos de % de saturação do solo pelos principais cátions (65 % de Ca, 10 % de Mg, 5 % de K e 20 % de H, ou seja, % de saturação de bases de 80 %), que Graham (1959) alterou para uma amplitude de valores (65 a 85 % de Ca, 6 a 12 % de Mg e 2 a 5 % de K). Porém a manutenção desses índices tem sido questionada em termos científicos e econômicos (Haby et al., 1990), pois seu emprego, em muitos casos, implica a aplicação de altas doses de K.

Com o conhecimento da importância do Al em solos de regiões de clima tropical, passou-se a adotar o teor de Al trocável como critério para determinar a dose de calcário e, em 1965, tanto no Estado de São Paulo como nos demais estados do país (exceto RS e SC), adotou-se esse parâmetro (Raij et al., 1979). Porém, em 1968, Verdade et al. (1968) sugeriram para os solos de São Paulo tanto o método de Catani e Gallo (1955) (baseado no pH em água e na saturação de bases e que objetivava atingir pH 6,5) como o método do Al, mas havia restrições a calagens elevadas (Raij et al., 1983). Oficialmente, o Estado de São Paulo, adotou, em 1977, o método do Al x 2, ajustando o teor de Ca + Mg para 2 ou 3

cmol_c/dm³, sendo 2 para solos com teor de matéria orgânica até 2 % e 3 para solos com mais de 2 % de matéria orgânica (IAC, 1977). Porém, segundo Quaggio (1983b), a extração de Al com KCl já era usada em São Paulo em 1932. Em 1985, o Estado de São Paulo adotou o método da saturação de bases (Raij et al., 1985), em função dos dados de Quaggio (1983a), Raij et al. (1983) e do trabalho de Catani & Gallo (1955). O método de Catani e Gallo previa o cálculo da saturação em bases sem incluir o Al e objetivava atingir pH 6,5 e saturação em bases de 70 %, e o método do Al x 2 conferia doses muito baixas em relação às respostas das culturas (Raij et al., 1983), pois com pH 5,4 a 5,6 o teor de Al torna-se zero, impedindo, portanto, a recomendação de calcário a partir desse pH. O método da saturação em bases incluindo o teor de Al nos cálculos foi proposto por Raij (1981, p.88) (Equação [14]), empregando o pH da solução SMP para calcular os teores de H+Al (Raij & Quaggio, 1983; Quaggio et al., 1985) (Tabela 2), com base nas observações iniciais de Raij et al. (1979), que verificaram existir uma excelente correlação entre os valores de pH-SMP e os teores de H+Al.

$$NC \text{ (t/ha)} = \frac{CTC (V_2 - V_1)}{PRNT}, \quad [14]$$

onde CTC representa a soma de H, Al, Ca, Mg e K trocáveis e é expresso em cmol_c/dm³, V₁ é a % de saturação de bases atual, V₂ é a % de saturação de bases desejada e PRNT é o poder relativo de neutralização total do calcá-

rio, expresso em %. A percentagem da capacidade de troca de cátions satisfeita com íons básicos (Ca, Mg e K) é denominada percentagem de saturação de bases. Relações entre a saturação de bases e vários parâmetros de acidez do solo foram apresentados por Raij (1991).

O Estado do Paraná passou a empregar o método da saturação em bases para a cultura de soja em 1985 (Palhano et al., 1984) e, mais recentemente, para outras culturas. Na região dos Cerrados, o método da saturação em bases foi adotado a partir de 1990 (Sousa et al., 1990). Esse método também tem apresentado bons resultados na Nova Zelândia para 60 % de saturação de bases (Hesse, 1971).

Na Tabela 1 constam os métodos adotados recentemente nos diversos estados, e na Tabela 2 constam as equações usadas para estimar o teor de H+Al em função do índice SMP.

Nas regiões onde são usados os teores de Al, Ca e Mg trocáveis e o teor de argila (para compensar o efeito tampão desta na alteração do pH), a seguinte equação geral é empregada (Bahia Filho et al., 1996):

$$NC \text{ (t/ha)} = Y \times Al + [X - (Ca + Mg)], \quad [15]$$

onde Al, Ca e Mg são expressos em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ de solo;

Y = 1 para solos arenosos (< 15 % de argila);

Y = 2 para solos de textura média (15 a 35 % de argila);

Y = 3 para solos argilosos (> 35 % de argila);

X = 1, 2 ou 3 em função da espécie vegetal.

Tabela 1. Métodos usados atualmente para determinar a necessidade de calagem em alguns estados e regiões do Brasil

Estado/Região	Método	Observação
AL	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 cmol/dm ³
BA, Sudeste	Ca + Mg, saturação em Al	Elevar Ca + Mg = 3 cmol/dm ³
BA, Oeste	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 3 cmol/dm ³
BA, PE, região semi-árida	Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 ou 3 cmol/dm ³ , em função da espécie
CE	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 cmol/dm ³
Cerrados	Saturação em bases, Al e Ca + Mg	Saturação em bases de 50 %
ES	Saturação em bases, Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmol/dm ³
GO	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmol/dm ³
MG	Saturação em bases, Al, Ca + Mg e teor de argila	Elevar Ca + Mg para 1, 2 ou 3 cmol/dm ³
MS centro-sul	Saturação em bases (60 %), Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmol/dm ³
MT e centro-norte	Saturação em bases (50 %), Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmol/dm ³
MS	Ca + Mg	
PE	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 cmol/dm ³
PR	Saturação em bases, Al trocável	Variável em função da espécie
RJ	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 ou 3 cmol/dm ³ , em função da espécie
RS, SC	SMP e equações envolvendo MO e Al	Tabela para pH em água 5,5, 6,0 e 6,5, em função da espécie
SP	Saturação em bases	Variável em função da espécie

Tabela 2. Equações desenvolvidas para solos de diversos estados visando estimar o teor de H+Al em função do pH SMP

Estado/ Região	Equação	pH_{SMP} quando $H+Al = 1$ $cmole/dm^3 = 5$	$H+Al^1$ quando $pH_{SMP} = 5$	Referência
SP	$H+Al^{(1)} = e^{7,76 - 1,053SMP}$	7,4	12,1	Rajj & Quaggio (1983)
Cerrados	$H+Al = e^{7,719 - 1,068SMP}$	7,2	10,8	Sousa et al. (1989)
PR	$H+Al = e^{6,0687 - 0,7444SMP}$	8,2	10,5	Pavan et al. (1992)
MS	$H+Al = e^{8,085 - 1,062SMP}$	7,6	16,0	Maeda et al. (1997)
PA	$H+Al = [13,294SMP^2 - 201,73SMP + 786,3]/10$	7,5 ²	11,0	Gama et al. (1998)
PE	$H+Al = 0,4837SMP^2 - 8,4855SMP + 38,448$	<8,0	8,1	Nascimento (2000)
Semi-árido do Nordeste	$H+Al = [31,621SMP^2 - 451,61SMP + 1625,3]/10$	6,9	15,5	Silva et al. (2000)
RJ	$H+Al = [e^{10,05 - 1,02SMP}]/10$	7,6	14,1	Pereira et al. (1998)
RS e SC	$H+Al = [e^{8,9832 - 0,9004SMP}]/10$	7,4	8,8	Escosteguy & Bissani (1999)

¹ $cmole/dm^3$ de solo.

² O menor valor de H+Al (= 2,1) é obtido com $pH_{SMP} = 7,5$.
e = 2,7182818.

Nas regiões onde se usa Al ou Ca+Mg (cmol_c/dm³) (EMATER, 1978, 1980ab), emprega-se o valor maior entre:

$$NC \text{ (t/ha)} = Al \times 2 \quad [16]$$

ou

$$NC \text{ (t/ha)} = [2 - (Ca + Mg)] \times 2. \quad [17]$$

Um dos aspectos da calagem no país, até o fim da década de 60, foi o fato de não haver uma recomendação objetiva e interpretação uniforme de um dado método para estimar a necessidade de calagem. Talvez por essa razão, Malavolta (1967) sugere sete métodos, a saber: acidez hidrolítica (extração com acetato de Ca e titulação com uma solução alcalina em presença de fenolftaleína); acidez de troca (KCl 1 mol/L e titulação com uma solução alcalina em presença de fenolftaleína); método de Vettori (1948) (acetato de Ca neutro a 1 mol/L e titulação com NaOH 0,1 mol/L, em presença de fenolftaleína); método de Catani & Gallo (1955) (acetato de Ca 1 mol/L e titulação com NaOH 0,02 mol/L, usando fenolftaleína como indicador) (usado em São Paulo até 1965); método aproximado de Malavolta [usando o pH, o tipo de solo (arenoso ou argiloso) e o teor de matéria orgânica]; curvas de titulação; e o método da solução tampoadada SMP (Shoemaker et al., 1961). Dos sete métodos acima, cinco envolviam o processo de titulação da acidez extraída. A dose de calcário a ser aplicada era ajustada

através de constantes, mas não é especificado qual o pH do solo que seria atingido, exceto no método de Catani e Gallo, que objetivava atingir pH 6,5. É interessante observar que Malavolta (1967) cita somente métodos publicados até 1961. Portanto, aparentemente, a falta de um método padrão perdurou pelo menos até a metade da década de 60. Posteriormente, com o convênio da Universidade da Carolina do Norte (EUA), passou-se a adotar o teor de Al trocável extraído com KCl 1 mol/L na maioria dos estados, exceto no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina e, em São Paulo, onde o método do Al foi adotado de 1977 a 1985. Segundo Lopes (1983ab), na região dos Cerrados usava-se cinco sistemas de recomendação de calcário envolvendo Al e/ou Ca + Mg. A adequação da extração do teor de Al trocável com KCl 1 mol/L para fins de correção da acidez do solo foi obtida por Lin & Coleman (1960), e a possibilidade prática de estimar a necessidade de calagem pelo teor de Al trocável em solos de clima tropical foi verificada por Kamprath (1970) e por Reeve & Sumner (1970).

Independentemente do método de avaliação da necessidade de calagem, o importante é o objetivo que se deseja alcançar com a calagem (Sumner, 1997), já que as plantas em geral se beneficiam dessa prática quando o solo é ácido. Em qualquer circunstância, quantidades menores de calcário terão menor período residual. O termo "necessidade de calagem" deve refletir a quantidade de calcário necessária para retorno econômico máximo de uma determinada seqüência de culturas em um determinado solo (Hesse, 1971).

A evolução da adoção da calagem no Brasil

A calagem no Rio Grande do Sul

Com a criação do curso de pós-graduação em solos na UFRGS, em 1964 (Ludwick, 1968), foram iniciadas pesquisas visando identificar os fatores responsáveis pela baixa produtividade dos solos do Rio Grande do Sul (Volkweiss & Klamt, 1969; 1971). O Projeto de Melhoramento da Fertilidade do Solo, denominado "Operação Tatu", nome adotado para simbolizar a ação de cavar (amostrar) o solo, teve sua origem em uma amostragem de solo realizada no Município de Ibirubá, em junho de 1966. O trabalho foi desenvolvido pelo Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS (que na época mantinha um convênio de cooperação técnica com a Universidade de Wisconsin, EUA), pela Secretaria da Agricultura, pelo IPEAS e pelo Instituto Rio-grandense do Arroz (IRGA). O objetivo inicial da amostragem era conhecer o nível de fertilidade dos solos dessa região. Com base nos resultados obtidos, decidiu-se executar um projeto em todo o estado (Patella, 1972). Em Ibirubá, no entanto, não houve sucesso. A etapa seguinte foi desenvolvida em Santa Rosa, em Três de Maio, em Tuparendi e em Horizontina, sob a coordenação da Associação Rural de Santa Rosa e a ASCAR (Eng.-Agr. Paulo Sérgio Kappel), onde os trabalhos foram iniciados em março de 1967, a partir do qual a Operação Tatu obteve êxito. Segundo levantamento realizado pelo IBRA (Instituto Brasileiro de Reforma Agrária) em 1966, nesta região existiam 12.397 propriedades rurais, totalizando 194.109 hectares, com a seguinte estratificação: 0 a 10

hectares, 4.287 propriedades, perfazendo 24.022 hectares; 10 a 100 hectares, 8.082 propriedades, totalizando 163.705 hectares; e 100 a 1.000 hectares, 28 propriedades, somando 6.382 ha. A estrutura fundiária portanto era caracterizada como de pequena propriedade, com área média inferior a 25 hectares, sendo o tamanho mínimo definido pelo IBRA de 30 hectares. No início da colonização da região (~ 1900) esses solos estavam cobertos por mata densa e apresentavam razoável índice de fertilidade mas encontravam-se em estado adiantado de esgotamento na década de 60, apesar de terem sido cultivados no máximo por 50 anos. A área da maioria das propriedades incluídas no projeto variava entre 10 e 100 hectares (Associação..., 1967, 1968). Em 1968 já havia solicitação de 80 municípios para participar do projeto (Ludwick, 1968), que objetivava corrigir a acidez e a fertilidade do solo, além de controlar a erosão e estimular o emprego de cultivares geneticamente melhoradas e a adoção de novas práticas de cultivo. A prática do terraceamento foi introduzida na década de 50, mas seu uso ainda era incipiente na década de 60. Convém lembrar aqui por razões históricas que, em função da adoção generalizada do sistema plantio direto na palha na década de 90, muitos agricultores estão atualmente removendo os terraços, apesar de serem estruturas hidráulicas que podem orientar adequadamente o fluxo de água de escoamento.

A Operação Tatu como tal teve ações intensas até 1974 (Klamt & Santos, 1974), e perdeu pelo menos até 1976 (Volkweiss & Ludwig, 1976; Mielniczuk & Anghinoni, 1976). Ela foi importante porque introduziu o princípio da calagem total, ou seja, a aplicação, em uma

só vez, da quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez do solo ao nível desejado (Volkweiss & Klamt, 1969), uma vez que anteriormente à Operação Tatu a dose máxima recomendada de calcário era de duas t/ha, independentemente do grau de acidez do solo. Nas Tabelas 3 e 4 constam os dados referentes às ações realizadas nos anos de 1967 a 1970, tendo sido aplicadas, em média, 4,2 toneladas de calcário por hectare (Patella, 1972).

O indicador que talvez representa adequadamente os resultados obtidos e a euforia com a calagem no fim da década de 60 são as frases de Volkweiss & Klamt (1969): "Como consequência dos resultados obtidos até aqui com as Operações Tatu, reina atualmente um grande entusiasmo e esperança de dias melhores entre agricultores e técnicos do Rio Grande do Sul. Este entusiasmo inclusive ultrapassou as fronteiras do Rio Grande do Sul, pois o Estado de Santa Catarina já está iniciando trabalhos semelhantes, inspirados na experiência gaúcha. Divisa-se agora, para um futuro muito próximo, a mudança da fisionomia agrícola do Estado. Passaremos de um tipo de agricultura extrativa de baixos rendimentos, para uma exploração racional e tecnológica de todas as potencialidades do solo e das plantas". Um trabalho de avaliação da Operação Tatu foi realizado por Mielniczuk & Anghinoni (1976), envolvendo 20 lavouras, nos municípios de Santa Rosa, de Tapera e de Espumoso. Decorridos 5 a 7 anos após a primeira aplicação de calcário, o pH médio era 5,6, a necessidade média de calcário era 2,2 t/ha pelo método SMP para pH 6, e os produtores haviam corrigido a acidez do solo no restante de suas propriedades.

Tabela 3. Evolução do projeto de melhoramento da fertilidade do solo na área de abrangência da ASCAR¹, RS, no período de 1967 a 1970

Fator	Ano				Total
	1967	1968	1969	1970	
Número de municípios abrangidos	4	45	70	84	203
Número de agricultores envolvidos	91	2.144	4.261	8.304	14.800
Área corrigida, hectares	100	4.603	10.335	23.382	38.420
Calcário aplicado, t	334	17.281	43.140	98.760	159.515
Fertilizantes aplicados, t	19	1.783	7.140	22.358	31.300

¹ Associação Sulina de Crédito e Assistência Rural (atualmente EMATER-RS).
Fonte: Patella (1972).

Tabela 4. Rendimento médio de trigo, de milho e de soja obtido em algumas lavouras no projeto de melhoramento da fertilidade do solo, na área de abrangência da ASCAR, RS, no período de 1967 a 1970

Espécie	Número de lavouras	Rendimento, kg/ha	
		Área corrigida	Área não corrigida
Trigo	8	2.070	1.552
Milho	10	6.099	1.427
Soja	9	3.006	832

Fonte: Patella (1972).

*Alguns problemas decorrentes da aplicação e incorporação desuniforme de calcário, especialmente em relação ao surgimento de doenças radiculares em trigo [podridão comum de raízes (*Bipolaris sorokiniana*) e mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*)], geraram, por algum tempo, discussões sobre a adequação do sistema de recomendação de calagem adotado (Reunião..., 1976; Mielniczuk, 1978). No entanto, verificou-se que essas doenças ocorriam somente quando a rotação de culturas não era praticada (Wiethölter, 1978; Diehl et al., 1983). A aveia é imune ao mal-do-pé e pouco suscetível à podridão comum, enquanto o trigo, a cevada e o triticale são espécies suscetíveis a essas doenças. Dúvidas quanto à redução da disponibilidade de manganês com a elevação do pH a 6,5 mediante a calagem também surgiram. Verificou-se que a calagem reduzia o teor de Mn no solo, mas não tornava os solos deficientes nesse elemento (Klamt, 1969).*

O trigo, em geral, não apresentou incremento significativo em rendimento de grãos mediante a calagem, tendo-se verificado, em uma média de 55 experimentos, incremento de apenas 18 %. Em contrapartida, a soja apresentou, em 64 experimentos, aumento médio em rendimento de 55 % (Mielniczuk, 1978). A relativa baixa resposta do trigo à calagem talvez seja conseqüência da verificação, na década de 40, da relação entre a presença de Al em solos do Rio Grande do Sul e o sintoma denominado crestamento do trigo (Araújo, 1948; 1949; 1951), conduzindo os programas de melhoramento genético a promover cruzamentos com cultivares tolerantes ao Al, cuja característica já estava presente em varie-

dades cultivadas em 1922, sendo Polyssu considerada a primeira cultivar de trigo tolerante ao Al (Sousa, 1998).

A calagem em Santa Catarina

No Estado de Santa Catarina, a partir dos resultados obtidos pela Operação Tatu no Rio Grande do Sul, foi elaborado o Plano de Recuperação da Fertilidade do Solo em meados de 1968, para ser executado a partir de 1969 e com duração até 1975. Em agosto de 1968 foi realizado o primeiro curso para técnicos catarinenses, em Urussanga, chamado de Curso de Fertilidade e Análise de Solos, ministrado pelos professores da UFRGS (Sérgio J. Volkweiss e Marvin T. Beatty) e UFPel (Wenceslau J. Goedert). Os primeiros trabalhos de campo foram realizados no município de Nova Veneza, região Sul do Estado, em 1969, com a instalação de 16 lavouras demonstrativas, seguindo as normas técnicas preconizadas pelo "Plano", entre elas, adubação corretiva e de manutenção e calagem pelo método SMP para atingir pH 6,0. Estas lavouras de milho foram as primeiras do Estado a receberem mais de duas toneladas por hectare de calcário, que era o limite de calagem vigente até então. Foram aplicadas em média de 8,1 t/ha. O rendimento médio dessas lavouras foi de 5.040 kg/ha. Nos anos seguintes o "Plano" se expandiu para todo Estado e o consumo do calcário atingiu aproximadamente 50 mil toneladas em 1970 e 300 mil toneladas em 1980 (Pundek, 2000a). Outros treinamentos foram realizados em Florianópolis e em Videira. Os trabalhos de campo foram realizados a partir da

safrade 1970/1971, pela Secretaria da Agricultura e pela ACARESC (Volkweiss & Klamt, 1969). Na Tabela 5 constam os rendimentos médios obtidos com milho, com soja e com arroz. Em termos experimentais, em 1970, foram iniciados 20 ensaios de calagem e de adubação de trigo e de soja no Estado de Santa Catarina, tendo havido um incremento em rendimento de cerca de 10 % no primeiro cultivo de trigo (Moraes & Winkler, 1971).

Tabela 5. Rendimento médio de grãos de milho, de soja e de arroz obtido em algumas lavouras no projeto de melhoramento da fertilidade do solo no Estado de Santa Catarina, na safra 1970/1971

<i>Espécie</i>	<i>Número de lavouras</i>	<i>Rendimento, kg/ha</i>
<i>Milho</i>	<i>245</i>	<i>5.220</i>
<i>Soja</i>	<i>50</i>	<i>2.580</i>
<i>Arroz</i>	<i>49</i>	<i>4.100</i>

Fonte: Patella (1972).

Um dos aspectos importantes a destacar nas Tabelas 3, 4 e 5 e nos dados apresentados por Goedert & Klamt (1969) é o elevado rendimento das culturas, obtido no primeiro cultivo mediante aplicação de calcário e de fertilizantes. Dessa maneira, a Operação Tatu pode talvez ser entendida como um exemplo prático de recuperação de solos que estavam com grandes problemas de acidez, de fertilidade e de erosão. Sob o aspecto socioeconômico, a Operação Tatu foi muito importante porque foi executada principalmente com pequenos e médios proprietá-

rios agrícolas que se encontravam em situação econômica de falência iminente e por ter introduzido conceitos novos de manejo de solo e de culturas. A Operação Tatu, portanto, apresenta certa analogia com a "Revolução Verde" das décadas de 60 e 70, que consistiu essencialmente no uso de cultivares mais produtivas e na melhoria da fertilidade do solo, cujas técnicas foram implementadas em muitos países.

A calagem no Paraná

A exemplo dos demais estados do Brasil, a pesquisa com calagem teve grande impulso na década de 60, com a atuação de vários pesquisadores. Porém os trabalhos dos professores Raul Edgar Kalckmann da UFRGS [cedido à Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Coordenador Técnico do Projeto de Recursos de Solo do CERENA (Comissão de Estudo dos Recursos Naturais Renováveis do Estado do Paraná)], Carlos Bodziak Jr. (Prof. de Química Agrícola da UFPR) e Osmar Muzilli (Prof. da UFPR) foram os que mais contribuíram para o conhecimento inicial da necessidade de calagem dos solos desse estado.

Uma das preocupações iniciais foi a determinação de um método para estabelecer a necessidade de calagem e as doses de calcário a aplicar (Kalckmann, 1967; Muzilli, 1968). Assim, usando 16 solos, Kalckmann et al. (1967) verificaram que para neutralizar o Al era necessário aplicar 1,7 t/ha de CaCO₃ para cada cmol_c Al/kg (= meq Al/100 g de solo), ou 0,52 t de CaCO₃/ha por cada cmol_c H+Al/kg de solo. Vários estudos (Muzilli et al.,

1969ab; Muzilli & Kalckmann, 1969, 1971a) indicaram que para trabalhos em laboratório e em campo o fator de calagem, $f = 1,5$ a $2,0 \times \text{Al}$, era satisfatório para reduzir a presença de Al trocável para teores abaixo de $0,5 \text{ cmol}_e \text{ Al/kg}$ de solo. Posteriormente, Muzilli & Kalckmann (1971a) estabeleceram níveis para a interpretação da % de saturação de Al, e Muzilli & Godoy (1979) verificaram que o fator de calagem de 2 t/ha para cada $\text{cmol}_e \text{ Al/kg}$ de solo era suficiente para neutralizar a acidez trocável e elevar o pH a 5,4.

O avanço do conhecimento sobre a prática da calagem durante a década de 60 levou Muzilli & Kalckmann (1970, 1971b) a escrever, textualmente, o seguinte: "A excelente repercussão obtida com o desenvolvimento da Operação Tatu no Rio Grande do Sul fez com que entidades de pesquisa e de extensão rural do Estado do Paraná também se movimentassem, com o fito de proceder a pesquisas básicas para a execução de trabalho semelhante ao desenvolvido naquele estado sulino". Os autores escolheram 20 produtores assistidos pela ACARPA, na região nordeste do estado, e estabeleceram áreas experimentais com a cultura de milho na safra 1969/1970. Os tratamentos foram com e sem calagem e doses de P e de K. Nas parcelas com calagem e em solos com teor de Al menor que $0,5 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$, aplicaram-se duas toneladas de calcário por hectare, e nos demais solos aplicaram-se 4 vezes o teor de Al, expresso em cmol_e/kg . Os resultados indicaram haver necessidade de correção da acidez em solos com mais de $0,5 \text{ cmol}_e \text{ Al/kg}$ de solo, estabelecendo-se um nível crítico de acidez correspondente a 20 % de saturação de Al (Muzilli &

Kalckmann, 1971b). Dessa forma, o teor de Al trocável x 2 passou a ser o parâmetro adotado para determinar a necessidade de calagem. Porém, em 1985 (Palhano et al., 1984), o estado adotou o método da saturação de bases para a soja (70 %) e, posteriormente, também para outras culturas.

A calagem em São Paulo

No Estado de São Paulo, a calagem teve grande importância a partir de 1968, tendo sido instituída, pela Secretaria da Agricultura, a "Campanha de Calagem do Solo", e formou-se um Grupo de Trabalho para tal finalidade e que resultou na publicação "Uso e aplicação do calcário", de Verdade et al. (1968), que norteou a prática em seus diversos aspectos. A importância da calagem na época transparece nos escritos de Malavolta (1970): "A calagem é uma prática necessária de modo bastante geral. Em boa hora a Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo iniciou a sua Campanha para a Calagem, com a finalidade de aumentar o uso de calcário entre os lavradores. Tal campanha vai desde a difusão da prática em questão até a medidas de crédito para a aquisição de calcário. Os lavradores podem obter financiamento para a compra de calcário através do Banco do Brasil ou do Banco do Estado de São Paulo, tendo três anos para pagar. Coisa parecida se faz no Rio Grande do Sul". O Professor Malavolta certamente se referia à Operação Tatu, que, na época, estava sendo iniciada nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, conforme resultados indicados nas Tabelas 3, 4 e 5.

A calagem em solos sob Cerrado

Em virtude de a maioria dos solos sob vegetação de cerrado apresentar elevada acidez e baixos teores de cátions de reação básica (Ca e Mg), a % de saturação de Al é elevada. Nessas circunstâncias a calagem torna-se uma prática imprescindível, havendo respostas altamente positivas, conforme citações de trabalhos publicados nas décadas de 60, 70 e 80 (Lopes, 1983ab). Com a ocupação gradativa do cerrado e com o cultivo de culturas em larga escala, a calagem passou a ser de grande importância econômica para várias culturas, e métodos de avaliação da necessidade de calagem foram desenvolvidos especificamente para esses solos nas décadas de 80 e 90 (Sousa et al., 1980, 1989, 1990; Sousa & Lobato, 1996).

Em síntese, pode-se deduzir que a prática da calagem passou a ser estimulada amplamente no país, a partir do ano de 1967 no Rio Grande do Sul (Volkweiss & Klamt, 1969), a partir da safra de verão de 1970/71 no Estado de Santa Catarina (Patella, 1972), a partir da safra de verão de 1969/70 no Estado do Paraná (Muzilli & Kalckmann, 1970), e em São Paulo provavelmente a partir de 1968 (Verdade et al., 1968). Aparentemente, não há dados estatísticos precisos de consumo de calcário na época (Tabela 6).

Segundo Malavolta & Rocha (1981), dois programas que tiveram marcante efeito na adoção da calagem e da adubação, e que geraram desenvolvimento na agricul-

tura, foram a Operação Tatu no Sul do país e a adoção de tecnologia no centro e na vasta região do centro-oeste, na região dos Cerrados, cuja ocupação teve grande incentivo nas décadas de 60 e 70. Pode-se ressaltar que tanto a Operação Tatu como a ocupação dos Cerrados deram-se em solos muito exauridos, tendo sido superados os problemas de acidez e de baixa fertilidade desses solos.

Resposta das culturas à calagem e retornos econômicos

Muitos trabalhos têm sido publicados sobre a resposta das culturas à calagem. Dependendo do pH do solo, a maioria das culturas apresenta incremento no rendimento com a calagem. Em geral, as espécies atingem rendimento máximo quando o pH varia entre 5,5 e 6,0. As principais sínteses desses trabalhos, envolvendo várias espécies, foram escritas na década de 80, por Quaggio (1985, 1989), por Malavolta (1985) e por Siqueira (1989). As espécies citadas por esses autores são as seguintes: amendoim, algodão, batatinha, feijão, girassol, milho, soja, sorgo, trigo e triticale (Quaggio, 1985, 1989); algodão, arroz, banana, cacau, café, cana-de-açúcar, feijão, laranja, milho, pastagens, soja, tomate e trigo (Malavolta, 1985); alfafa, canola, feijão, fumo, linho, milho, soja e trigo (Siqueira, 1989). Cabe ainda citar a coletânea de dados de resposta à calagem obtidos em São Paulo e apresentados por Verdade et al. (1968), en-

volvendo as seguintes espécies: algodão, amendoim, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, mamona, milho, e pastagens (gramíneas e leguminosas). Trabalhos detalhados de resposta específica à calagem foram publicados pelos seguintes autores: algodão (Silva, 1983), amendoim (Nakagawa, 1983), arroz (Fageria, 1983), banana (Moreira, 1983), batatinha (Castro, 1983), cacau (Cabala-Rosand & Santana, 1983), café (Garcia, 1983), cana-de-açúcar (Marinho, 1983), feijão (Muzilli, 1983), fumo (Luisi, 1983), girassol (Ungaro, 1983), leguminosas forrageiras (Goepfert, 1983), seringueira (Dutra, 1983), soja (Mielniczuk, 1978; Mascarenhas, 1983), sorgo (França et al., 1983), trigo (Mielniczuk, 1978; Siqueira, 1983) e videira (Terra, 1983).

Retornos econômicos obtidos com a prática da calagem em solos ácidos foram demonstrados por vários autores (Mielniczuk, 1983; Siqueira, 1989). Relações entre diversos métodos de estimar a necessidade de calagem e retornos econômicos obtidos com a resposta das culturas de milho, de soja, de algodão, de feijão e de cana-de-açúcar foram estabelecidas por Rajj & Quaggio (1997). Modos de aplicação de calcário para culturas anuais e perenes, envolvendo a incorporação na camada arável, no sulco de semeadura, em profundidade para culturas perenes, e superficial no sistema plantio direto, têm indicado que todos esses procedimentos são viáveis para condições específicas de cultivo (Carvalho e Meurer, 1980; Anghinoni, 1983, 1989; Ben et al., 1983; Pöttker et al., 1998).

Dados estatísticos sobre consumo e disponibilidade de calcário e perspectivas da calagem

O Brasil possui atualmente cerca de 50 milhões de hectares em cultivo com espécies produtoras de grãos (milho, soja, feijão, arroz, trigo, aveia, triticale, cevada, amendoim), cana-de-açúcar, café, laranja, algodão, hortaliças etc. Potencialmente o país apresenta 300 milhões de hectares para exploração agrícola. Somente no Estado do Rio Grande do Sul existem cerca de 10,5 milhões de hectares sob pastagem natural (IBGE, 1999), dos quais cerca de 10 % poderiam ser convertidos para a produção intensiva de pastagens cultivadas ou de grãos. A região dos Cerrados ocupa 207 milhões de hectares (20 % do país) e apresenta 138 milhões de hectares (2/3 da área) aptos para produção agrícola e cerca de 50 milhões de hectares aráveis (Goedert, 1979), estando em cultivo mais de 10 milhões de hectares com culturas produtoras de grãos. Dessa forma, o país possui pelo menos uma reserva de 50 milhões de hectares de solo para ser acrescentada à área agricultável, o que representa a última grande fronteira agrícola do planeta. Como a maioria dos solos possui algum grau de acidez ($\text{pH} < 5,5$), depreende-se que o potencial de uso da prática de calagem é significativo e é contínuo em função do processo de acidificação natural do solo.

Incentivos do governo federal, mediante linha especial de crédito para adoção da prática da calagem, existiram entre 1975 e 1979, através do PROCAL (Programa

Nacional de Calcário Agrícola). Posteriormente, por sugestão do Prof. Malavolta em 18 de julho de 1986, então consultor da Associação Nacional para a Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas (ANDA), foi proposto o Plano Nacional de Calcário Agrícola (PLANACAL), cuja versão final foi apresentada pela Comissão Técnica da ANDA em 12 de novembro de 1986. Este programa foi encaminhado ao Ministério da Agricultura em 1987, mas não foi implementado (Becker, 2000). Um nova versão do PLANACAL foi proposta em 1995 pela Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL), envolvendo os Sindicatos das Indústrias de Calcário das seguintes unidades da federação: Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul, Espírito Santo, Mato Grosso, Goiás e Distrito Federal (Becker et al., 1995).

O consumo de calcário no país foi pouco expressivo na década de 60. A partir do PROCAL, em 1975, o consumo atingiu cerca de 6 milhões de toneladas por ano. De 1975 a 1984, o consumo dobrou, atingindo cerca de 12 milhões de toneladas. Em 1989, o consumo foi da ordem de 15 milhões de toneladas (Tabela 6). No ano de 1990 o consumo baixou para 12 milhões de toneladas, cresceu novamente para 15 milhões de toneladas em 1992, atingindo o máximo de 21 milhões de toneladas em 1994, porém baixou novamente em 1995 para 12 milhões de toneladas. Entre 1996 a 1999 o consumo oscilou entre 15 a 17 milhões de toneladas. Na média entre 1990 a 1999 o consumo foi de 15,6 milhões de toneladas/ano (Tabela 7), representando pouco menos que 1/3 da capacidade de produção da indústria, que é da ordem de 54 milhões de toneladas (Tabela 8).

Tabela 6. Consumo anual de calcário nas diversas regiões do Brasil entre 1963 e 1989

Ano	Estado/Região							Brasil
	RS	SC	PR	SP	SP/MG	Centro/ Sul	Norte/ Nordeste	
	----- 1.000 t -----							
1963								267
1964				330				342
1965	23	12	66					317
1966	28	12	79					352
1967	54	39	104					440
1968	96	52	126					604
1969	98							
1970	250							50
1971	300							
1972	650							
1973	1.035							
1974	1.533							
1975	2.339	220		1.943		6.000'	100 ²	7.084
1976	2.917	285		1.522		7.600'	200 ²	6.304
1977	2.250	310		1.309		10.200'	400 ²	5.490
1978	1.857	330		1.425		12.600'	600 ²	5.504
1979	1.091	294		2.165		14.600'	700 ²	6.469
1980	1.300	285				16.600'		6.504
1981	1.705	380				18.600'		5.245

Continuação Tabela 6

Ano	Estado/Região						Brasil
	RS	SC	PR	SP	SP/MG	Centro/ Sul	
1982	1.503	360				20.600 ¹	4.073
1983	2.000	470				22.600 ¹	5.281
1984	2.243	560	3.000			24.600 ¹	11.946
1985	1.713	790					11.929
1986	2.600	1.150					14.166
1987	1.880	780					13.537
1988	2.594	960					16.572
1989	2.307	870					14.477

Fonte: RS, SC e PR 1965-1968 (Banco..., 1969); RS 1969 e Brasil 1985-1989 (Becker, 1997); RS 1970-1974 (Mielniczuk & Schneider, 1984); RS 1975-1988 (Becker, 1989); SC 1970 (Pundek, 2000a); SC 1975-1989 (Tassinari, 1997); PR e Brasil 1984 (Lopes & Guidolin, 1987); SP 1964 (Freitas, 1965); SP/MG 1963-1968 (Associação..., 1971); SP 1975-1979 SINDICAL/ASPROCAL (Vitti, 1997); Brasil 1975-1983 (Rocha, 1985).

¹ Estimativa realizada para o PROCAL em 1974 (Lopes & Guidolin, 1987).

² Estimativa realizada para o PROCAL (Gonçalves, 1975).

Observação: Os espaços em branco indicam que não há informações.

Tabela 7. Comercialização de calcário agrícola entre 1990 e 1999 no Brasil

Estado	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Média
	1.000 t										
São Paulo	2.177	2.000	3.430	3.611	4.567	3.362	3.437	3.724	3.597	3.205	3.311
Paraná	3.200	2.000	2.073	2.813	3.481	1.852	2.422	2.907	2.532	2.166	2.545
Rio Grande do Sul	1.841	1.175	2.818	3.696	3.122	1.392	1.799	2.319	2.103	1.871	2.214
Minas Gerais	1.600	1.700	1.800	2.300	2.341	1.770	1.870	1.958	1.877	2.177	1.939
Goiás	1.000	800	1.762	1.940	2.330	1.180	2.350	1.844	1.591	1.990	1.679
Mato Grosso	621	1.000	1.426	2.228	2.284	774	1.343	1.254	1.914	1.351	1.420
Mato Grosso do Sul	670	900	520	1.076	1.044	390	592	900	643	600	734
Santa Catarina ¹	680	550	950	734	767	807	696	926	739	496	734
Tocantins	210	300	151	550	60	30	300	80	80	74	184
Bahia	105	100	115	270	420	148	221	489	497	407	277
Maranhão	80	120	173	140	400	180	280	220	274	215	208
Espírito Santo	70	180	--	120	130	131	60	113	113	240	129
Outros	--	--	190	272	334	246	247	325	176	391	273
Total	12.254	10.825	15.408	19.750	21.280	12.262	15.617	17.059	16.136	15.183	15.647

Fonte: ABRACAL-PLANACAL (Becker et al., 1995; Becker, 2000).

¹ 1990-1991 (Tassinari, 1997).

Consumo estimado para o ano 2000: RS, 2,2 milhões de toneladas e Brasil, 16 milhões de toneladas (Becker, 2000).

Tabela 8. Capacidade de moagem de calcário agrícola e reservas de calcário no Brasil, 1995

Estado	Número de usinas ¹	Capacidade, t/ano	Participação, %	Reservas, Milhões t
Minas Gerais	51	9.783.734	18,23	14.545
São Paulo	40	9.000.000	16,77	4.196
Paraná	88	7.819.418	14,57	5.908
Rio Grande do Sul ²	17	6.570.000	12,24	1.181
Mato Grosso	15	5.600.000	10,43	2.693
Goiás	36	5.483.753	10,22	1.860
Mato Grosso do Sul	17	3.738.286	6,96	26.454
Espírito Santo	12	1.805.921	3,36	733
Pernambuco	14	654.111	1,22	595
Bahia	10	604.350	1,13	3.360
Distrito Federal	3	562.500	1,05	260
Rio de Janeiro	4	490.000	0,91	3.633
Santa Catarina	8	445.900	0,83	478
Maranhão	4	320.000	0,60	323
Alagoas	3	236.000	0,44	55
Paraíba	3	162.000	0,30	824
Sergipe	1	132.000	0,25	1.020

Continuação Tabela 8

Estado	Número de usinas ¹	Capacidade, t/ano	Participação, %	Reservas, Milhões t
Piauí	2	80.000	0,15	716
Rondônia	1	80.000	0,15	265
Rio Grande do Norte	3	76.500	0,14	5.279
Ceará	3	38.000	0,07	4.571
Pará	-	-	-	1.303
Amazonas	-	-	-	346
Total	335	53.682.473	100,00	80.608

Fonte: MAA (Ministério da Agricultura e do Abastecimento) e ABRACAL (Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola), PLANACAL (Becker et al., 1995).

Em 1984 o país possuía cerca de 180 empresas produtoras e 500 moinhos de calcário agrícola (Rocha, 1985). No ano de 2000 o número de indústrias é 276, sendo os 7 principais estados produtores e número de usinas os seguintes: MG 51, PR 49, SP 48, GO 31, MT 15, ES 14 e RS 13. Os demais estados perfazem 55 usinas. A capacidade total de produção dessas indústrias é de 25,2 milhões de toneladas por ano (ABRACAL e Becker, 2000).

A primeira indústria de calcário instalada no Rio Grande do Sul foi em 1923 (Banco..., 1969). No Rio Grande do Sul, no ano 2000, existem 13 fábricas, sendo 7 situadas no Município de Caçapava do Sul, 4 em Pantano Grande, uma em Bagé e uma em Rio Pardo (Becker, 2000).

Considerando que o país cultiva 50 milhões de hectares, e se o "consumo" anual de calcário pelo solo fosse de uma tonelada por hectare (PRNT de 70 %) (Malavolta, 1984), o país deveria atualmente consumir em torno de 50 milhões de toneladas, o que seria equivalente à capacidade de moagem instalada (Tabela 8) e prevista para o 5º ano de implantação do PLANACAL (Becker et al., 1995). Se os mais de 50 milhões de hectares disponíveis para incorporação na produção agrícola fossem transformados em lavoura ou em pastagem numa taxa de 2 milhões de hectares por ano, cerca de 10 milhões de toneladas de calcário seriam necessários por ano para essa área nova, perfazendo o total de 60 milhões de toneladas por ano. Se parte dos solos atualmente cultivados com pastagens também recebesse calcário, o consumo poderia aumentar consideravelmente.

A reserva de calcário existente no país é de 80,6 bilhões de toneladas (Tabela 8). Estimando-se o consumo anual em 50 milhões de toneladas, essa reserva seria suficiente para 1.600 anos. As informações referentes aos tipos de calcário e a localização das minas em cada estado brasileiro constam em Abrahão (1985).

A calagem no sistema plantio direto

Os problemas de conservação do solo passaram a ser mais evidentes a partir da intensificação da atividade agrícola no país na década de 50, período em que foi introduzida a prática do terraceamento. Nas décadas de 60 e 70 houve grande expansão da área agrícola no país e o terraceamento tornou-se prática comum, mas o problema

das perdas de solo devido à erosão continuaram em razão do preparo intensivo do solo. No início dos anos 70 foi introduzido o sistema plantio direto na palha, mas a sua adoção nessa década e na de 80 foi incipiente. A adoção generalizada do plantio direto só ocorreu a partir da década de 90, mormente a partir de 1995, e desde então tem tido um crescimento rápido em área, conforme consta na Tabela 9.

A principal vantagem do sistema plantio direto é a conservação do solo, pois o mesmo permanece coberto com resíduos culturais e o revolvimento ocorre apenas na linha de semeadura. Dessa forma, o sistema plantio direto, por proporcionar agregação de matéria orgânica ao solo e, em conseqüência, melhoria da capacidade produtiva, pode ser definido como agricultura semi-orgânica ou regenerativa da fertilidade do solo, constituindo-se em uma das mais importantes contribuições para a agricultura e o ambiente. Em última instância, o sistema plantio direto é uma nova "Revolução Verde".

Os conceitos relacionados com a fertilidade do solo no sistema convencional de preparo de solo nem sempre podem ser transpostos diretamente para o sistema plantio direto. Young (1982) já alertava para esse fato, indicando que algumas teorias bem estabelecidas em termos de manejo da adubação e da calagem no sistema convencional não serviriam para o sistema plantio direto, entre as quais a necessidade de incorporação de fertilizantes e de calcário.

Na Tabela 10 constam os dados de análises de dois solos, na camada de 0 a 20 cm, realizadas antes da instalação de experimentos em 1993 (Pöttker et al.,

1998). Esses solos vinham sendo cultivados há 3 e há 9 anos no sistema plantio direto e apresentavam pH baixo e teores médios a altos de Al trocável, uma condição na qual se esperaria efeito benéfico da calagem. Na Tabela 11 constam os dados médios de rendimento de grãos obtidos nesses experimentos, envolvendo 7 culturas em cada um, cultivadas a partir de 1993. A primeira constatação que pode ser feita é que as culturas responderam ao calcário, independente de a aplicação ter sido na superfície ou se incorporado, e mesmo doses pequenas (1/8 e 1/16 SMP) já proporcionaram aumento de rendimento. A segunda constatação que pode ser extraída dos dados é que as espécies cultivadas (soja, trigo, milho, aveia branca e cevada) praticamente não apresentaram incremento em rendimento de grãos a partir da aplicação de 1/4 ou 1/2 da dose indicada pelo método SMP para pH 6. Economicamente, a dose de 1/4 SMP talvez seja mais conveniente, exceto para a cultura de cevada (dados não mostrados), que respondeu até 1/2 SMP. De qualquer forma, o efeito residual da calagem é sempre proporcional à dose aplicada. Depreende-se, pois, dos dados da Tabela 11, que a necessidade de calcário no sistema plantio direto é menor que a requerida no sistema convencional de preparo de solo, algo que vem sendo observado por vários autores - por exemplo, no Brasil (Sá, 1993) e nos Estados Unidos (Phillips & Phillips, 1984). No entanto, deve ser considerado que os dados da Tabela 11 foram obtidos em solos bem supridos em P e em K (Mehlich-I) e que o efeito substitutivo desses nutrientes pela calagem pode estar anulando parte do efeito da correção da acidez. Porém, tem sido verificado que o efeito prejudicial do Al é menor no sistema plantio direto do que no sistema con-

vencional de preparo, devido à formação de complexos orgânicos com o Al (Salet et al., 1996). Dessa forma, com o aumento da área cultivada no sistema plantio direto, a tendência é usar menores quantidades de calcário por área e em intervalos maiores do que aqueles usados no sistema convencional de preparo do solo. Isso implicará menor consumo de calcário por área e redução dos custos de produção. Considerando que a aplicação de calcário na superfície do solo altera o pH em geral apenas dos primeiros 5 a 10 cm em três anos (Pöttker et al., 1998), a dose de 1/4 a 1/2 SMP, recomendável com base nos dados da Tabela 11, indica que a correção de cerca de 1/4 (0 a 5 cm) a 1/2 (0 a 10 cm) da camada arável é suficiente para o pleno desenvolvimento de plantas no sistema plantio direto, conquanto não haja limitação no suprimento de nutrientes e teores elevados de Al na camada subsuperficial do solo.

Como exemplo de alteração da demanda total de calcário, advinda da adoção generalizada do sistema plantio direto, pode-se citar a necessidade média de calcário dos solos do estado do Rio Grande do Sul de 4,2 t/ha em 1981 (Tedesco et al., 1984), de 3,6 t/ha em 1989 (Drescher et al., 1990) e, atualmente, de 3,8 t/ha (com base em 165.970 amostras analisadas por 8 laboratórios em 1997, 1998 e 1999) (Rheinheimer, 2000), para a camada de solo de 17 a 20 cm atingir pH em água igual a 6,0. Uma pequena parte da redução da necessidade de calcário entre 1981 e 1999 pode ser atribuída a aplicação superficial de calcário e elevação do pH de amostras coletadas na camada superficial.

Tabela 9. Área estimada de cultivo sob sistema plantio direto, 2000

<i>País/Continentes</i>	<i>Área, mil ha</i>	<i>% da área cultivada</i>
<i>Argentina</i>	<i>8.000</i>	<i>32</i>
<i>Austrália</i>	<i>8.600</i>	<i>-</i>
<i>Brasil¹</i>	<i>12.500</i>	<i>24</i>
<i>Canadá</i>	<i>4.100</i>	<i>15</i>
<i>EUA</i>	<i>19.800</i>	<i>16,7</i>
<i>ParaguaiL</i>	<i>800</i>	<i>52</i>
<i>Totais:</i>		
<i>América</i>	<i>-</i>	<i>82</i>
<i>Austrália</i>	<i>-</i>	<i>16</i>
<i>Europa, África, Ásia</i>	<i>-</i>	<i>2</i>
<i>Total</i>	<i>~ 55.000</i>	<i>100</i>

¹ Área total cultivada \cong 52 milhões de hectares. Área agricultável \cong 100 milhões de hectares. Área apta à produção agrícola \cong 300 milhões de hectares. As áreas sob plantio direto no país foram de 1, 8, 57, 54, 205, 245 e 500 mil hectares, respectivamente, nos anos de 1972, 1974, 1976, 1978, 1980, 1981 e 1983 (Montoya, 1984). No RS a área total cultivada é igual a 6,0 milhões de hectares (IBGE, 1999) e no sistema plantio direto: em 1980, 40.000 hectares; em 1990, 205.000 hectares e em 1998, 3,3 milhões de hectares (Denardin & Kochhann, 1999). A área total de campo natural no RS é igual a 10,5 milhões de hectares (IBGE, 1999). No PR a área total cultivada é igual a 6,0 milhões de hectares e a área sob plantio direto é 2,5 milhões de hectares (Pavan, 1999). Em SC a área total cultivada é 2,0 milhões de hectares e a área sob plantio direto é 800.000 hectares (Pundek, 2000a). A área sob plantio direto em SP é 300.000 hectares.

Fontes: Confederação de Associações Americanas para Agricultura Sustentável (CAAPAS), Conservation Technology Information Center (CTIC) (Apassul, 1996), Iapar (1986), Epagri (1993), Gassen & Gassen (1996) e Derpsch & Florentin (2000).

Tabela 10. Características químicas de solos usados em experimentos de doses e formas de aplicação de calcário no sistema plantio direto. Embrapa Trigo

Solo	Argila	NC ¹	pH _{água}	PH _{SMP}	P	K	M.O.	Al	Ca	Mg
-- %--	t/ha				--- mg/dm ³	--	%	-----	mmol/dm ³	-----
LVd ²	38	10,7	4,7	4,9	8,1	124	2,1	23,1	18,5	6,6
LVa ³	58	7,2	4,6	5,3	45,1	118	2,5	18,8	24,5	9,5

Valores médios da camada de 0 a 20 cm de profundidade, obtidos de amostras coletadas antes da instalação dos experimentos, em 1993.

¹ NC = Necessidade de calagem pelo método SMP para pH 6. Calcário aplicado em 1993.

² Latossolo Vermelho Distrófico típico (Unidade de Mapeamento Passo Fundo). Calagem anterior realizada em 1987. Cultivado no sistema plantio direto desde 1990.

³ Latossolo Vermelho Aluminoférico típico (Unidade de Mapeamento Erechim). Calagem anterior realizada em 1983. Cultivado no sistema plantio direto desde 1984.

Fonte: Pöttker et al. (1998).

Tabela 11. Efeito da aplicação de calcário, em sistema plantio direto, no rendimento médio de grãos da seguinte seqüência de culturas: soja, trigo, milho, aveia branca, soja, cevada e soja. Embrapa Trigo

Tratamento	Solo		Média ¹
	LVdt	LVat	
	----- kg/ha -----		
Testemunha (sem calcário)	2.174	2.926	2.550
1 SMP incorporado	2.857	3.439	3.148
1 SMP na superfície	2.819	3.450	3.134
1/2 SMP na superfície	2.756	3.448	3.102
1/4 SMP na superfície	2.626	3.340	2.983
1/8 SMP na superfície	2.535	3.290	2.912
1/16 SMP na superfície	2.514	3.210	2.862
Média	2.612	3.300	2.956

¹ Valores médios de sete cultivos em cada solo.

Em ambos os experimentos as doses de calcário foram aplicadas em 1993.

Fonte: Pöttker et al. (1998).

Ainda pode ser observado na Tabela 11 que a diferença entre a aplicação superficial e a incorporação de calcário foi muito pequena, algo também constatado por Oliveira & Pavan (1996).

Em função dos dados sobre o efeito da calagem no sistema plantio direto, obtidos nos últimos anos, a recomendação de calcário para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, passou a ser, em 1997, a seguinte: a) para solos sob plantio direto, amostrar o solo

na camada de 0 a 20 cm e aplicar, a lançar na superfície, 1/4 da dose estimada pelo método SMP para pH 6; b) para solos sob plantio direto que já tenham recebido calcário na superfície, amostrar na camada de 0 a 10 cm e aplicar 1/4 SMP na superfície; c) para solos sob vegetação de pastagem nativa e que serão convertidos para a produção de culturas de lavoura sem o preparo do solo, aplicar 1/4 a 1/2 SMP (solos argilosos). Em qualquer sistema de cultivo, reanalisar o solo 3 anos após a aplicação de calcário na superfície, amostrando a camada de 0 a 10 cm (Reunião..., 1997). No ano de 2.000 a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Núcleo Regional Sul (NRS) da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) recomendou calagem, para a maioria das culturas, cultivadas em sistema plantio direto consolidado, somente se o pH em água for inferior a 5,5 e saturação de bases inferior a 60 %. A dose é 1/2 SMP para o solo atingir pH 5,5 e a amostragem na camada de 0 a 10 cm.

Legislação sobre corretivos da acidez de solo

A primeira legislação brasileira sobre calcário agrícola foi, provavelmente, definida pelo Decreto Federal 50.146, de 27 de janeiro de 1961 (Brasil, 1961). Esse decreto regulamentava a “fiscalização do comércio de fertilizantes e produtos correlatos destinados à agricultura”. As exigências para calcários eram as seguintes: 100 % passar em peneira de 2,0 mm e 50 % passar em peneira

de 0,3 mm; teores de CaO+MgO solúveis em HCl e limite de variação para menos de até 2 % no teor de CaO+MgO. Em complementação, a Comissão Central de Compras da Secretaria da Fazenda do Estado de São Paulo classificava os calcários em dois grupos: A - calcário calcítico, contendo, no mínimo, 45 % de CaO; e B - calcário dolomítico, contendo, no mínimo, 40 % de CaO+MgO e 10 % de MgO (Jorge, 1969). No entanto, segundo Malavolta (1967), faltava um regulamento, aplicável a todo o país, que padronizasse os métodos de análise, tanto de fertilizantes como de calcários.

Em 1975, através do Decreto N° 75.583 (Brasil, 1977), 100 % do calcário deveria passar em peneira com abertura de 2,0 mm e 50 % em peneira de 0,3 mm, e a soma de CaO e MgO deveria ser superior a 38 %, permitindo variações de até 3 % para CaO, até 2 % para MgO e até 4 % para CaO+MgO.

Uma legislação mais abrangente foi criada pela Portaria N° 1, de 4 de março de 1983 (Brasil, 1983), substituindo a Portaria N° 1, de 20 de abril de 1982, por esta apresentar erros. As especificações quanto à granulometria eram as seguintes: 95 % passar em peneira de 2,0 mm e 50 % passar em peneira de 0,3 mm. O produto deveria apresentar garantia dos teores individuais de CaO e de MgO e soma de CaO e MgO de no mínimo 38 %. Nessa portaria foi introduzida a exigência de 67 % de poder de neutralização (PN) em equivalência de CaCO₃. Os métodos oficiais de análise de calcário, aos quais Malavolta (1967) havia se referido, foram estabelecidos em 1982 (Brasil, 1982) e aperfeiçoados em 1988 (Brasil, 1988).

A legislação atualmente em vigor foi estabelecida em 1986 (Brasil, 1986). Nela foi introduzido o conceito de poder relativo de neutralização total (PRNT), que se constitui em um índice de pureza do calcário. Foram especificados o PN, a soma dos teores de CaO e MgO e o teor de MgO para os diversos tipos de calcário. Os valores mínimos de PN e de PRNT, são, respectivamente, 67 % e 45 %. Em termos de granulometria, os corretivos da acidez de solo deverão possuir as seguintes características: 100 % passar em peneira de 2,0 mm (ABNT-10) (a legislação de 1983 previa 95 %), 70 % em peneira de 0,84 mm (ABNT-20) e 50 % em peneira de 0,3 mm (ABNT-50), sendo permitida tolerância de 5 % na peneira de 2,0 mm. Na Tabela 12 constam os valores mínimos em termos de PN e teores de CaO e MgO. Quanto à concentração de MgO, há três tipos de calcário agrícola: calcítico < 5 %, magnésiano 5 a 12 %, e dolomítico > 12 %. Com relação ao PRNT, foram criadas quatro faixas: A, 45,0 a 60,0 %; B, 60,1 a 75,0 %; C, 75,1 a 90,0 %; e D, > 90,0 %. O cálculo do PRNT é realizado pela seguinte equação: $PRNT = (PN \times RE)/100$, onde: PN = poder de neutralização, expresso na forma de equivalência em $CaCO_3$, e RE = reatividade das partículas, apresentando os seguintes índices: a) reatividade zero para a fração retida na peneira de 2,0 mm, pois 100 % do material deve ser menor que 2,0 mm; b) reatividade 20 % para a fração que passa na peneira de 2,0 mm e fica retida na peneira de 0,84 mm; c) reatividade 60 % para a fração que passa na peneira de 0,84 mm e fica retida na peneira de 0,3 mm; e d) reatividade 100 % para a fração que passa na peneira de 0,3 mm. A importância

das características físicas e químicas do calcário em termos de sua reatividade no solo consta em Alcarde (1992).

Tabela 12. Exigências mínimas de poder de neutralização e soma de CaO e MgO em calcários agrícolas (Brasil, 1986) - legislação em vigor

<i>Tipo de calcário</i>	<i>PN (equivalência em CaCO₃), %</i>	<i>Soma de CaO + MgO, %</i>
<i>Calcário</i>	<i>67</i>	<i>38</i>
<i>Cal virgem agrícola</i>	<i>125</i>	<i>68</i>
<i>Cal hidratada agrícola</i>	<i>94</i>	<i>50</i>
<i>Escórias</i>	<i>60</i>	<i>30</i>
<i>Calcário calcinado agrícola</i>	<i>80</i>	<i>43</i>
<i>Outros (margas, conchas)</i>	<i>67</i>	<i>38</i>

Fonte: Brasil (1986).

Na Tabela 13 consta, de forma sintética, a evolução cronológica das variáveis de qualidade usadas na legislação de calcário, verificando-se que, paulatinamente, a legislação foi sendo aperfeiçoada, desde a exigência somente de granulometria em 1961 até, atualmente, três exigências básicas: granulometria, teor de CaO+MgO e reatividade.

Considerando o sistema internacional de unidades químicas, a tendência atual é expressar os teores de Ca e de Mg no calcário na forma elementar (Raj et al., 1993), um critério que deveria ser incorporado à legislação sobre calcário e fertilizantes em geral.

Tabela 13. Parâmetros de qualidade usados na legislação brasileira de calcário agrícola

Ano	Parâmetro de qualidade		Reatividade
	Granulometria	CaO + MgO	
1961 ¹	100 % < 2,0 mm 50 % < 0,3 mm	Solúvel em HCl	
1975 ²	100 % < 2,0 mm 50 % < 0,3 mm	> 38 %	
1983 ³	95 % < 2,0 mm 50 % < 0,3 mm	> 38 %	PN ≥ 67 %
1986 ⁴	100 % < 2,0 mm 70 % < 0,84 mm 50 % < 0,3 mm	38 a 68 % em função do tipo de calcário (Tabela 12)	PN ≥ 67 % Faixas de PRNT: A = 45,0-60,0; B = 60,1-75,0; C = 75,1-90,0; D = > 90,0 %

¹ Brasil (1961).

² Brasil (1977).

³ Brasil (1983).

⁴ Brasil (1986).

A inspeção e fiscalização da produção de calcário é atualmente realizada pela Gerência de Corretivos, Fertilizantes e Inoculantes, Departamento de Fiscalização e Fomento da Produção Vegetal, Secretaria de Desenvolvimento Rural, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, com base nas normas constantes em Brasil (1994).

Síntese histórica sobre calagem

A seqüência cronológica de ocorrência de eventos relacionados com a prática de calagem foi, provavelmente, a seguinte:

1825 - primeira aplicação de calcário ao solo com o objetivo específico de corrigir a acidez do solo;

1900 - proposição dos primeiros métodos analíticos semiquantitativos para estimar a necessidade de calagem nos Estados Unidos;

1920 - constatação da existência da relação entre Al e acidez do solo e efeito de Al no desenvolvimento de plantas;

1923 - primeira indústria de calcário no Rio Grande do Sul;

1925 - uso do teor de Al trocável no solo para estimar a necessidade de calcário no Brasil;

1927 - Primeiro Congresso Internacional de Ciência do Solo;

1930 - constatação da importância da percentagem de saturação em bases do solo para o desenvolvimento de plantas;

1947 - Primeira Reunião Brasileira de Ciência do Solo e publicação de métodos de análise, em 1950;

1961 - primeira legislação brasileira sobre calcário;

1964 - criação dos cursos de mestrado em solos na UFRGS e na ESALQ, dando impulso às pesquisas em calagem;

1960 - 1970 - generalização do uso do teor de Al no solo, para estimar a necessidade de calagem, e adoção em larga escala da prática de calagem no Sul e Sudoeste do Brasil;

1968 - adoção do método SMP para estimar a necessidade de calagem no estado do Rio Grande do Sul;

Década de 1970 - expansão do consumo de calcário para cerca de 6 milhões de t/ano através da implementação do PROCAL;

1985 - adoção do método da saturação em bases para estimar a necessidade de calagem nos solos do estado de São Paulo;

1986 - estabelecimento da legislação atual sobre calcário;

Década de 1990 - adoção em várias regiões do país do método da saturação de bases para estimar a necessidade de calagem, adoção do sistema plantio direto como sistema de cultivo e consumo de 15 milhões de toneladas de calcário/ano no Brasil.

Necessidades de pesquisa

a) Considerando o crescente interesse e uso do método da saturação em bases para estimar a necessidade de calagem, é importante que seja determinada a

equação relacionando o teor de $H + Al$ com o pH_{SMP} para solos ou para regiões ainda não incluídos nesses estudos.

b) Considerando a tendência de adoção do sistema plantio direto, é imprescindível que sejam estudadas, nas diversas regiões do país, formas de amostragem de solo e de correção da acidez de solo nesse sistema de cultivo, envolvendo respostas das culturas e aspectos econômicos.

Resumo

A maioria das espécies vegetais apresenta incremento no rendimento com aplicação de calcário em solos ácidos. A calagem é uma prática comum atualmente e está em uso há muito tempo. No Brasil, as primeiras recomendações de calcário com base em análise de solo provavelmente foram feitas em torno do ano de 1925, empregando o teor de Al trocável como referência de acidez. Esse procedimento foi adotado em várias regiões até o fim da década de 60, quando novos métodos foram implementados. No Estado do Rio Grande do Sul, adotou-se, em 1968, o método da solução tamponada SMP. Nesse procedimento, a necessidade de calagem (NC) é estabelecida em função do pH de equilíbrio da suspensão solução SMP-solo. Em 1985, o Estado de São Paulo adotou o método da saturação de bases, empregando a leitura do pH SMP para calcular, através de uma equação, o teor de $H + Al$. Equações semelhantes foram desenvolvidas para solos dos Estados do Paraná, do Rio Grande do

Sul e de Santa Catarina, do Mato Grosso do Sul, do Rio de Janeiro e para a região dos Cerrados do Brasil. Em vários estados usam-se tanto o método da saturação de bases como os teores de Al, de Ca e de Mg trocáveis para determinar a NC. Nas regiões onde o teor de Al no solo é baixo ou inexistente, o método mais empregado é o da elevação dos teores de Ca + Mg para 2 ou 3 cmol_c/dm³ de solo. A primeira legislação brasileira sobre calcário agrícola foi proposta em 1961, e incluía apenas granulometria. Em 1975 foi incluída a exigência do teor de CaO + MgO. Em 1983, foi introduzido o poder de neutralização (PN) e, em 1986 (legislação atual), a classificação comercial dos diversos tipos de calcário em função do teor de CaO e MgO, bem como o poder relativo de neutralização total (PRNT) do calcário. Atualmente o consumo de calcário no Brasil é de 15 milhões de toneladas por ano, o que constitui cerca de 1/3 da capacidade de moagem instalada. Dados recentes a respeito da aplicação de calcário na superfície do solo, em lavouras manejadas sob sistema plantio direto, indicam que doses até cerca da metade da recomendada para elevar o pH do solo em água para 5,5 podem ser empregadas sem que ocorra redução no rendimento das culturas. Considerando a atual tendência de adoção do método da saturação em bases para estimar a necessidade de calcário e do plantio direto como sistema de cultivo, as principais necessidades de pesquisa referem-se aos seguintes aspectos: a) determinação da relação matemática entre pH SMP e teores de H+Al para solos ou regiões onde esta relação ainda é desconhecida;

e b) métodos de aplicação de calcário no sistema plantio direto.

Em síntese, a calagem é atualmente uma prática usual no Brasil nas regiões de solos ácidos, bem como métodos químicos adequados para estimar a necessidade de calagem dos solos estão disponíveis.

SUMMARY

Liming in Brazil

Most plant species present yield increase due to liming of acid soils. Liming is at present a common practice and has been in use for a long time. In Brazil the first liming recommendations based on soil analysis were probably made at about the year 1925, using exchangeable Al as reference for soil acidity. This procedure was adopted in various regions up to the end of the 60s, when new methods were implemented. In the State of Rio Grande do Sul the SMP method was adopted in 1968. In this procedure, lime requirement (LR) is established as a function of the equilibrium pH of the soil-SMP solution suspension. In 1985 the State of São Paulo adopted the method of base saturation, using the SMP-pH to determine, through an equation, the H⁺Al soil content. Similar equations were also developed in the last years for the States of Paraná, Rio Grande do Sul and Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, and Rio de Janeiro, as well as in the Cerrado region of central Brazil. In

several states both methods of base saturation and exchangeable Al, Ca, and Mg contents are used to determine LR. In regions where exchangeable Al in the soil is low or absent, the most common method used involves the increase of Ca + Mg to 2 or 3 cmol_c/dm³ soil. The first Brazilian legislation about agriculture lime was proposed in 1961, including only particle size analysis. In the legislation of 1975 both particle size and CaO + MgO content were required. In 1983 CaCO₃ equivalence was introduced in the legislation, and in 1986 (present legislation) commercial lime was classified according to CaO and MgO content and in relation to the neutralizing index. The annual consumption of lime in Brazil at present is about 15 million metric tons, which is equivalent to 1/3 of the grinding capacity of the industries. Recent data on the application of lime on the soil surface in fields managed through the no-tillage system are indicating that amounts up to half of that recommended for the soil to reach pH in water of 5,5 can be used without decreasing crop yields. Considering the present tendency of adoption of the base saturation method to estimate LR and no-tillage as a cropping system, the main research needs are related to the following aspects: a) determination of the mathematical relation between the SMP pH and the content of H + Al for soils in regions in which this relation has not been determined; b) methods of lime application in the no-tillage system.

Therefore, at present, liming is a common practice in acid soils in Brazil and adequate chemical methods to estimate soil lime requirement are available.

Agradecimentos

O autor expressa agradecimentos às seguintes pessoas pelo fornecimento de informações nos diversos estados ou regiões: Fernando Carlos Becker (SINDICALC, RS), Udo Bublitz (EMATER, PR), Heitor Cantarella (IAC, SP), Adilson Caten (UFES, ES), Carlos H. Kurihara (Embrapa Agropecuária Oeste, MS, MT), Alfredo Scheid Lopes (UFLA, MG), João Mielniczuk (UFRGS, RS), Mário Miyazawa (IAPAR, PR), Osmar Muzilli (IAPAR, PR), Édson L. de Oliveira (IAPAR, PR), José Ribamar Pereira (Embrapa Semi-Árido, PE, CE, AL e BA), Daniel V. Perez (Embrapa Solos, RJ), Murilo Pundek (EPAGRI, SC), Bernardo van Raij (IAC, SP), Laura Machado Ramos (Ministério da Agricultura, Brasília, DF), Gedi J. Sfredo (Embrapa Soja, PR), Djalma M.G. de Sousa (Embrapa Cerrados, Cerrados), Gilberto Tassinari (EPAGRI, SC), Israel F. Vitti (SINDICAL, SP) e Disdonei Zampieri (SEAB, PR).

Referências

- ABRAHÃO, I.O. As reservas brasileiras de calcário. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1983, Piracicaba. Campinas: Fundação Cargill, 1985. Cap.6, p.205-254.*
- ADAMS, F. Crop response to lime in the Southern United States. In: ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p.211-265.*

- ALCARDE, J.C. *Qualidade de fertilizantes e corretivos.*
 In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO
 E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba.
*Adubação, produtividade, ecologia: anais dos simpó-
 sios.* Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.275-298.
- ANGHINONI, I. *Época e métodos de aplicação de correti-
 vos nos solos.* In: KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, S.J.;
 BECKER, F.C. (ed.). SEMINÁRIO SOBRE
 CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., Santa Maria,
 1989. *Anais...* Santa Maria: UFSM-CCR-DS, 1989.
 p.130-150.
- ANGHINONI, I. *Modo de aplicação de corretivos da aci-
 dez do solo para culturas anuais e perenes.* In: RAIJ,
 B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da, ed. *Acidez
 e calagem no Brasil.* Campinas: SBCS / IAC, 1983.
 p.97-108.
- APASSUL. *Área com plantio direto no RS, no Brasil e em
 países do Mercosul e Nafta.* *Boletim Informativo
 Apassul, Passo Fundo, v.115, p.3, 1996.*
- ARAÚJO, J.E.G. *A reação do solo – sua possível influ-
 ência no “crestamento” do trigo.* *Agros, Pelotas, v.1,
 n.2, p.81-94, 1948.*
- ARAÚJO, J.E.G. *Comunicações complementares a res-
 peito do problema do “crestamento” do trigo.* *Archivo
 Fitotécnico del Uruguay, v.4, p.377-386, 1951.*
- ARAÚJO, J.E.G. *O alumínio trocável, possível causa do
 crestamento do trigo.* In: REUNIÃO BRASILEIRA DE
 CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1949, Campinas. *Anais...*
 Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,
 1949. p.328-337.

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (São Paulo, SP). *Manual de adubação*. São Paulo, 1971. 271p.
- ASSOCIAÇÃO RURAL DE SANTA ROSA (Santa Rosa, RS). *Projeto de melhoramento da fertilidade do solo de Santa Rosa*. Santa Rosa, 1967. 37p.
- ASSOCIAÇÃO SULINA DE CRÉDITO E ASSISTÊNCIA RURAL – ASCAR (Santa Rosa, RS). *Projeto de melhoramento da fertilidade do solo de Santa Rosa - relatório do 1º semestre de 1968*. Santa Rosa, 1968. 20p.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E. *Nutrição e adubação do milho*. In: CRUZ, J.C.; MONTEIRO, J.A.; SANTANA, D.P.; GARCIA, J.C.; CASTRO FILHO, F.G.F.T.; SANS, L.M.A.; PEREIRA FILHO, I.A. *Recomendações técnicas para a cultura do milho*. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. p.45-83.
- BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL (Porto Alegre, RS). *Indústria de corretivos no extremo sul*. Porto Alegre, 1969. 206p. (BRDE. Estudos Econômicos, 1).
- BARTZ, H.R. *Histórico da rede oficial de laboratórios de análises de solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. In: REUNIÃO ANUAL DA REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE SOLOS, 25., 1993, Ijuí. *Ata...* Ijuí: UNIJUÍ, 1993.
- BEAR, F.E.; TOTH, S.T. *Influence of calcium on availability of other soil cations* *Soil Science*, Baltimore, v.65, n.1, p.69-74, 1948.
- BECKER, F.C. *Calagem no Brasil*. Mensagem pessoal. 24 mar 2000. 1p.

- BECKER, F.C.** *Industrialização de corretivos da acidez dos solos no Rio Grande do Sul. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., 1989, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM – Centro de Ciências Rurais – Departamento de Solos, 1989. p.101-107.*
- BECKER, F.C.** *Mensagem pessoal - fax. 15 mai 1997. 1p.*
- BECKER, F.C.; MESQUITA, E.; FLORES, E.** *Proposta para um plano nacional de calcário agrícola - PLANACAL. [Porto Alegre]: ABRACAL, 1995. 24p.*
- BEN, J.R.; AMBROSI, I.; VIEIRA, S.A.** *Aplicação de calcário na linha de semeadura para a cultura da soja. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1983. 12p. (EMBRAPA-CNPT. Circular Técnica, 1).*
- BRASIL.** *Decreto nº 50.146, de 27 de janeiro de 1961. Aprova o regulamento para a fiscalização do comércio de fertilizantes e produtos correlatos destinados à agricultura. Diário Oficial, Brasília, 28 jan. 1961. p.781-783.*
- BRASIL.** *Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria de Defesa Agropecuária. Divisão de Fertilizantes, Corretivos e Inoculantes. Inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes, destinados à agricultura. Brasília, 1994. 67p.*
- BRASIL.** *Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Produção Vegetal. Divisão de Corretivos e Fertilizantes. Legislação da inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes. Brasília, 1977. 86p.*

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. *Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais*. Brasília, 1988. 104p.
- BRASIL. Portaria nº 1, de 4 de março de 1983. *Aprova normas sobre especificações, garantias, tolerâncias e procedimentos para coleta de amostras de produtos e os modelos oficiais a serem utilizados pela inspeção e fiscalização da produção de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. Diário Oficial, Brasília, 9 mar. 1983. Seção I. p.3783-3789.*
- BRASIL. Portaria nº 3, de 12 de junho de 1986. *Classifica os calcários agrícolas em função do PRNT. Diário Oficial, Brasília, 16 jun. 1986. Seção I. p.8673.*
- BRASIL. Portaria nº 31, de 8 de junho de 1982. *Aprova os métodos analíticos oficiais, para análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes sujeitos a inspeção e fiscalização previstas na legislação. Diário Oficial, Brasília, 14 jun. 1982. Seção I. p.10763-10796.*
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. *Soil genesis and classification*. Ames: The Iowa University Press, 1980. 404p.
- CABALA-ROSAND, P.; SANTANA, C.J.L. *Calagem na cultura do cacau*. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.321-339.
- CARVALHO, T.A.A.; MEURER, E.J. *Aplicação de calcário a lanço e em linhas para o cultivo de soja*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.4, n.3, p.170-173, 1980.

- CASTRO, J.L. de. *Acidez e calagem para a batatinha (Solanum tuberosum, L.). In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.293-299.*
- CATANI, R.A.; GALLO, J.R. *Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases. Revista de Agricultura, Piracicaba, v.30, n.1/3, p.49-60, 1955.*
- CATE, R. *Sugestões para adubação na base de análise de solo. Recife: North Carolina State University / International Soil Testing Project, 1965. 16p.*
- COLEMAN, N.T.; THOMAS, G.T. *The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W.; ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming. Madison: ASA, 1967. p.1-41.*
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (Passo Fundo, RS). *Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1995. 223p.*
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (Passo Fundo, RS). *Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2.ed. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT / SBCS - Núcleo Regional Sul, 1989. 128p.*
- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. *Fast no-till adoption in Brazil without subsidies: a successful partnership. In: NORTHWEST DIRECT SEED CROPPING SYSTEMS CONFERENCE & TRADE SHOW, 1999, Spokane, WA, USA. Proceedings... Spokane: University of Odaho, 1999. p.77-88.*

- DERPSCH, R.; FLORENTIN, M. *Direktsaat: Nachhaltige Landwirtschaft ohne Bodenbearbeitung, Entwicklung + Ländlicher Raum. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a. M., v.34, n.4, p.22-25, 2000.*
- DIEHL, J.A.; KOCHHANN, R.A.; TINLINE, R.D. *Sistemas de cultivo sobre a podridão comum de raízes e mal-dopé do trigo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.18, n.3, p.235-241, 1983.*
- DRESCHER, M.; TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. *Avaliação da fertilidade e necessidade de corretivos e fertilizantes dos solos do RS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 19., 1990, Santa Maria. Resumos... Santa Maria: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1990. p.108.*
- DUTRA, L.G. *Calagem para seringueira. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.341-345.*
- EMATER-AL (Maceió, AL). *Recomendações de adubação para o estado de Alagoas (1ª aproximação). Maceió, 1980. 92p.*
- EMATER-CE (Fortaleza, CE). *Recomendações de adubação para o estado do Ceará (1ª aproximação). Fortaleza, 1978. 68p.*
- EMATER-PE (Recife, PE). *Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (1ª aproximação). Recife, 1980b. 81p.*
- EPAGRI (Florianópolis, SC). *Área dos principais produtos agrícolas a nível de Brasil e SC, 91/92 e 92/93. Florianópolis: EPAGRI, 1993. 1p.*

- ESCOSTEGUY, P.A.; BISSANI, C.A. *Estimativa de H+Al pelo pH SMP em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, n.1, p.175-179, 1999.*
- FAGERIA, N.K. *Calagem para a cultura de arroz. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.227-244.*
- FRANÇA, G.E.; SANTOS, H.L.; VASCONCELLOS, C.A. *Calagem na cultura de sorgo. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.217-226.*
- FREITAS, M.M.L. *Calagem. Matão: Instituto de Pesquisas, [1965]. 27p. Trabalho apresentado no Curso de Adubos e Adubação.*
- GAMA, M.A.P.; PROCHNOW, L.I.; GAMA, J.R.N.F. *Avaliação da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do Nordeste Paraense. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambu. FertBio 98: interrelação, fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas – consolidando um paradigma – resumos. Caxambu: UFLA / SBCS / SBM, 1998. p.544.*
- GARCIA, A.W.R. *Calagem para o cafeeiro. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.309-319.*
- GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R. *Plantio direto: o caminho do futuro. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207p.*

- GOEDERT, W.J. *Uso e manejo dos recursos naturais do cerrado: solo e clima. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 5., 1979, Brasília. Cerrado: uso e manejo. Brasília: Editerra, 1979. p.475-498.*
- GOEDERT, W.J.; KLAMT, E. *Influência da calagem na potencialidade dos solos. Porto Alegre: UFRGS – Faculdade de Agronomia, 1969. 4p. (Folheto Informativo, 3).*
- GOEFFERT, C.F. *Calagem para leguminosas forrageiras. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.301-308.*
- GONÇALVES, J.D. *Indústria de corretivos e fertilizantes. São Paulo: ANDA, 1975. 10p. Trabalho apresentado no Simpósio sobre Corretivos e Fertilizantes, Porto Alegre, 1975.*
- GRAHAM, E.R. *An explanation of theory and methods of soil testing. [S.l.]: Missouri Agricultural Experimental Station, 1959. (Bulletin, 734).*
- HABY, V.A.; RUSSELLE, M.P.; SKOGLEY, E.O. *Testing soils for potassium, calcium, and magnesium. In: WESTERMAN, R.L. Soil testing and plant analysis. 3.ed. Madison: SSSA, 1990. p.181-227.*
- HELYAR, K.R. *Nitrogen cycling and soil acidification. The Journal of the Australian Institute of Agricultural Science, Sidney, v.42, n.4, p.217-221, 1976.*
- HESSE, P.R. *A textbook of soil chemical analysis. London: John Murray, 1971. 520p.*
- HISSINK, D.J. *Method for estimating adsorbed bases in soils and the importance of these bases in soil economy. Soil Science, Baltimore, v.15, p.269-276, 1923.*
- IAC (Campinas, SP). *Tabelas de adubação e calagem das principais culturas econômicas do Estado de São Paulo. Campinas, 1977. 198p. (IAC. Boletim, 209).*

- IAPAR (Londrina, PR). Reformulação de pesquisa no IAPAR. Londrina, 1986. 39p. (IAPAR. Documentos, 12).*
- IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Censo agropecuário de 1996 para o Rio Grande do Sul. Disponível: site IBGE. URL: <http://www.sidra.ibge.gov.br/cgi-bin/prtabl>. Consultado em 15 de junho de 1999.*
- JACKSON, M.L. Aluminum bonding in soils: a unifying principle in soil science. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.27, n.1, p.1-10, 1963.*
- JENNY, H. Reflections on the soil acidity merry-go-around. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.25, p.428-432, 1961.*
- JORGE, J.A. Solo: manejo e adubação. São Paulo: Melhoramentos, 1969. 225p.*
- KALCKMANN, R.E. Estudo da acidez do solo no estado do Paraná. Curitiba: CERENA, 1967. 4p. Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, 1967.*
- KALCKMANN, R.E.; DODZIAK JR., C.; MUZILLI, O. Determinação da necessidade de calcário pelas curvas de neutralização: nota prévia. Curitiba: CERENA, 1967. 4p. Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, 1967.*
- KAMINSKI, J.; BOHNEN, H. Fatores de acidez II. Combinação de variáveis na avaliação quantitativa de corretivos para solos ácidos. Revista do Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, v.7, n.1, p.47-54, 1977.*
- KAMPRATH, E.J. Crop response to lime on soils in the tropics. In: ADAMS, F. Soil acidity and liming. 2.ed. Madison: ASA / CSSA / SSSA, 1984. p.349-368.*

- KAMPRATH, E.J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*, v.34, p.252-254, 1970.
- KEENEY, D.R.; COREY, R.B. Factors affecting the lime requirements of Wisconsin soils. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*, v.27, n.3, p.277-280, 1963.
- KELLEY, W.P. *Cation exchange in soils*. New York: Reinhold, 1948. 144p. (ACS. Monograph, 109).
- KINJO, T. Conceitos de acidez de solos. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da, ed. *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.23-31.
- KLAMT, E. *Calagem "maciça" e disponibilidade de manganês*. Porto Alegre: UFRGS - Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1969. 4p. (Folheto, 1).
- KLAMT, E.; SANTOS, M.C.L. dos. *Amostragem de solos para recomendação de corretivos e fertilizantes*. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS-Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1974. 4p. (Folheto, 4).
- LIN, C.; COLEMAN, N.T. The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*, v.24, p.444-446, 1960.
- LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York: John Wiley, 1979. 449p.
- LOPES, A.S. A calagem em solos sob Cerrado. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas: SBCS / IAC, 1983a. p.49-61.

- LOPES, A.S. *Solos sob "Cerrado": características e manejo*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato / Instituto Internacional da Potassa, 1983b. 162p.
- LOPES, A.S.; GUIDOLIN, J.A. *Produção e consumo de fertilizantes no Brasil*. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 1987, Ilha Solteira. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.3-29.
- LUDWICK, A.E. *Report to the soil fertility - soil testing technical committee*. In: SKOGLEY, E.O., ed. *Soil Fertility - Soil Testing Technical Committee Meeting*, 1968, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: USAID/Brazil, 1968. v.1, p.63-75.
- LUDWICK, A.E. *Summary of program development - soils*. In: SKOGLEY, E.O., ed. *Soil Fertility - Soil Testing Technical Committee Meeting*, 1968, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: USAID/Brazil, 1968. v.1, p.38-43.
- LUISI, M.V.V. *Calagem para fumo*. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.283-292.
- MAEDA, S.; KURIHARA, C.H.; HERNANI, L.C.; FABRÍCIO, A.C.; SILVA, W.M. *Estimativa da acidez potencial de solos do Mato Grosso do Sul pelo método do pH SMP*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. *Resumos...* Rio de Janeiro: SBCS, 1997. p.184.
- MALAVOLTA, E. *ABC da adubação*. 3.ed. São Paulo: Ceres, 1970. 189p.
- MALAVOLTA, E. *A prática da calagem*. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1983, Piracicaba. Campinas: Fundação Cargill, 1985. Cap.10, p.313-357.

- MALAVOLTA, E. *Exigências nutricionais das plantas e necessidades de fertilizantes e de corretivos.* In: **SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. Anais... Brasília: EMBRAPA / ANDA / POTAFOS, 1984. p.159-178.**
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola: adubos e adubação.* 2.ed. São Paulo: Ceres, 1967. 606p.
- MALAVOLTA, E.; ROCHA, M. *Recent Brazilian experience on farmer reaction and crop response to fertilizer use.* In: USHERWOOD, N.R., ed. **Transferring technology for small-scale farming.** Madison: ASA, 1981. p.101-113.
- MARINHO, M.L. *Calagem para a cana-de-açúcar.* In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. **Acidez e calagem no Brasil.** Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.245-258.
- MASCARENHAS, H.A.A. *Calagem para soja.* In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. **Acidez e calagem no Brasil.** Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.145-163.
- McCOOL, M.M.; MILLAR, C.E. *Some general information on lime and its uses and function in soils.* East Lansing: Michigan Agricultural College – Experiment Station, 1918. 21p. (Special Bulletin, 91).
- McLEAN, E.O. *Soil pH and lime requirement.* In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R., ed. **Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.** 2.ed. Madison: ASA - SSSA, 1982. Cap.12, p.199-224.
- McLEAN, E.O.; DUMFORD, S.W.; CORONEL, F.A. *Comparison of several methods of determining lime requirements of soils.* **Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.30, p.26-29, 1966.**

- MIELNICZUK, J. A calagem e a cultura do trigo. Trigo e Soja, Porto Alegre, v.29, p.10-15, 1978.*
- MIELNICZUK, J. Economicidade da calagem. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.63-77.*
- MIELNICZUK, J.; ANGHINONI, I. Avaliação da utilização das recomendações de adubo e calcário dos laboratórios oficiais de análise de solos. Trigo e Soja, Porto Alegre, v.15, p.3-6, 1976.*
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.E.; BOHNEN, H. Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS - Faculdade de Agronomia, 1969. 38p. (Boletim Técnico, 2).*
- MIELNICZUK, J.; SCHNEIDER, P. Aspectos sócio-econômicos do manejo de solos no sul do Brasil. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1.; SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO DO PLANALTO, 3., 1983, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 1984. p.3-27.*
- MOHR, W. Análises de solos para fins de assistência aos agricultores: sua técnica e interpretação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1947, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1950. p.185-215.*
- MOHR, W. Influência da acidez sobre a fertilidade dos solos. Porto Alegre: [s.n., 1960]. 23p. Trabalho apresentado no I Congresso Nacional de Conservação de Solos, Campinas, 1960.*

- MONTOYA, L. *Aspectos de economicidade do manejo do solo em plantio direto. Informe da Pesquisa IAPAR, Ponta Grossa, n.57, 1984. 20p.*
- MORAES, O.; WINKLER, H. *Ensaio de adubação e calagem: trigo em rotação com soja no Estado de Santa Catarina. Caçador: Estação Experimental de Rio Caçador, 1971. 132p.*
- MOREIRA, R.S. *Calagem em bananeiras e suas implicações. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.353-361.*
- MURDOCK, J.T.; PAVAGEAU, M.; RUCKHEIM FILHO, O.; FRASCA FILHO, A.; FRATTINI, C.; KALCKMANN, R.E. *Determinação quantitativa da calagem. Porto Alegre: UFRGS - Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1969. 18p. Mimeografado. Trabalho apresentado no XII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba, 1969.*
- MUZILLI, O. *Calagem para o feijoeiro (Phaseolus vulgaris, L.). In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.165-178.*
- MUZILLI, O. *Contribuição aos estudos de correção da acidez e adubação fosfatada em solos do estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTUDANTES DE AGRONOMIA, 13., 1968, Rio de Janeiro. Engenharia e Química, Rio de Janeiro, v.20, n.1, p.14-24, 1968.*
- MUZILLI, O.; GODOY, O.P. *Correção da acidez em um latossolo roxo distrófico no oeste do estado do Paraná. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.14, n.2, p.159-163, 1979.*

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E. *Análise de assistência - interpretação de resultados e determinação de níveis críticos. I. Determinação de níveis críticos da acidez. Boletim da Universidade Federal do Paraná - Agronomia, Curitiba, n.1, p.1-18, 1971a.*

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E. *Estudo da correção da acidez dos solos do estado do Paraná. III. Ensaio de campo, em latossolos roxos do oeste. Revista da Escola de Agronomia e Veterinária, Curitiba, v.5, p.39-43, 1969.*

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E. *Estudo de fertilidade em solos da região nordeste do Estado do Paraná - ano agrícola 1969/70. [Curitiba]: ACARPA / CERENA / EAVUFP, IBPT / EPFS-MA / BADEP / IBC-DAC, 1970. 23p.*

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E. *Sugestões de calagem e adubação para recuperação dos solos da região nordeste do estado do Paraná. Arquivos de Biologia e Tecnologia, Curitiba, v.14, n.1, p. 54-60, 1971b.*

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E.; MENDES, W. *Estudo da correção da acidez dos solos do estado do Paraná. II. Ensaio em vasos, com latossolos roxos do oeste. Revista da Escola de Agronomia e Veterinária, Curitiba, v.5, p.35-38, 1969b.*

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E.; MUNHOZ, F.G. *Estudo da correção 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, Curitiba, v.5, p.25-33, 1969a.*

NAKAGAWA, J. *Acidez e calagem no amendoim. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.179-185.*

- NASCIMENTO, C.W.A. *Acidez potencial estimada pelo pH SMP em solos do estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.24, n.3, p.679-682, 2000.*
- OLIVEIRA, E.L. de; PAVAN, M.A. *Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.38, n.1/2, p.47-57, 1996.*
- OLMOS I.L.J.; CAMARGO, M.N. *Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. Ciência e Cultura, São Paulo, v.28, n.2, p.171-180, 1976.*
- PAIVA NETO, J.E.; CATANI, R.A.; QUEIROZ, M.S.; KÜPPER, A. *Contribuição ao estudo dos métodos analíticos e de extração para a determinação química dos solos do Estado de São Paulo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1947, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1950. p.79-108.*
- PALHANO, J.B.; SFREDO, G.J.; CAMPO, R.J.; LANTMANN, A.F.; BORKERT, C.M. *Calagem para soja: recomendação para o estado do Paraná. Londrina: EMBRAPA-CNPSoja, 1984. 13p. (EMBRAPA-CNPSoja. Comunicado Técnico, 28).*
- PATELLA, J.F. *Resultados obtidos através dos planos estaduais (RS e SC) de fertilidade do solo. [Pelotas]: UFPel / CETREISUL, 1972. 6p. Trabalho apresentado no I Curso de Fertilidade do Solo, Pelotas, 1972.*
- PAVAN, M.A. *Mobilização orgânica do calcário no solo através de adubo verde. In: PAULETTI, V.; SEGANFREDO, R. Plantio direto: atualização tecnológica. São Paulo: Fundação Cargill / Fundação ABC, 1999. p.45-52.*

- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. *Manual de análise química de solo e controle de qualidade*. Londrina: IAPAR, 1992. 39p. (IAPAR. Circular, 76).
- PEARSON, R.W. *Soil acidity and liming in the humid tropics*. Ithaca: Cornell International Agriculture / Cornell University, 1975. 66p. (Bulletin, 30).
- PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M.P.F.; PÉREZ, D.V.; ANJOS, L.H.C. *Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do estado do Rio de Janeiro*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.1, p.159-162, 1998.
- PHILLIPS, R.E.; PHILLIPS, S.H. *No-tillage agriculture; principles and practices*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1984. 306p.
- PIERRE, W.H. *Hydrogen-ion concentration, aluminum concentration in the soil solution, and percentage base saturation as factors affecting plant growth on acid soils*. *Soil Science*, Baltimore, v.31, n.3, p.183-207, 1931.
- PÖTTKER, D.; AMBROSI, I.; BEN, J.R.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. *Calagem em plantio direto*. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT / Projeto METAS, 1998. 40p. (Projeto METAS. Boletim Técnico, 4).
- PUNDEK, M. *Revisão de trabalho*. pundek@zaz.com.br. Mensagem pessoal. 16 fev 2000a.
- PUNDEK, M. *Sugestões trabalho de calagem*. pundek@zaz.com.br. Mensagem pessoal. 21 mar 2000b.
- QUAGGIO, J.A. *Critérios para calagem em solos do estado de São Paulo*. Piracicaba: USP-ESALQ, 1983a. 76p. Tese Mestrado.

- QUAGGIO, J.A. *Métodos de laboratório para a determinação da necessidade de calagem em solos.* In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da. *Acidez e calagem no Brasil.* Campinas: SBCS / IAC, 1983b. p.33-48.
- QUAGGIO, J.A. *Respostas das culturas à calagem em outros estados.* In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., 1989, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: UFSM – Centro de Ciências Rurais – Departamento de Solos, 1989. p.177-199.
- QUAGGIO, J.A. *Respostas das culturas à calagem.* In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1983, Piracicaba. Campinas: Fundação Cargill, 1985. Cap.4, p.123-157.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. *Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils.* *Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York*, v.16, n.3, p.245-260, 1985.
- RAIJ, B. van. *Avaliação da fertilidade do solo.* Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1981. 142p.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação.* São Paulo: Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, A.P.; CANTARELLA, H.; SILVA, N.M. *Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem.* *Bragantia, Campinas*, v.42, n.3, p.149-156, 1983.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *A calagem frente ao sistema internacional de unidades.* *Boletim Informativo da SBCS, Campinas*, v.18, n.3, p.96-98, 1993.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; ZULLO, M.A.T. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.38, n.7, p.57-69, 1979.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Methods used for diagnosis and correction of soil acidity in Brazil: an overview. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A.; CANTARELLA, H., ed. *Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production*. Campinas: Brazilian Soil Science Society, 1997. p.205-214.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas: IAC, 1983. 39p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC, 1985. 107p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAMOS, F.; KEHRIG, A.G. Descrição e crítica dos métodos de análises. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1947, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBCS, 1950. p.583-604.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Lime requirements of Natal oxisols based on exchangeable aluminum. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.34, p.595-598, 1970.

REUNIÃO ANUAL DOS LABORATÓRIOS OFICIAIS DE ANÁLISE DE SOLO DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA – ROLAS, 5., 1973, Passo Fundo. *Ata...* Passo Fundo: UPF, 1973. 16p.

- REUNIÃO DA SUBCOMISSÃO DE SOLOS DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 1976, Porto Alegre. Ata ... Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1976. 5p.*
- REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 25, 1997, Passo Fundo. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1997/98. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. 130p.*
- RHEINHEIMER, D.S., coord. Reação do solo e consumo potencial de calcário no Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM – Centro de Ciências Rurais – Departamento de Solos, 2000. 36p. (Boletim Técnico, 1).*
- ROCHA, M. Diretrizes de uma política para corretivos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1983, Piracicaba. Campinas: Fundação Cargill, 1985. Cap.9, p.301-309.*
- SÁ, J.C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT / FECOTRIGO-FUNDACEP / FUNDAÇÃO ABC / Editora Aldeia Norte, 1993. p.37-60.*
- SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; FORNARI, T.G.; KRAY, C.H. O alumínio é menos tóxico no sistema plantio direto. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1996, Lages. Manejo do solo em sistemas conservacionistas: resumos expandidos. Lages: SBSC – Núcleo Regional Sul, 1996. p.72-74.*

- SHOEMAKER, H.E.; McLEAN, E.O.; PRATT, P.F. *Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.25, p.274-277, 1961.*
- SILVA, N.M. da. *Acidez do solo e calagem para o algodoeiro. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.259-276.*
- SILVA, C.A.; AVELLAR, M.L.; BERNARDI, A.C.C. *Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos do semi-árido do nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.24, n.3, p.689-692, 2000.*
- SIMONSON, R.W. *Concept of soil. Advances in Agronomy, New York, v.20, p.1-47, 1968.*
- SINGH, S.S. *The solubility product of gibbsite at 15°, 25°, and 35 °C. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.38, p.415-417, 1974.*
- SIQUEIRA, O.J.F. de. *Calagem para o trigo no Brasil. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.187-215.*
- SIQUEIRA, O.J.F. de. *Resposta das culturas à calagem e a fósforo em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina e seus reflexos técnico-econômicos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., 1989, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM – Centro de Ciências Rurais – Departamento de Solos, 1989. p.151-176.*

SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J.F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A.; ERNANI, P.R. *Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987. 100p.*

SOUSA, C.N.A. de. *Classification of Brazilian wheat cultivars for aluminum toxicity in acid soils. Plant Breeding, Berlin, v.117, n. 3, p.217-221, 1998.*

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. *Correção do solo e adubação da cultura da soja. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 30p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 33).*

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E. *Avaliação dos métodos de determinação da necessidade de calcário em solos de Cerrado. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1990. 14p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 27).*

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E.; CASTRO, L.H.R. *Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos Cerrados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.13, n.2, p.193-198, 1989.*

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E.; KLIEMANN, H.J. *Avaliação de métodos para determinar as necessidades de calcário em solos de Cerrado de Goiás e do Distrito Federal. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.4, n.3, p.144-148, 1980.*

SPARKS, D.L. *Environmental soil chemistry. San Diego: Academic Press, 1995. 267p.*

- STUMM, W.; MORGAN, J.J. *Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*. New York: John Wiley, 1981. 780p.
- SUMNER, M.E. *Procedures used for diagnosis and correction of soil acidity: a critical review*. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A.; CANTARELLA, H., ed. *Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production*. Campinas: Brazilian Soil Science Society, 1997. p.195-204.
- SUMNER, M.E. *Procedures used for diagnosis and correction of soil acidity: a critical review*. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4.*, Belo Horizonte, 1996. *Abstracts...* Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1996. *Session 8, R 13*.
- TASSINARI, G. *Mensagem pessoal - fax*. 21 mai 1997. 2p.
- TEDESCO, M.J.; BOHNEN, H.; COELHO DE SOUZA, L.F.; PATELLA, J.F. *A Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina - passado e presente*. In: *REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 1.*, 1994, Pelotas. Pelotas: SBCS – Núcleo Regional Sul /UFPel – Faculdade de Agronomia, 1994. p.1-4.
- TEDESCO, M.J.; GOEPFERT, C.F.; LANZER, E.; VOLKWEISS, S.J. *Avaliação da fertilidade dos solos do Rio Grande do Sul*. *Agronomia Sul-Rio-Grandense*, Porto Alegre, v.20, n.1, p.179-194, 1984.
- TERRA, M.M. *Calagem para a videira*. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.347-351.

- THOMAS, G.W. *Historical developments in soil chemistry: ion exchange. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.41, n.2, p.230-238, 1977.*
- THOMAS, G.W.; HARGROVE, W.L. *The chemistry of soil acidity. In: ADAMS, F. Soil acidity and liming. 2.ed. Madison: ASA / CSSA / SSSA, 1984. p.3-56.*
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. *Soil fertility and fertilizers. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1993. 634p.*
- UCHOA, G.D. *O uso do cálcio na agricultura. Porto Alegre: Instituto Experimental de Agricultura em Viamão, 1925. 18p. (Boletim, 2).*
- UNGARO, M.R.G. *Calagem em girassol. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: SBCS / IAC, 1983. p.277-281.*
- VAGELER, P. *Cálculo de adubação. Florianópolis: ACARESC, 1965. 16p. Mimeografado.*
- VAGELER, P. *Princípios do cálculo do fornecimento dos solos de nutrientes e da adubação mineral racional. Campinas: IAC, 1956. 19p. Mimeografado.*
- VEITCH, F.P. *Comparison of methods for the estimation of soil acidity. Journal of the American Chemical Society, New York, v.26, p.637-662, 1904.*
- VEITCH, F.P. *The estimation of soil acidity and the lime requirements of soils. Journal of the American Chemical Society, New York, v.24, p.1120-1128, 1902.*
- VERDADE, F.C. da; GARGANTINI, H.; MIRANDA, L.T. de. *Uso e aplicação do calcário; campanha da calagem do solo. Campinas: IAC, 1968. 63p.*

- VETTORI, L. *Determinação da necessidade de cal dos solos*. Rio de Janeiro: Instituto de Química Agrícola, 1948. 19p. (Boletim, 7).
- VIANNA, A.C.T. *Métodos de avaliação da quantidade de calcário e a problemática da necessidade de calagem*. Pelotas: UFPel / CETREISUL, 1972. 13p.
- VIETS JR., F.G. *A perspective on two centuries of progress in soil fertility and plant nutrition*. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v.41, n.2, p.242-249, 1977.
- VITTI, I.F. *Mensagem pessoal - fax*. 20 mai 1997. 3p.
- VOLKWEISS, S.J. *Química da acidez dos solos*. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., 1989, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: UFSM – Centro de Ciências Rurais – Departamento de Solos, 1989. p.7-38.
- VOLKWEISS, S.J.; KLAMT, E. *“Operação Tatu” - um programa de aumento da produtividade agrícola*. *Lavoura Arrozeira, Porto Alegre*, v.22, n.250, p.37-41, 1969.
- VOLKWEISS, S.J.; KLAMT, E. *“Operação Tatu” - um programa de aumento de produtividade agrícola*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 12., 1969, Curitiba. *Resumos...* Curitiba: SBCS / Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1971. p.52-53.
- VOLKWEISS, S.J.; LUDWIG, A.E. *O melhoramento do solo pela calagem*. Porto Alegre: UFRGS - Faculdade de Agronomia / FECOTRIGO - Departamento Técnico, 1976. 30p. (Boletim Técnico, 1).

- VOSS, M.; BEM, J.R. *Estabelecimento de **Bradyrhizobium alkanii** em pastagem natural do Rio Grande do Sul através da inoculação de aveia preta, sob sistema plantio direto.* In: EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). Soja: resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1996/97. Passo Fundo, 1997. p.143-145. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 35).*
- WHEELER, H.J.; HARTWELL, B.L.; SARGENT, C.L. *Chemical methods for ascertaining the lime requirement of soils.* *Journal of the American Chemical Society, New York, v.22, n.3, p.153-177, 1900.*
- WIETHÖLTER, S. *Pousio e lavra profunda e seu efeito na ocorrência de mal-do-pé em trigo. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978. 13p.*
- YOUNG, H.M. *No-tillage farming. Brookfield: No-till Farmer, 1982. 202p.*

Equipe Técnica Multidisciplinar da Embrapa Trigo

Chefe-geral

Benami Bacaltchuk - Ph.D.

Chefe Adjunto de Administração

João Carlos Ignaczak - M.Sc.

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

José Eloir Denardin - Dr.

Chefe Adjunto de Comunicação e Negócios

João Francisco Sartori - M.Sc.

Nome	Gra- duação	Área de atuação
<i>Amarilis Labes Barcellos</i>	<i>Dr.</i>	<i>Fitopatologia-Ferrugem da Folha</i>
<i>Ana Christina A. Zanatta</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Recursos Genéticos</i>
<i>Antônio Faganello</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Máquinas Agrícolas</i>
<i>Airton N. de Mesquita</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Fitotecnia</i>
<i>Arcenio Sattler</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Máquinas Agrícolas</i>
<i>Ariano Moraes Prestes</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Fitopatologia-Septorias</i>
<i>Armando Ferreira Filho</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Difusão de Tecnologia</i>
<i>Aroldo Gallon Linhares</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Tecnol. de Sementes, Recurs. Genéticos</i>
<i>Augusto Carlos Baier</i>	<i>Dr.</i>	<i>Melhoramento de Plantas-Triticale</i>
<i>Cantídio N.A. de Sousa</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Melhoramento de Plantas-Trigo</i>
<i>Delmar Pöttker</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Fertilidade do Solo/Nutrição de Plantas</i>
<i>Edson Clodoveu Picinini</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Fitopatologia-Controlé Quím. Doenças</i>
<i>Edson J. Iorczeski</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Melhoramento de Plantas</i>
<i>Eliana Maria Guarienti*</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Tecnologia de Alimentos</i>
<i>Emídio Rizzo Bonato</i>	<i>Dr.</i>	<i>Melhoramento de Plantas-Soja</i>
<i>Erirelton Scherer Roman</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Ecologia de Plantas Daninhas</i>
<i>Euclides Minella</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Melhoramento de Plantas-Cevada</i>
<i>Gabriela E.L. Tonet</i>	<i>Dr.</i>	<i>Entomologia-Pragas Soja, Trigo</i>
<i>Geraldino Peruzzo</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Fertilidade do Solo/Nutrição de Plantas</i>

<i>Nome</i>	<i>Gra- duação</i>	<i>Área de atuação</i>
<i>Gerardo Arias</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Melhoramento de Plantas-Cevada</i>
<i>Gilberto Bevilaqua</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Técnico de Nível Superior-Sementes</i>
<i>Gilberto Omar Tomm</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Culturas Alternativas-Ciclagem de N</i>
<i>Gilberto Rocca da Cunha</i>	<i>Dr.</i>	<i>Agrometeorologia</i>
<i>Henrique P. dos Santos</i>	<i>Dr.</i>	<i>Manejo e Rotação de Culturas</i>
<i>Irineu Lorini</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Entomologia-Pragas de Grãos Armaz.</i>
<i>Ivo Ambrosi</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Economia Rural</i>
<i>Jaime Ricardo T. Maluf</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Agrometeorologia</i>
<i>João Carlos Haas</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Biotecnologia</i>
<i>João Carlos S. Moreira</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Fitotecnica</i>
<i>José Antônio Portella</i>	<i>Dr.</i>	<i>Máquinas Agrícolas</i>
<i>José M.C. Fernandes</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Fitopatologia</i>
<i>José Roberto Salvadori</i>	<i>Dr.</i>	<i>Entomologia-Pragas Trigo, Feijão e Milho</i>
<i>Julio Cesar B. Lhamby</i>	<i>Dr.</i>	<i>Rotação Culturas-Contr. Plantas Daninhas</i>
<i>Leila Maria Costamilan</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Fitopatologia-Doenças de Soja</i>
<i>Leo de Jesus A. Del Duca</i>	<i>Dr.</i>	<i>Melhoramento de Plantas-Trigo</i>
<i>Luiz Ricardo Pereira</i>	<i>Dr.</i>	<i>Melhoramento de Plantas-Milho</i>
<i>Márcio Só e Silva</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Fitotecnica</i>
<i>Marcio Voss</i>	<i>Dr.</i>	<i>Microbiologia do Solo</i>
<i>Maria Imaculada P.M. Lima</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Fitopatologia</i>
<i>Maria Irene B.M. Fernandes</i>	<i>Dra.</i>	<i>Biologia Celular</i>
<i>Martha Z. de Miranda</i>	<i>Dra.</i>	<i>Tecnologia de Alimentos</i>
<i>Osmar Rodrigues</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Fisiologia Vegetal</i>
<i>Paulo F. Bertagnolli</i>	<i>Dr.</i>	<i>Melhoramento de Plantas-Soja</i>
<i>Pedro Luiz Scheeren</i>	<i>Dr.</i>	<i>Melhoramento de Plantas-Trigo</i>
<i>Rainoldo A. Kochhann</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Manejo e Conservação de Solo</i>
<i>Renato Serena Fontaneli</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Fitotecnica-FORAGEIRAS</i>
<i>Roque G.A. Tomasini</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Economia Rural</i>
<i>Sandra Patussi Brammer</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Biotecnologia</i>
<i>Silvio Tulio Spera</i>	<i>M.Sc.</i>	<i>Física de Solos</i>
<i>Sírio Wiethölder</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Fertilidade do Solo/Nutrição de Plantas</i>
<i>Wilmar Cório da Luz</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Fitopatologia</i>

** Em curso de Pós-Graduação.*



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Centro Nacional de Pesquisa de Trigo

Rodovia BR 285, km 174 - Caixa Postal 451

99001-970 Passo Fundo, RS

Fone: OXX 54 311 3444, Fax: OXX 54 311 3617

e-mail: sac@cnpt.embrapa.br

site: <http://www.cnpt.embrapa.br>

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA
E DO ABASTECIMENTO**

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil