

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA APLICADA

ELAYNE CRISTINA DA SILVA

MOBILIDADE DE ÍONS EM UM CAMBISSOLO HAPLICO ALUMÍNICO SUBMETIDO  
A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA

PONTA GROSSA  
2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ELAYNE CRISTINA DA SILVA

MOBILIDADE DE ÍONS EM UM CAMBISSOLO HAPLICO ALUMÍNICO SUBMETIDO  
A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA

Dissertação apresentada para obtenção do  
Título de Mestre em Química Aplicada no  
Programa de Pós-Graduação em Química  
Aplicada da Universidade Estadual de Ponta  
Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva

PONTA GROSSA  
2010

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor Tratamento da Informação BICEN/UEPG

S586m Silva, Elayne Cristina da  
Mobilidade de íons em um cambissolo haplico alumínico submetido a aplicação de calcário e gesso agrícola / Elayne Cristina da Silva. Ponta Grossa, 2010.  
91f.  
Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa .  
Orientador: Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva

1. Cambissolo Háplico Alumínico. 2. Calcário. 3. Gesso agrícola. I. Silva, Jeremias Borges da. II. T

CDD: 631.41

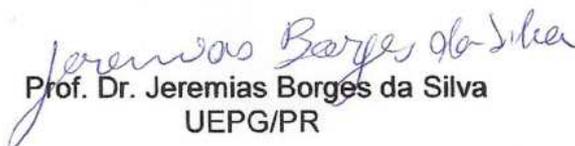
**TERMO DE APROVAÇÃO**

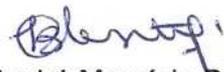
**ELAYNE CRISTINA DA SILVA**

**“MOBILIDADE DE ÍONS EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALUMÍNICO  
SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA.”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora.

Orientador:

  
Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva  
UEPG/PR

  
Prof. Dr. André Maurício Brinatti  
UEPG/PR

  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Neyde Fabíola Balarezo Giarola  
UEPG/PR

**Ponta Grossa, 1 de Setembro de 2010**

Dedico este trabalho, com todo o carinho aos meus pais José Osil e Tereza pelo apoio e oportunidades concedidas, e ao grande amigo Pe. Gaspar Blanco Ramos (in memoriam).

## AGRADECIMENTOS

***“Tudo é do Pai, toda honra e toda a glória. É dele a vitória, alcançada em minha vida.” (Pe. Fábio de Melo)***

Primeiramente, agradeço a Deus por mais essa conquista.

***“Como é bonita uma religião que se lembra da Mãe de Jesus. Mais bonito é saber quem tu és! Não és Deusa, não és mais que Deus mais, depois de Jesus, o Senhor. Neste mundo ninguém foi maior...” (Pe. Zezinho)***

A Maria Santíssima, por interceder por nós junto a Jesus.

***“Minha prece de filha é prece de quem agradece. Minha prece é de filha que sente orgulho dos pais. Que eles trilhem os seus caminhos! Louvem e sejam louvados! Sejam recompensados.” (Pe. Zezinho)***

Ao meu pai José Osil e minha mãe Tereza pelos seus esforços para que eu chegasse até aqui, por sempre me acompanhar e incentivar nos estudos, e por terem paciência de me compreender nos momentos difíceis. Ao meu irmão José Willian pelo apoio e incentivo.

***“Se eu tentasse definir o quão especial tu és pra mim, palavras não teriam fim. Definir o amor não dá, então direi apenas obrigado e sei que entenderás. Precioso és para Deus e para mim...” (Dalvimar Gallo)***

A Alcides Nohemann Júnior pela ajuda na parte experimental, mais principalmente pelo grande incentivo, fazendo acreditar em mim mesma, e não deixando desistir nunca dos meus objetivos.

***“Quem me dará um ombro amigo quando eu precisar? E se eu cair, se eu vacilar, quem vai me levantar? Sou eu, quem vai ouvir você quando o mundo não puder te entender. Foi Deus, quem te escolheu pra ser o melhor amigo que eu pudesse ter...” (Dalvimar Gallo)***

A todos os que considero amigos e que fazem ou fizeram parte da minha vida.

Ao Prof Jesuan, Sandrinha, Ozires, Valdeci, José Luis, do Departamento de Química por toda ajuda e por estarem sempre ao meu lado me incentivando e fazendo com que os meus dias fossem mais alegres.

Ao meu orientador e Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva, pela oportunidade, orientação e ajuda nesta dissertação.

Ao Dr. Jadir Aparecido Rosa, e ao Dr. Luiz Antonio Zanão Júnior pesquisadores do IAPAR, por suas colaborações.

A Prof. Dr<sup>a</sup> Neyde Fabíola B. Giarola (DESOLO - UEPG) pelo fornecimento das amostras do solo.

Ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) pelas análises químicas.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

A todos que indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. E aqueles que por falta minha deixei de mencionar.

***MUITO OBRIGADO!***

Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, se não tivesse o amor,  
seria como o bronze que soa, ou como o címbalo que retine.

Mesmo que eu tivesse o dom da profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a  
ciência; mesmo que tivesse toda a fé, a ponto de transportar montanhas, se não  
tivesse o amor não sou nada.

Ainda que distribuísse todos os meus bens em sustento dos pobres, e ainda que  
entregasse o meu corpo para ser queimado, se não tivesse o amor, de nada valeria!

O amor é paciente, o amor é bondoso. Não tem inveja. O amor não é orgulhoso.

Não é arrogante.

Nem escandaloso. Não busca os seus próprios interesses, não se irrita, não guarda  
rancor.

Não se alegra com a injustiça, mas se rejubila com a verdade.

Tudo desculpa, tudo crê, tudo espera, tudo suporta.

O amor jamais acabará. As profecias desaparecerão, o dom das línguas cessará, o  
dom da ciência findará.

A nossa ciência é parcial, a nossa profecia é imperfeita.

Quando chegar o que é perfeito, o imperfeito desaparecerá.

Quando eu era criança, falava como criança, pensava como criança, raciocinava  
como criança. Desde que me tornei homem, eliminei as coisas de criança.

Hoje vemos como por um espelho, confusamente; mas então veremos face a face.

Hoje conheço em parte; mas então conhecerei totalmente, como eu sou conhecido.

Por ora subsistem a fé, a esperança e o amor. Porém, o maior deles é o amor.

(I Coríntios, 13. Bíblia Sagrada)

"Sonhar pequeno dá o mesmo trabalho que sonhar grande. Então porque nossos  
sonhos precisam ser pequenos?"

Pe. Gaspar Blanco Ramos

## RESUMO

Muitos solos paranaenses são ácidos em seu estado natural, com teores de alumínio em forma e níveis que são tóxicos às plantas, isto leva a necessidade de uso de corretivos no solo. O calcário é o corretivo mais utilizado, porém tem lenta mobilidade no perfil do solo, sendo lenta a correção além da camada de incorporação. Nesse sentido, a utilização de gesso passou a ter nos últimos anos, um interesse especial, pois este possui importantes características químicas e físicas necessárias para ser usado como condicionador de camadas subsuperficiais dos solos. O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a mobilidade vertical de cátions ao longo de colunas de solo, após a aplicação de calcário agrícola, gesso agrícola, e uma mistura de gesso e calcário agrícola, submetidas à percolação com água de um Cambissolo Háplico Alumínico da região do município de Irati no Estado do Paraná, esse solo apresenta alto teor de alumínio, e é muito usado para plantio de lavouras, porém pouco estudado. O experimento foi realizado em laboratório, utilizaram-se colunas de PVC, com 8 cm de diâmetro e 35 cm de altura, seccionadas e aplicaram-se água, simulando a precipitação média anual de 1245 mm da região, aplicados parceladamente, em três percolações de 450 mL, uma a cada 15 dias. Após foram realizadas nos solos as seguintes análises: pH, C, Ca, Mg, Al<sup>3+</sup> trocáveis, teores extraíveis de P e K, H + Al (acidez potencial), S (soma de bases) e CTC (capacidade de troca de cátions) ,saturação por bases (V), saturação por alumínio (Al), e através de absorção atômica analisou-se metais (Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, Fe e Mn) facilmente trocáveis através de lixiviações. Observa-se que, para o Cambissolo Háplico Alumínico estudado, a calagem atende as necessidades de correção de pH, neutralização de Al<sup>3+</sup> , retenção de bases e nutrientes apenas para a camada tratada, porém, com processo de lixiviação muito lento. A mistura com o gesso agrícola na calagem facilita este processo, aumentando a quantidade de cobre, mas aumentando a mobilidade do metais.

Palavras chaves: Cambissolo Háplico Alumínico, calcário, gesso agrícola.

## ABSTRACT

Many soils in the state of Parana are acidic in their natural state, with levels of aluminum in the shape and levels that are toxic to plants, this leads to the need for use of agricultural lime in the soil. Limestone is the most used corrective, but has slow mobility in the soil profile, but is slow its correctness beyond the layer of incorporation. In this sense, the use of gypsum now has in recent years, a special interest, because this has important chemical and physical characteristics necessary to be used as conditioner subsurface layers. This study was conducted to evaluate the vertical mobility of cations through soil columns after application of limestone, gypsum and a mixture of gypsum and limestone, submitted to percolation of water from a Cambissol Haplic Aluminic Irati municipality of in Parana State, this soil has a high amount of aluminum, and is widely used for growing crops, but little studied. The experiment was conducted in the in the laboratory, we used PVC columns with 8 cm diameter and 35 cm tall, sectioned and applied to water, simulating the average annual rainfall of 1245 mm in the region, split applications, three of percolations 450 mL, one every 15 days. After the soils were analyzed: pH, C, Ca, Mg,  $Al^{3+}$ , concentration extractable P and K, H + Al (potential acidity), S (sum of bases) and CTC (capacity cation exchange) , base saturation (V), aluminum saturation (Al) and by atomic absorption was analyzed metals (Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, Fe and Mn) easily exchangeable through leaching. Observe that, for the Cambisol study, the setting meets the needs of correction of pH, neutralization,  $Al^{3+}$ , retention of bases and nutrients just for the treated layer, but with very slow process of leaching. The mixture with gypsum in lime facilitates this process by increasing the amount of copper, but increasing the mobility of metals.

Keywords: Aluminic Haplic Cambissol, limestone, gypsum.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Esquema de um instrumento de absorção atômica.....	30
Figura 2	Escala de pH.....	32
Figura 3	Esquema das divisões da coluna de solo.....	45
Figura 4	Sistema utilizado para aplicação de água nas colunas de solo..	45
Gráfico 1	Valores de pH no solo.....	51
Gráfico 2	Teores de alumínio trocável no solo.....	53
Gráfico 3	Teores de cálcio trocável no solo.....	55
Gráfico 4	Teores de magnésio trocável no solo.....	56
Gráfico 5	Teores de fósforo no solo.....	57
Gráfico 6	Teores de potássio trocável no solo.....	58
Gráfico 7	Valores de acidez potencial trocável no solo.....	59
Gráfico 8	Valores da capacidade de troca de cátions no solo.....	60
Gráfico 9	Valores na soma das bases no solo.....	61
Gráfico 10	Valores de saturação por bases no solo.....	62
Gráfico 11	Teor de carbono orgânico no solo.....	63
Gráfico 12	Valores da saturação por alumínio no solo.....	64
Gráfico 13	Teores de manganês no solo.....	66
Gráfico 14	Teores de zinco no solo.....	68
Gráfico 15	Teores de cobre no solo.....	69
Gráfico 16	Teores de chumbo no solo.....	70
Gráfico 17	Teores de níquel no solo.....	71
Gráfico 18	Teores de ferro no solo.....	72
Gráfico 19	Teores de cromo no solo.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise Química e granulométrica das fontes de cálcio aplicadas.....	43
Tabela 2	Teor de metais no Cambissolo Háplico do município de Irati, Paraná.....	66

## LISTAS DE SIGLAS

Al	Saturação por alumínio
CTC	Capacidade de troca de cátions
FASCA	Física Aplicada à Solos e Ciências Ambientais
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
Kb	Constante de ionização
pH	Potencial hidrogeniônico
S	Soma de bases
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
V	Saturação por bases

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 SOLOS ÁCIDOS.....	16
1.1.1 ACIDEZ ATIVA.....	18
1.1.2 ACIDEZ POTENCIAL OU PODER TAMPÃO DO SOLO.....	18
1.2 A CALAGEM.....	19
1.3 OS CORRETIVOS.....	21
1.3.1 A NATUREZA QUÍMICA DOS CORRETIVOS.....	21
1.3.2 O CALCÁRIO.....	22
1.3.3 O GESSO.....	24
1.4 LIXIVIAÇÃO DE COMPONENTES DO SOLO.....	25
1.5 ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....	29
1.6 EXTRAÇÃO SEQUENCIAL PELO MÉTODO DE TESSIER.....	31
1.7 ANÁLISES QUÍMICAS.....	32
1.7.1 PH.....	32
1.7.2 FÓSFORO.....	33
1.7.3 POTÁSSIO.....	34
1.7.4 CARBONO ORGÂNICO.....	34
1.7.5 CÁLCIO.....	34
1.7.6 MAGNÉSIO.....	35
1.7.7 ALUMÍNIO.....	36
1.7.8 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS.....	37
1.7.9 ACIDEZ POTENCIAL.....	38
1.7.10 SOMA DAS BASES TROCÁVEIS.....	39
1.7.11 SATURAÇÃO POR BASES.....	39
1.7.12 SATURAÇÃO POR ALUMINIO.....	39
1.8 OS CAMBISSOLOS.....	40
<b>CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS.....</b>	<b>42</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	42
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	42
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>43</b>
3.1 O EXPERIMENTO.....	43
3.2 ANÁLISES QUÍMICAS.....	46
3.3 A ANÁLISE DE ESPECTROFOTOMETRIA POR ABSORÇÃO ATÔMICA.....	48
3.3.1 ESPÉCIES METÁLICAS.....	48
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>49</b>
4.1 PH.....	49
4.2 ALUMÍNIO TROCÁVEL.....	51
4.3 CÁLCIO TROCÁVEL.....	53
4.4 MAGNÉSIO.....	55
4.5 FÓSFORO.....	56
4.6 POTÁSSIO.....	57
4.7 ACIDEZ POTENCIAL TROCÁVEL.....	58
4.8 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS.....	60

4. 9	SOMA DAS BASES.....	60
4.10	SATURAÇÃO POR BASES.....	61
4.11	CARBONO ORGÂNICO.....	63
4.12	SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO.....	63
4.13	ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....	64
4.13.1	MANGANÊS.....	65
4.13.2	ZINCO.....	67
4.13.3	COBRE.....	68
4.13.4	CHUMBO.....	69
4.13.5	NÍQUEL.....	70
4.13.6	FERRO.....	71
4.13.7	CROMO.....	72
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....</b>		<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>		<b>76</b>

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial e redução da pobreza, cresce a demanda por alimentos e, conseqüentemente por áreas cultiváveis. No entanto, a preservação do equilíbrio ambiental mostra-se essencial para a preservação da vida no planeta e, inclusive, das áreas cultivadas atualmente. Dessa, forma torna-se importante o cuidado racional para aumentar a produtividade e a preservação nas áreas cultivadas.

O Paraná é um estado essencialmente agrícola com grande cobertura de áreas cultivadas. Porém, muitos solos paranaenses são ácidos em seu estado natural, com teores de alumínio em forma e níveis que são tóxicos às plantas. (ROSSA, 2006). Esta situação inibe o crescimento vegetal e a produtividade das plantas levando a necessidade de uso de corretivos no solo.

A acidez dos solos podem também ocorrer devido a processos que favorecem a remoção de elementos básicos como cálcio, magnésio, potássio e sódio (MELO e ALLEONI, 2009b.). Isto provoca baixas concentrações desses elementos, principalmente cálcio e magnésio, importantes nutrientes para as plantas. Esses processos podem ocorrer por cultivos e adubações que removem estas bases da superfície dos colóides do solo. No entanto, o principal processo de retirada desses elementos do perfil do solo é a lixiviação, através da água de percolação, que substitui as bases por hidrogênio e alumínio, intensificando a acidificação.

Para as plantas, a falta de cálcio, o aumento da acidez e o excesso de alumínio diminuem o crescimento do sistema radicular que traz como conseqüência a baixa captação de nutrientes e água, afetando o desenvolvimento das plantas.

Para a correção da acidez e da falta de cálcio, necessária para aumentar a produtividade de solos ácidos, utiliza-se a adição de materiais corretivos, principalmente através da calagem. O calcário é uma substância abundante no Brasil, que o torna um insumo barato em relação ao custo de produção. Entretanto, como estes corretivos se solubilizam lentamente e são incorporados superficialmente, a correção normalmente se restringe à superfície, limitando o crescimento das raízes à camada de aplicação.

Em algumas situações é importante para o desenvolvimento da cultura o aprofundamento do sistema radicular. Neste caso a lixiviação dos corretivos do solo

até horizontes subsuperficiais, passa a ser necessário. Porém, a lixiviação a partir adição do calcário é lenta, levando até anos para ocorrer, e nem sempre os resultados são os desejáveis. Nesse sentido, a utilização de gesso passou a ter, nos últimos anos, um interesse especial. O gesso agrícola possui características químicas e físicas importantes necessárias para ser usado como condicionador de camadas subsuperficiais dos solos (PAVAN; BINGHAM; PRATT, 1982; RAIJ, 1988). Devido à sua solubilidade em água, a lixiviação de cálcio e de outras bases é acelerada levando nutrientes e reduzindo a atividade do alumínio tóxico. No entanto, se esta lixiviação for intensa pode arrastar este material e outras bases para camadas mais profundas, longe do alcance das raízes, não surtindo o efeito desejado (PAVAN; BINGHAM; PRATT, 1984; QUAGGIO; DECHEN; RAIJ, 1982).

Evidentemente o processo de lixiviação dos corretivos depende da quantidade de produtos aplicados na calagem e na gessagem, e também da quantidade de chuvas e água de irrigação. Para estudar esse processo experimentos podem ser realizados em campo, em lisímetros, ou em colunas no laboratório. A vantagem do primeiro é a proximidade com situações reais, mas em laboratório as condições podem ser bem controladas e pode-se verificar a influência de cada parâmetro que influencia a movimentação dos íons no solo. A quantidade de água, o tempo de aplicação, a textura, a estrutura do solo e sua composição química são informações importantes que podem ser analisadas a importância para a lixiviação das bases.

Os experimentos em laboratório de lixiviação são bastante utilizados tanto para análise da movimentação de elementos quanto do soluto percolado, (CAMPECHE 2002). A análise do percolado pode avaliar a possível contaminação do lençol freático por metais pesados e substâncias tóxicas decorrentes de resíduos industriais e do uso de herbicidas e pesticidas (MAIA 2004). A análise do solo permite a observação da movimentação de substâncias nocivas e também de nutrientes para plantas, além da variação do pH (potencial hidrogeniônico) do solo. Em experimentos de laboratório usam-se colunas com solos que podem ser deformados ou não. Quando deformado geralmente utiliza-se amostras de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) que são amostras de solo passadas em peneiras de 2 mm colocadas para secar até 60°C. No laboratório pode-se ainda se utilizar colunas

seccionadas que permitem uma análise química mais precisa do perfil do solo e da lixiviação dos elementos (MELO e ALLEONI, 2009a.)

Para estudo da movimentação das bases no solo podem ser utilizados vários métodos de análise química: métodos clássicos, difração de raios X, espectroscopia de infravermelho e de absorção atômica, emissão óptica com plasma induzido acoplado, espectrometria de emissão atômica, entre outras (MELO e ALLEONI, 2009a.) A análise química permite a determinação qualitativa e quantitativa, dos elementos e compostos que compõem a matriz solo. A análise usando métodos clássicos como titulações é a mais utilizada já que não precisa de equipamentos caros e os processos tradicionais, baratos e de fácil repetição. Esses tipo de análise é muito usada pelos produtores para determinação do pH, percentagem de macro e micronutrientes, e composição orgânica do solo, permitindo-lhes definir as necessidades de calagem e adubação. Na análise química básica determina-se: pH, carbono orgânico; fósforo disponível, potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis; acidez potencial, saturação por bases e alumínio trocável. Quando a saturação por bases, que significa a razão entre a soma das bases trocáveis pela capacidade de troca de cátions a pH 7, for menor que 25% a quantidade de nutrientes é muito baixa para o desenvolvimento de qualquer cultura. (MELO e ALLEONI, 2009a.)

A espectrometria de absorção atômica é bastante utilizada, pois permite a determinação de vários elementos micronutrientes importantes para o solo. Cálcio, magnésio, ferro, cobre, boro, manganês e zinco são os mais importantes. Esta técnica entre outras permitem a caracterização do solo pela sua composição estrutural, elementos e compostos. Isto permite estudar a movimentação de metais pesados no solo, por exemplo.

Na região Centro-Sul do Paraná, particularmente no município de Irati, apresentam solos do tipo Cambissolo Háptico Alumínico (BENASSI, 2008) que são pouco estudados e merecem atenção por serem usados para produção de culturas importantes para o mercado interno, como o feijão, o milho, o arroz e fumo. Estes solos apresentam níveis elevados de alumínio (em torno de 80%), pH ácido (em torno 3,5), uma saturação por bases que fica abaixo de 10%, resultando numa baixa fertilidade natural, que impõe a necessidade de utilização de corretivos de acidez e fertilizantes minerais para que esses solos tenham sua produtividade aceitável.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a mobilidade vertical de íons ao longo de colunas de solo, após a aplicação de calcário agrícola, gesso agrícola, e uma mistura de gesso e calcário agrícola, submetidas à percolação com água, e verificar também o efeito sobre os valores de pH e saturação por bases de um Cambissolo Háplico Alumínico da região do município de Iрати no Estado do Paraná.

### 1.1 SOLOS ÁCIDOS

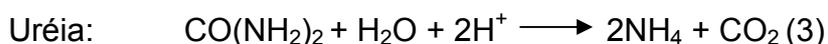
Solos de reação ácida predominam em quase todas as regiões brasileiras, ocupando menor área relativa no semi-árido nordestino (OLMOS; CAMARGO, 1976). Na região sob vegetação de cerrado e também em outras regiões, o cenário não é diferente, havendo maior concentração de solos ácidos, cujas características químicas geralmente envolvem, além de baixo valor de pH, a elevada saturação por alumínio e a baixa saturação por bases ao longo do perfil.

Os solos podem ser naturalmente ácidos em função da pobreza do material de origem em cálcio, magnésio, potássio e sódio, ou se tornarem ácidos por cultivos e adubação que leva a tal processo.

Segundo LOPES; SILVA e GUILHERME (1990) podemos considerar três principais maneiras de acidificação dos solos. A primeira ocorre naturalmente pela dissociação do gás carbônico, onde o  $H^+$  resultante é transferido para fase sólida do solo e libera um cátion trocável, que será juntamente lixiviado com o bicarbonato, podendo ser representada pela seguinte equação (1):

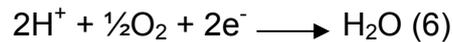
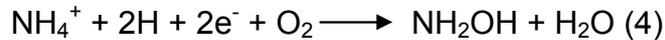


A segunda causa da acidificação do solo é ocasionada por alguns fertilizantes, sobretudo os amoniacais (equação 2) e a uréia (equação 3), que de uma forma geral pode ser representada a seguir:



Os microorganismos absorvem  $NH_3$  e  $NH_4^+$ , e nos solos estes sofrem transformações, convertendo-se em  $NO_2^-$  que imediatamente converte-se em  $NO_3^-$ ,

processo conhecido como nitrificação, que ocorre em duas etapas: nitritação que é a transformação de amônio a nitrito e nitratação que é a transformação de nitrito a nitrato, (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). Este processo consiste das seguintes reações (equações 4, 5, 6 e 7):



A semelhança do primeiro caso, o resultado das transformações resulta em  $\text{H}^+$ , que libera um cátion trocável para a solução do solo, que será lixiviado com o ânion acompanhante, intensificando a acidificação do solo.

Por fim, a terceira causa importante da acidificação dos solos seria a hidrólise do alumínio, a qual produz íons  $\text{H}_3\text{O}^+$ , mas que neste trabalho será representada por  $\text{H}^+$  em uma forma simplificada, omitindo as moléculas de água (equação 8):



A utilização de diferentes métodos na determinação de propriedades da acidez dificulta a interpretação e a comparação dos resultados entre trabalhos científicos. Contudo, levantamentos de solos realizados nas mais diversas regiões brasileiras foram iniciados na década de 70 e perduraram por mais de duas décadas, acumulando um grande volume de informações sobre propriedades químicas, físicas e mineralógicas dos solos. As análises de solos foram realizadas de modo centralizado, no laboratório do Serviço Nacional de Levantamento e Classificação de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), com método único, o qual tem sido empregado até hoje na maioria dos trabalhos científicos na área de pedologia. (MELO e ALLEONI, 2009b.)

Três componentes da acidez são apresentados nos manuais de levantamento de solos da EMBRAPA: pH em  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $(\text{H}^+ \text{Al}^{3+})$ . O pH em  $\text{H}_2\text{O}$  (relação solo/água 1:2,5) representa atividade de  $\text{H}^+$  em solução em equilíbrio com a fase sólida do solo; o  $\text{Al}^{3+}$  adsorvido é deslocado do complexo sortivo com  $\text{K}^+$  (solução extratora KCl 1mol  $\text{L}^{-1}$ ) e determinado pela hidrólise do  $\text{Al}^{3+}$  quando da elevação do

pH da solução por titulação com solução de NaOH; o  $(H + Al^{3+})$  é obtido pela soma da quantidade de  $H^+$  na solução mais aquele dissociado dos grupos  $-OH$  da superfície de minerais e da fração húmica e pela hidrólise do  $Al^{3+}$  pela elevação do pH até 7,0 em solução tamponada de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (VETTORI, 1969).

A acidez do solo esta associada ao equilíbrio entre a solução do solo e a fase solida. Enquanto a acidez de solução é chamada de ativa, a acidez que se encontra na fase sólida e que apresenta valores centenas até milhares de vezes maiores é denominada acidez potencial ou total. (MELO e ALLEONI, 2009b.)

### **1.1.1 ACIDEZ ATIVA**

A acidez ativa é determinada pelo potencial de  $H^+$  na solução do solo, em equilíbrio com os colóides, expresso em pH. A medição da atividade de  $H^+$  pode ser feita por meio da obtenção da solução do solo em campo ou em laboratório, por diversos métodos (WOLT, 1994).

A extração da solução do solo não é uma técnica simples. Assim, para análises em laboratório, a medição de pH é feita utilizando-se mistura de terra fina seca ao ar com água ou solução salina, a fim de estabelecer um equilíbrio entre as fases, que ocorre após alguns minutos. Mede-se em geral, por método potenciométrico, a atividade de  $H^+$  em equilíbrio. (MELO e ALLEONI, 2009b.)

Segundo MELO e ALLEONI, 2009b, a utilização de solução salina diluída (sais de cálcio e sódio, em concentrações entre 0,1 a  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) visa simular a concentração da solução solo sob condições de campo, onde a ocorrência da água pura inexistente. A solução de  $CaCl_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  é a mais utilizada, provavelmente pela abundância de cálcio nos pontos de troca e em solução.

### **1.1.2 ACIDEZ POTENCIAL OU PODER TAMPÃO DO SOLO**

Além da acidez ativa (representada pelo pH), a maioria das análises químicas apresenta valores relativos ao poder-tampão do solo, chamada de acidez potencial ou total. O termo potencial diz respeito ao poder tamponante da solução da solução extratora, atuando na manutenção do pH previamente estabelecido. (MELO e ALLEONI, 2009b.)

A acidez potencial é subdividida em trocável e não-trocável, sendo a primeira ( $Al^{3+}$ ) definida com base na extração com soluções de sais neutros não

tamponadas. Já a acidez não-trocável é a acidez que o solo potencialmente poderá produzir com a elevação do seu pH até valores previamente definidos (pH 7,0 ou 8,2) pelo uso de soluções tamponadas. (MELO e ALLEONI, 2009b.)

A acidez potencial trocável representa o poder-tampão do solo, em seu pH natural, até o pH onde ocorre a completa hidrólise do  $\text{Al}^{3+}$  aproximadamente pH 4,8 em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  ou 5,4 em  $\text{H}_2\text{O}$ . (MELO e ALLEONI, 2009b.)

A acidez potencial não-trocável, vem sendo determinada com solução tamponada a pH 7,0 em solos com baixo pH, como os tropicais, e com solução tamponada a pH 8,2, para solos com pH acima de 7,0. O pH 7,0 visa a estabelecer o poder-tampão do solo do seu pH natural até a neutralidade. Já a escolha de do valor máximo de pH 8,2 foi devida ao ponto de início da precipitação do  $\text{Ca}^{2+}$  e formação de carbonatos e a reduzida alteração de CTC (capacidade de troca de cátions) acima desse pH. (MELO e ALLEONI, 2009b).

## 1.2 A CALAGEM

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 (deposito de argila mesclada com calcário) ao solo e os romanos aprenderam essa prática dos gregos.

Nos Estados Unidos, a calagem teve início entre 1825 a 1845 na região leste, no estado de Virgínia, por Edmund Ruffin (TISDALE; NELSON, 1993), e gradualmente foi sendo adotada à medida que a colonização ocorreu na direção oeste do país. (McCOOL; MILLAR, 1918).

Segundo McLEAN e BROWN (1984) o rápido desenvolvimento da indústria de calcário agrícola, nos Estados Unidos, antes de 1950 foi uma consequência de inúmeros fatores. Houve um esgotamento da fertilidade do solo pela remoção de colheitas, erosão e lixiviação do solo. Muitos agricultores, que receberam treinamento para a agricultura vocacional, adquiriram informações de métodos para manter altos os níveis de fertilidade do solo. Os subsídios federais para aplicação de calcário, no interesse da conservação do solo, encorajaram o uso de calcário. O desenvolvimento de rodovias pavimentadas ao longo do Meio Oeste do país resultou na acumulação de usinas de britagem de pedra, aonde a pedra calcária começou a ser britada para o uso no fabrico de calcário; e com o aumento da malha viária

caminhões e equipamento vieram por transportar e esparramar calcário nos campos dos fazendeiros.

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 (BRDE, 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, 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 cálcio ou magnésio e que seja capaz de reduzir a acidez. As substâncias mais importantes são carbonatos, óxidos e hidróxidos de cálcio ou de magnésio. Sulfatos e cloretos de cálcio ou magnésio não tem efeito como corretivo da acidez. O calcário agrícola é extraído de minas e a maioria é submetido apenas ao processo físico de moagem. (WIETHÖLTER, 2000).

A REDE DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E DE TECIDO VEGETAL DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA. (SBCS, 1994), recomenda que a calagem objetiva elevar o pH do solo até determinado valor, visando a neutralizar ou reduzir os efeitos tóxicos do alumínio e/ou do manganês do solo, bem como melhorar o ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes. Além disso, afirma que, em geral, solos com teores elevados de alumínio, de matéria orgânica e de argila requerem maiores quantidades de corretivo, pois esses representam fontes de acidez potencial no solo e de tamponamento do pH.

Solos de regiões tropicais, caso da maioria dos solos do Brasil, formaram-se em condições de temperaturas elevadas e regime hídrico intenso. Isto levou e leva à lixiviação de bases e à estabilização da atividade microbiana em patamares muito baixos tornando-se de fertilidade limitada. (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002).

Ainda segundo LUCHESE; FAVERO e LENZI (2002), a correção desses solos através de compostos com características básicas, leva a uma melhoria nas condições da fertilidade dos mesmos traduzidos pela: a) melhoria nas propriedades físicas, pela melhoria estrutural dos solos, melhores condições de aeração e movimento da água; b) variações dos efeitos benéficos nas propriedades químicas incrementam CTC, a retenção de cátions e suas quantidades, pois são na maioria

das vezes agregados juntamente com os corretivos; c) ação nas propriedades biológicas, ao aumentar a atividade biológica e, por isso, provocando uma mineralização mais intensa da matéria orgânica.

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 (WIETHÖLTER, 2000).

A calagem é uma prática atualmente muito difundida em várias regiões brasileiras, especialmente no Sul e Sudeste, onde se concentra grande parte da produção agrícola nacional, e onde os solos são bastante ácidos, afetando o desenvolvimento normal das culturas.

### **1.3 OS CORRETIVOS**

#### **1.3.1 A NATUREZA QUÍMICA DOS CORRETIVOS**

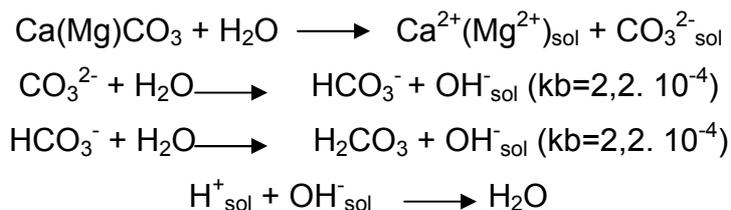
Os materiais corretivos comumente usados na calagem são óxidos, hidróxidos e carbonatos ou silicatos de cálcio e/ou magnésio. Tanto o cálcio quanto o magnésio são essenciais para as plantas e, normalmente, se apresentam em baixa disponibilidade nos solos ácidos. Por outro lado, são compostos químicos que diminuem a atividade dos íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$  na solução do solo, o que é benéfico para as plantas e microorganismos (FURTINI; TOKURA; RESENDE, 2004).

Segundo BRADY (1989), a acidez do solo e as condições fisiológicas que a acompanham resultam de uma deficiência de cátions metálicos adsorvidos (denominados bases) em relação ao hidrogênio, e que para diminuir a acidez o hidrogênio e o alumínio deverão ser substituídos por cátions metálicos, muitas vezes conseguidos pela adição de óxidos, hidróxidos ou carbonatos de cálcio e de magnésio.

### 1.3.2 O CALCÁRIO

Segundo RAIJ (1991), o material corretivo mais utilizado na neutralização da acidez dos solos é o calcário.

FURTINI; TOKURA E RESENDE, (2004) afirma que o calcário é o corretivo mais indicado e, portanto mais usado na prática da calagem. É simplesmente obtido pela moagem de rochas calcárias, cujos constituintes químicos básicos são  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ . A ação neutralizante do calcário se deve às seguintes reações:



Portanto, ainda segundo FURTINI; TOKURA e RESENDE, (2004) o ânion acompanhante do cálcio ou do magnésio é o responsável pela neutralização. Observa-se que o valor da constante de ionização básica ( $K_b$ ) indica que o  $\text{CO}_3^{2-}$  é uma base fraca, assim a formação dos íons neutralizantes  $\text{OH}^-$  é lenta. Esta é a razão da necessidade de se aplicar calcário com a devida antecedência ao plantio. Ademais, deve-se destacar a importância de um adequado teor de água no solo para reação do calcário e de todo e qualquer corretivo.

Segundo BRADY (1989), os dois componentes mais importantes existentes no calcário são a calcita, que é, sobretudo um carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita, que é basicamente carbonato de cálcio e de magnésio [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].

O teor de magnésio e de cálcio de um calcário é uma característica muito importante a ser considerada no processo de escolha do mesmo. Caso a interpretação da análise indicar que o solo está deficiente em magnésio é altamente recomendado a escolha de um corretivo mais rico neste nutriente. (FURTINI; TOKURA; RESENDE, 2004).

A maioria do calcário triturado existente no mercado é cálcico e dolomítico, embora haja disponibilidade de dolomita moída em certas localidades (BRADY, 1989).

FURTINI; TOKURA e RESENDE, (2004) dizem que quando são necessários cálcio e magnésio, devem-se usar materiais calcários que contenham ambos os nutrientes. Alguns calcários contêm quantidades iguais de carbonatos de cálcio e de

magnésio, mas trabalhos de pesquisa mostram que cerca de 10% de  $MgCO_3$  são suficientes para suprir o magnésio.

BRADY (1989) ressalta que o calcário moído é eficaz no aumento da produtividade das culturas e é utilizado em maior extensão do que todas as outras formas combinadas de corretivos, onde sua aproximada pureza varia de 75 a 99 %.

A qualidade do calcário é determinada pelo poder relativo de neutralização total, o qual reflete a intensidade de reação do produto no solo. Ele é o resultado do teor de compostos químicos (magnésio ou cálcio) presentes no calcário que agem na neutralização da acidez e do grau de finura na moagem. Em geral, quanto mais alto o poder relativo de neutralização total, mais rápida é a sua reação no solo (MIBASA, 2003).

O calcário é o material mais utilizado para se fazer calagem e sua necessidade deve ser entendida como a quantidade de corretivo a ser aplicada ao solo para neutralizar sua acidez, elevar o pH, bem com a saturação por bases até um nível desejado (RAIJ, 1991), critério esse que leva em consideração aspectos de solo, da cultura e do corretivo utilizado. Esse método baseado na elevação da saturação por bases foi introduzido em São Paulo em 1983, e desde então vem sendo empregado em estudos bem como na recomendação de calagem aos produtores, pela facilidade de uso e flexibilidade às diversas culturas.

A granulometria do calcário interfere diretamente na velocidade de reação no solo (TISDALE; NELSON, 1975), de maneira que os materiais finamente agem mais rapidamente no solo, porém seu efeito é mantido por um período mais curto do que os materiais que contém razoável quantidade de partículas mais grossa.

Segundo QUAGGIO (1985), além de uma adequada uniformidade de aplicação do calcário sobre a superfície do solo, há necessidade de incorporá-lo, pois as operações de preparo do solo para as culturas, via de regra são superficiais e não conseguem proporcionar uma adequada mistura do corretivo com o solo, para se obter uma boa ação neutralizante do mesmo, sendo portanto importante proporcionar o contato íntimo das partículas do corretivo com o solo, uma vez que estes normalmente apresentam baixa solubilidade.

### 1.3.3 O GESSO

O gesso, que tem sido utilizado como fertilizante desde a era grega e romana como fonte de cálcio e enxofre para as plantas cultivadas (TISDALE; NELSON, 1975), é considerado como alternativa para a melhoria do ambiente radicular de solos ácidos.

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo considera o gesso como sendo um material proveniente de mineração, a partir de gipsita moída e aquecida entre 190 e 200°, até que cerca de 75% da água tenha sido eliminada. (BORKERT PAVANCT; LANTMANN 1987).

O gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de fósforo e ferro, é largamente disponível em muitas partes do mundo. Somente no Brasil, cerca de 4,5 milhões de toneladas são produzidas anualmente (VITTI et al. , 1992).

A eficiência do gesso como corretivo é dependente da dissolução. Alguns dos fatores que influenciam a taxa de dissolução do gesso no solo são a granulométrica das partículas do gesso e o método de aplicação do corretivo (BARROS et al. , 2004).

Sua aplicação na superfície seguida por lixiviação para os solos ácidos resulta em melhor desenvolvimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas (SUMNER et al., 1986; CARVALHO; RAIJ, 1997).

A eficiência do gesso depende do tamanho da partícula: quanto menor maior a eficiência. O uso do gesso com diâmetro inferior a 2 mm tem sido recomendado, por ter a sua dissolução aumentada e reduzir a precipitação do cálcio, aumentando sua eficiência (CHAWLA; ABROL, 1982). Segundo ELSHOUT e KAMPHORSTA (1990) o tempo de recuperação parece aumentar com o tamanho da partícula. Além disso, a mineralogia predominante no solo também influi na correção: os solos com predominância de ilitas e montmorilonitas tendem a apresentar uma menor remoção do sódio trocável (CHAUDHRY; WARKENTIN, 1968).

ANJOS (1993) testando duas formas de aplicação de gesso: em água e incorporada na camada de 15 cm da superfície do solo, verificou não haver diferenças entre as formas de aplicação do corretivo na recuperação de um solo.

Segundo SANTOS (1995) quando os solos são corrigidos com gesso, devido à formação de fosfatos de cálcio insolúveis, ocorre redução nos teores de fósforo disponível e, por isto, quando esses solos são corrigidos, deve-se adotar práticas que reduzam a precipitação do fósforo.

O ânion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) presente no gesso é capaz de formar par iônico com cátions, inclusive  $\text{Ca}^{2+}$ , facilitando a movimentação descendente no perfil do solo (PAVAN; BINGHAM; PERVEA 1987; CAIRES et al., 1998). Além desse efeito na movimentação dos cátions, o gesso agrícola também atua na redução da toxidez do  $\text{Al}^{3+}$  em subsuperfície, função da presença de  $\text{SO}_4^{2-}$  e fluoreto ( $\text{F}^-$ ), ambos capazes de formar complexos com o  $\text{Al}^{3+}$ , reduzindo sua atividade e/ou disponibilidade em solução (SHAINBERG et al., 1989; CARVALHO; RAIJ, 1997).

RITCHEY et al. (1983) concluíram que a aplicação de corretivos ou de fertilizantes contendo sulfato pode, com o tempo, proporcionar lixiviação de íons de cálcio em quantidade suficiente para superar a sua deficiência, mesmo em camadas mais profundas.

Segundo PRADO e KORNDÖRFER (2003) misturando gesso com calcário têm-se alguns benefícios como: produto de melhores propriedades físicas; distribuição mais homogênea; maior facilidade na aplicação; a mistura (calcário + gesso) é mais econômica do que a aplicação individual.

#### **1.4 LIXIVIAÇÃO DE COMPONENTES NO SOLO**

A lixiviação é o processo pelo qual os elementos químicos do solo migram, de forma passiva, das camadas mais superficiais de um solo para as camadas mais profundas, em decorrência de um processo de lavagem devido à ação da água da chuva ou de irrigação, tornando-se indisponíveis para as plantas. Nas regiões de clima úmido, os solos tornam-se estéreis com poucos anos de uso, devido, em grande parte, aos efeitos da lixiviação. A lixiviação também ocorre em vazadouros e aterros de resíduos, quando são dissolvidos e carregados certos poluentes ali presentes para os corpos d'água superficiais e subterrâneos. (EMBRAPA, 2007).

A lixiviação é um processo natural na formação dos solos (MARIA et al., 1993) que contribui para o empobrecimento químico do mesmo (LEPSCH, 2002). Ela colabora para a perda de todos os tipos de nutrientes solúveis, principalmente potássio, nitrato, e sulfato. Os ânions são lixiviados do solo mais rapidamente que os

cátions, porque eles não se ligam as partículas de argila. Os íons nitrato lixiviados, em particular, têm poluído fontes superficiais e subterrâneas de água. O fosfato comumente é retido em superfícies de compostos contendo ferro, alumínio e cálcio, com os quais forma compostos insolúveis (RAVEN; EVER; EICHHORN, 2007).

Em regiões de clima úmido, grandes quantidades de chuva acarretam a lavagem progressiva de quantidades apreciáveis de bases (cálcio, magnésio, potássio e sódio) (LEPSCH, 2002). O principal processo de retirada destes elementos do perfil do solo é a lixiviação, através da água de percolação, que substitui as bases por hidrogênio e alumínio, intensificando a acidificação (MARIA et al., 1993).

A lixiviação de substâncias no solo e o arraste dessas substâncias pela água das chuvas, pode vir a contaminar diferentes cursos d'água (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

O estudo do processo de lixiviação de solutos no solo pode ser feito em campo usando lisímetros e em laboratório usando-se colunas de solo.

Os lisímetros têm sido utilizados por mais de três séculos para estudos das relações entre água, solo e plantas. Segundo KIRKHAM; GEE e JONES (1984), os lisímetros são estruturas destinadas a medir, de maneira precisa, eventos de precipitação, evaporação e drenagem. CAMPECHE (2002) comenta que, inicialmente, os lisímetros foram desenvolvidos para quantificação e qualificação da água do solo percolada em estudos hidrológicos.

Lisímetros são tanques enterrados no solo, as condições físicas do solo dentro do lisímetro precisam aproximar-se, tanto quanto possível, das condições do solo que lhe fica externo; e deve-se controlar o lençol freático dentro dele, de modo que não tornem as condições de umidade interna diferentes das do solo externo.

A vegetação plantada dentro do lisímetro deve ser da mesma espécie, altura e densidade da vegetação externa. Nunca se deve colocar um lisímetro dentro de uma área sem vegetação. O lisímetro deve ser instalado em uma área plana, homogênea em cultura e solo, de dois hectares, no mínimo. Lisímetro de percolação: Consiste em se enterrar um tanque, com as dimensões mínimas de 1,5 m de diâmetro por 1,0 m de altura, no solo, deixando a sua borda superior 5 cm a cima da superfície. Do fundo do tanque sai um cano que conduzirá a água drenada até um recipiente. O tanque tem que ser cheio com o solo do local

onde será instalado o lisímetro, mantendo a mesma ordem dos horizontes. No fundo do tanque, coloca-se uma camada de mais ou menos 10 cm de brita coberta com uma camada de areia grossa. Esta camada de brita tem a finalidade de facilitar a drenagem d'água que percolou através do tanque.

Depois de instalado, planta-se grama no tanque e na sua área externa. O tanque pode ser um tambor, pintado interna e externamente, para evitar corrosão, tanque de amianto ou um tanque de metal, pré-fabricado. Sendo o movimento da água no solo um processo relativamente lento, os lisímetros de percolação somente têm precisão para períodos mais ou menos longos. Eles precisam ser irrigados diariamente ou a cada dois dias, com uma determinada quantidade de água, de forma que a água percolada seja em torno de 10% do total aplicado nas irrigações. O “evapotranspirômetro de Thornthwaite” é um tipo de lisímetro de percolação.

Os lisímetros, quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração, principalmente quando os mesmos são preenchidos corretamente, pois, dessa forma, as camadas de solo no seu interior assemelham-se o máximo possível às camadas de solo da área externa (SILVA; FOLEGATTI; MAGGIOTTO, 1999).

Os lisímetros equipados com mecanismos de pesagem por células de carga são os mais modernos (SILVA; FOLEGATTI; MAGGIOTTO, 1999) e permitem a realização de medidas automatizadas com células de carga instaladas sob a caixa impermeável e são geralmente acopladas a um sistema de aquisição de dados, fornecendo resultados mais confiáveis, e possibilitam a obtenção de medidas em escala horária, representando grande vantagem em relação aos demais tipos de lisímetros (ALLEN et al., 1991).

Em laboratório os parâmetros que caracterizam o solo são controlados de forma mais precisa, embora reduza a amplitude de mudanças desses parâmetros.

MARIA et al., (2003) realizaram um estudo em colunas de solos montadas em laboratório, avaliando o movimento de cálcio, e de outros cátions, após aplicação de calcário agrícola, gesso, calcário calcinado e uma mistura de calcário agrícola e gesso, comparados com um tratamento testemunha, em dois Latossolos Vermelho escuros de texturas diferentes: média e argilosa. Utilizaram-se colunas de PVC, com 5 cm de diâmetro e 45 cm de altura, e aplicaram-se em cada coluna 1,8

litros de água, parcelados em quatro vezes. Determinaram-se os cátions trocáveis presentes na água percolada e, no final do experimento, em cinco profundidades de cada solo. Os resultados mostraram que nos tratamentos gesso e calcário mais gesso as quantidades de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  na solução percolada foram maiores, enquanto que os tratamentos calcário agrícola e calcário calcinado não promoveram perdas significativas de cátions. As maiores perdas ocorreram na primeira percolação no solo de textura média e na segunda no solo de textura argilosa. O gesso não modificou o pH dos solos, mas reduziu teores de bases no solo argiloso, enquanto que os calcários corrigiram o solo apenas próximo à camada de incorporação.

MEDA et al., (2002) desenvolveram estudos com de solo de diâmetro de 4 cm e 25 cm de altura em condições de laboratório, em Londrina, durante os anos de 1999 e 2000, utilizando-se o horizonte Bw de um Latossolo Vermelho. Foram aplicados na superfície do solo e lixiviados com três volumes de poros de água destilada, em tratamentos com calcário na superfície. Avaliaram-se as alterações no pH do solo e os teores de cátions trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) em camadas do solo de 5 cm e na solução efluente. A calagem superficial (sem extrato vegetal) aumentou o pH e o  $\text{Ca}^{2+}$  e diminuiu o  $\text{Al}^{3+}$  apenas no local de aplicação e, em menor intensidade, na camada de 5-10 cm. Os extratos de plantas e calagem superficial aumentaram o pH e reduziram Al até 20 cm de profundidade.

WADT, P.G.S. e WADT, L.H.O. 1999, estudaram a movimentação de cátions alcalinos e alcalinos terrosos em colunas de solo arrançadas com amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, coletadas a profundidade de 0 a 5cm sob dois tipos distintos de cobertura. Aplicaram-se carbonato de cálcio, sulfato de cálcio ou a mistura das duas fontes de cálcio às amostras superficiais, as quais foram colocadas a incubar e depois submetidas a sete aplicações de água destilada, na taxa de 1 volume-poro por semana, durante sete semanas consecutivas. O lixiviado foi recolhido semanalmente e analisado para cálcio, magnésio, potássio e sulfato solúveis. Nos solos, fizeram-se determinações dos teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis, e a determinação da acidez potencial a pH 7,0. A aplicação de sulfato de cálcio favoreceu o processo de lixiviação de potássio e magnésio, enquanto que a aplicação de carbonato de cálcio minimizou a lixiviação. Concluiu-se que a utilização de sulfato de cálcio para a correção da deficiência de cálcio em

subsolos ácidos deve ser acompanhada necessariamente da aplicação de carbonato.

RAMOS et al., (2006) utilizaram em seu estudo amostras de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico coletado sob mata natural com baixos teores de Ca e Mg trocáveis e acidez elevada. Foram montados lisímetros, divididos em 12 anéis de 5 cm, que foram preenchidos pelo solo amostrado, incorporando-se, no primeiro anel (0–5 cm), o equivalente a 500 e 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, na forma de silicato de cálcio (Wollastonita), silicato de Ca e Mg, termofosfato, calcário comercial (calcítico) e gesso agrícola, num delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. As colunas de solo foram incubadas por quarenta dias, aplicando-se o equivalente a 2.000 mm de água destilada (cinco vezes/semana) durante os quarenta dias de incubação. Determinaram-se o pH CaCl<sub>2</sub>, Ca e Mg trocáveis e Si disponível. O gesso aumentou os teores de Ca em todo o perfil do solo, mas não corrigiu a acidez. Os silicatos corrigiram a acidez do solo e aumentaram os teores de Ca trocável com maior eficiência que o calcário. A aplicação de silicato de Ca e Mg e de termofosfato aumentou a concentração de Mg no solo até à profundidade de 25 cm. O Si foi carregado até às camadas mais profundas dos lisímetros (55 cm), independentemente da fonte de Si utilizada.

### **1.5 ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA**

Alan Walsh descobriu que o fenômeno responsável pelas linhas de Fraunhofer poderia ser utilizado para a determinação de baixas concentrações de elementos metálicos. O método desenvolvido por Alan Walsh baseia-se na absorção de energia radiante por átomos neutros, não excitados, no estado gasoso. Esta quantidade de radiação absorvida é proporcional à quantidade de átomos presentes e, através do uso de fontes de radiação específica e seleção do comprimento de onda adequado, é possível determinar um elemento na presença de outros. Os átomos, necessários para a medição em absorção atômica, são produzidos através do fornecimento de energia térmica suficiente para dissociar os compostos químicos em átomos livres. Essa energia térmica pode ser fornecida através de uma chama (espectrometria de absorção atômica com chama) ou um forno aquecido eletricamente (espectrometria de absorção atômica com forno de grafite). (DANTAS, 1999.)

Um espectrômetro de absorção atômica é um instrumento constituído por:

- Uma fonte de energia radiante que gera a luz que é característica do elemento de interesse;
- Um atomizador para criar a população de átomos;
- Um monocromador para separar a luz no comprimento de onda característico do elemento de qualquer outra radiação;
- Um sistema óptico para direcionar o feixe de luz da fonte através dos átomos para o monocromador;
- Um detector sensível à luz;
- Um sistema eletrônico adequado que meça a resposta do detector e traduza essa resposta em uma medida analítica (exemplo: absorbância, concentração).

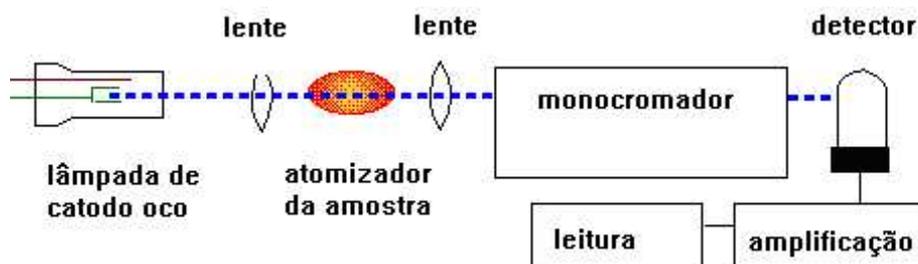


Figura 1 - Esquema de um instrumento de absorção atômica.

Fonte: DANTAS, E.S.K. Procedimentos analíticos em determinações multielementares de particulados de aerossol atmosférico para uso em modelo receptor. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

Para os instrumentos de absorção atômica, a fonte de luz deve emitir luz no mesmo comprimento de onda em que ocorre a absorção pelo átomo do elemento de interesse.

Isso pode ser obtido usando uma fonte de luz que emita o mesmo espectro atômico do elemento de interesse, uma vez que emissão e absorção ocorrem no mesmo comprimento de onda. Na maioria dos instrumentos de absorção atômica, a fonte de luz utilizada é a lâmpada de cátodo oco.

A espectrometria de absorção atômica consiste em aquecer uma solução do elemento que se deseja determinar a uma temperatura suficiente para a dissociação das moléculas. Tradicionalmente, a energia térmica necessária é fornecida por uma chama, embora atualmente exista o forno de grafite.

Uma grande variedade de misturas gasosas tem sido utilizada para a produção da chama. Foram estudadas muitas combinações combustível/oxidante que provaram ser inadequadas por uma razão ou outra (não utilizável analiticamente, segurança, custo ou conveniência). Na espectroscopia de chama atual, as misturas gasosas ar-acetileno e óxido nitroso-acetileno são as mais utilizadas nas análises.

A mistura gasosa ar-acetileno é a mais comumente utilizada nas análises. A temperatura alcançada pela chama é de aproximadamente 2300°C.

A técnica de Absorção Atômica é aplicada em: análises de águas (naturais, residuais, ultrapuras); indústria farmacêutica; bioquímica e toxicologia (análises clínicas, bioquímicas e toxicológicas); alimentos; vinhos; fertilizantes; derivados de petróleo (elementos metálicos em combustíveis minerais, traços metálicos em destilados de petróleo); plásticos e fibras sintéticas; rochas e solos; minerais; vidros, produtos cerâmicos; cimentos e na área metalúrgica. (DANTAS, 1992).

Várias técnicas analíticas têm sido utilizadas para efetuar a análise de nutrientes e metais pesados em solos, mas a Espectrometria de Absorção Atômica, oferece uma solução fácil e rentável para o problema. (THERMO ELEMENTAL, 2002).

ZANELLO (2006) através da espectroscopia de absorção atômica avaliou os teores de metais pesados nos solos (Cambissolo Háplico) do entorno do aterro sanitário de Curitiba, Paraná. Contudo, o nível de contaminação desses solos não foi muito expressivo, com base nos teores totais e trocáveis dos metais, devido a baixos teores de metais pesados no chorume, devido a teores de cátions divalentes e trivalentes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ ) saturando as cargas negativas das argilas e da matéria orgânica, o que dificulta a adsorção dos metais pesados adicionados ao solo via chorume, e devido aos solos com valores de pH inferiores a 6,0, o que favorece a mobilização e a lixiviação dos metais.

BARROS et al., (2008) avaliaram os teores de metais pesados utilizando a espectroscopia de absorção atômica em solos Cambissolo Háplico do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba Paraná. Observaram que o tipo de sepultura influenciou o potencial de poluição do solo por metais pesados, sendo o jazigo considerado o de maior risco de poluição ambiental, principalmente por Cr e Pb.

Com a mesma técnica CHAVES et al., (2009) avaliaram a adsorção de cobre e cádmio em amostras superficiais de Luvisolos e Cambissolos do Estado da Paraíba. Como base nos valores obtiveram que os Luvisolos têm maior capacidade de adsorver cádmio do que cobre, no entanto o elemento é retido com menor força de ligação, ficando mais sujeito a liberação para o meio ambiente. Já os Cambissolos, apresentam maior capacidade em adsorver cobre em relação ao cádmio.

Mendes et al., (2010) utilizaram a técnica de absorção atômica para avaliar o acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivado com meloeiro. Observaram acréscimos nos teores totais de Ni, Pb, Cu e Mn, na camada superficial em função do tempo de cultivo do solo, enquanto os teores totais de Fe e Zn foram reduzidos em ambas as camadas avaliadas.

## **1.6 EXTRAÇÃO SEQUENCIAL PELO MÉTODO DE TESSIER**

A especiação química é definida como um processo de identificação e quantificação das diferentes espécies, formas ou fases presentes no material ou na descrição dos mesmos. (DAVIDSON et al.,1994).

O principal objetivo da extração sequencial é medir seletivamente a distribuição de metais em sedimentos. Teoricamente, os reagentes, o tempo de extração e a relação entre solo e solução utilizados na extração sequencial são selecionados com o objetivo de solubilizar frações específicas da fase sólida com o mínimo de interferência nas demais frações. Apesar de existirem críticas aos métodos de extração sequencial de metais, sobretudo relacionado à possibilidade de readsorção e redistribuição de metais durante as extrações. (CANDELARIA; CHANG, 1997).

Diferentes métodos de extração sequencial têm sido propostos. Os esquemas de extração não são padronizados. A falta de uniformidade dos reagentes ou das condições experimentais torna muito difícil a comparação dos resultados. (ARUNACHALAM et al.,1996).

Um esquema largamente utilizado por pesquisadores é o procedimento desenvolvido por Tessier. (TESSIER; CAMPBELL; BISSON, 1979). Foi criado para a determinação de metais pesados em sedimentos, mas teve seu uso estendido por solos contaminados. (CALVET BOEGEOIS; MSAKY, 1990). Com sequência de

reagentes utilizados no método de Tessier determinam-se as seguintes frações: a trocável, a ligada a carbonatos, a ligada a oxi-hidróxidos de ferro e manganês, a ligada a matéria orgânica e a residual. (BECKETT, 1989).

A fração solúvel/trocável, presente na maioria dos procedimentos de extração sequencial é considerada a mais móvel e biodisponível das frações. (SASTRE; VICENTE; LOBO 2001).

Em geral, essas frações são obtidas por soluções salinas diluídas, tais como cloreto de magnésio ou acetato de sódio. (LUM; BETTERIDGE; Mc DONALD, 1982)

Dentre suas limitações, o uso de extrações sequenciais (especiação) resulta em informações sobre a forma química da origem, forma de ocorrência, disponibilidade física, química e biológica, mobilização e transporte de metais em sedimento.

## 1.7 ANÁLISES QUÍMICAS

### 1.7.1 pH

O termo pH define a acidez ou a alcalinidade relativa de uma solução. A escala de pH cobre uma amplitude de 0 a 14 (Figura 2). Um valor de pH igual a 7,0 é neutro, ou seja, as atividades dos íons  $H^+$  e  $OH^-$  na solução são iguais. Valores abaixo de 7,0 são ácidos (predomina o  $H^+$ ) e acima de 7,0 são básicos (predomina o  $OH^-$  na solução do solo). Na maioria dos solos o pH da solução do solo (fase líquida do solo) varia entre os valores de pH 4, e 9,0. (LOPES, 1989).

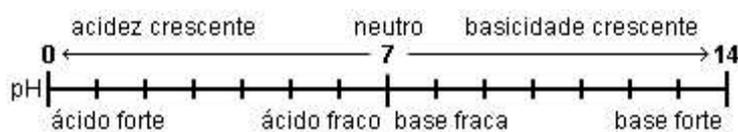


Figura 2: Escala de pH  
Fonte: Neta, M., 2002

LOPES (1989) afirma que quando saturado com  $H^+$ , um solo comporta-se como um ácido fraco. Quanto mais  $H^+$  for retido no complexo de troca, maior será a acidez do solo. O alumínio também age como um elemento acidificante e ativa o  $H^+$ . Os íons básicos, tais como  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , tornam o solo menos ácido (mais básico).

LOPES (1989), explica que o pH do solo simplesmente mede a atividade do íon hidrogênio e é expresso em termos logarítmicos. O significado prático da relação logarítmica é que cada unidade de mudança no pH do solo significa uma mudança

de dez vezes no grau de acidez ou de alcalinidade. Isto quer dizer que um solo com pH 6,0, tem um grau de acidez 10 vezes maior do que um solo com pH 7,0, ou seja, 10 vezes mais  $H^+$  ativo.

Segundo o mesmo autor citado acima, o grau de acidez ou de alcalinidade do solo é influenciado pelos tipos de materiais de origem. Os solos desenvolvidos de rochas de origem básica (basalto, diabásio, gabro) geralmente possuem valores de pH mais altos do que aqueles formados de rochas ácidas (granito, riolito).

### **1.7.2 FÓSFORO**

O fósforo forma ânions complexos com o oxigênio, mas a maioria dos fosfatos é quase insolúvel em água. A baixa solubilidade dos fosfatos é uma limitação severa na disponibilidade de fósforo. A camada arável contém geralmente menos de 0,5 kg de fósforo na solução do solo, apresentando um teor total de fósforo, aproximadamente,  $1.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Por outro lado a baixa solubilidade é uma vantagem. As perdas de lixiviação são pequenas. (TROEH e THOMPSON, 2007).

O fósforo ocorre nas formas mineral e orgânico. O fósforo da matéria orgânica é parte da estrutura dos compostos. Tal fósforo pode participar de reações químicas, mas não obstante prende-se firmemente no lugar e não fica disponível às plantas até que a matéria orgânica se decomponha. (KUCEY, 1993).

O fósforo inorgânico vem do mineral apatita,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ . A apatita ocorre em cristais minúsculos de forma dispersa em rochas ígneas. Pode ser uma quantidade infinitesimal incluída dentro de um cristal de outro mineral. A solução do solo vem em contato com o fósforo, enquanto as rochas e os minerais se decompõem. O fósforo dissolve-se em solução se a mesma for suficientemente reativa com o fósforo. (TROEH e THOMPSON, 2007).

### **1.7.3 POTÁSSIO**

Encontra-se no solo na forma iônica,  $K^+$ , em solução e como cátion trocável. (VIEIRA; PASSARELLI, 1996). O  $K^+$  que se encontra adsorvido nos colóides do solo pode ser removido por soluções de sais neutros em tempo relativamente curto. (MELLO; BRASIL SOBRINHO; ARZOLLA 1998).

Solos com baixa CTC perdem  $K^+$  com relativa facilidade, fazendo com que haja infiltração do mesmo. (MELLO; BRASIL SOBRINHO; ARZOLLA 1998).

Aparentemente, sob certas circunstâncias, o potássio disponível pode ter sua quantidade aumentada após a calagem, mas o inverso é frequentemente verdade. O fertilizante de potássio pode ser necessário nos dois casos, pois a calagem aumenta o crescimento das plantas e assim aumenta a demanda de potássio.

REITEMEIER (1951) citou pesquisas no Hawaii, New York e Alabama onde a adição de  $\text{Ca}^{2+}$  em solos ácidos melhorou a disponibilidade de  $\text{K}^+$ . Os íons de  $\text{Ca}^{2+}$  são fortemente atraídos pela permuta de cátions que os íons de  $\text{K}^+$ , a adição de calcário pode, assim, levar o  $\text{K}^+$  trocável para a solução do solo. A calagem pode aumentar a disponibilidade de potássio por pouco meses ou anos se a argila presente for a caulinita. Este aumento será eventualmente consumido pela lixiviação e crescimento das plantas. A fixação de potássio absorve os íons e  $\text{K}^+$ , então, por isso uma diminuição, em vez de um aumento é observada se a argila de esmectita estiver presente. (MAGDOGG; BARLETT, 1980).

#### **1.7.4 CARBONO ORGÂNICO**

A matéria orgânica representa a principal fonte do total da reserva de carbono terrestre, nela excedendo drasticamente a quantidade de carbono estocada (ZECH et al., 1997). Por isso, tem um papel fundamental nas funções que a matéria orgânica exerce sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. (DIEKOW, J. et al., 2004).

#### **1.7.5 CÁLCIO**

O cálcio ocorre em solos e plantas como cátion divalente  $\text{Ca}^{2+}$ . Alguns minerais de cálcio como a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e o gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) possuem solubilidades muito baixas. (TROEH; THOMPSON, 2007).

Teores muito baixos de cálcio ocorrem em solos altamente lixiviados com baixa capacidade de permuta de cátions, especialmente em solos tropicais altamente intemperizados que contêm na sua maioria óxidos e argilas.

RITCHEY, SILVA e COSTA (1982) relataram que as pesquisas em solo no Brasil Central localizaram muitos solos com menos de 0,2 meq de (Ca + Mg) trocáveis do solo. O crescimento radicular e produtividade eram restritos nestes solos, mas ambos foram normalizados onde fertilizantes de cálcio foram

adicionados. Um pouco de cálcio adicionado pode até mesmo ser lixiviados para subsolos mais profundos de solos tropicais, mas é provável que a maioria deles seja perdida do perfil. DIEROLF, AYRA E YOST (1997) descobriram que 5% dos fertilizantes de cálcio que eles adicionaram em um solo Indonésio desceu entre 30 e 90 cm de profundidade e 26% dele foram perdidos, provavelmente por lixiviação através de macroporos.

O cálcio trocável no solo possui uma importante relação com o pH do solo e com disponibilidade de vários outros elementos nutrientes. As quantidades de cálcio ou de outros cátions básicos presentes no solo declinam à medida que o solo torna-se mais ácido e aumentam quando ele se torna mais alcalino. Um excesso de cálcio causa a precipitação de carbonato de cálcio e tampona o pH para um valor próximo de 8. O excesso de cálcio geralmente resulta baixa solubilidade de fósforo, ferro, manganês, boro e zinco e algumas vezes causam deficiências de um ou mais desses nutrientes essenciais. (TROEH; THOMPSON, 2007).

#### **1.7.6 MAGNÉSIO**

O íon de magnésio,  $Mg^{2+}$  é quimicamente similar ao íon de cálcio de  $Ca^{2+}$ . Entretanto, existem diferenças importantes no comportamento desses íons minerais e nas plantas.

O íon não hidratado de  $Mg^{2+}$  é pequeno o suficiente para se encaixar em espaços octaédricos em estruturas minerais, enquanto o íon de  $Ca^{2+}$  requer espaços maiores. Os íons de magnésio comportam-se de forma similar aos íons de cálcio quando eles estão no complexo de solução do solo de permuta de cátions do que quando estão em minerais ou plantas, mas o íon de  $Mg^{2+}$  hidrata-se formando um íon maior que o  $Ca^{2+}$  e, então, é absorvido menos fortemente pelo complexo de permuta de cátions. Entre 12 a 18% das bases trocáveis são normalmente íons de  $Mg^{2+}$ , esta quantidade é colocada em segundo lugar apenas pelos 75-85% representada pelos íons de  $Ca^{2+}$ . (TROEH; THOMPSON, 2007).

O magnésio é lixiviado de forma muito lenta, mas não tão lentamente quanto o cálcio. Sob intensa condição de lixiviação na Indonésia, DIEROLF, AYRA E YOST (1997) descobriram que 24 % do fertilizante de magnésio que eles aplicaram em solo desceram para profundidade de 30-90 cm e 8% foram perdidos, provavelmente por lixiviação por macroporos.

### 1.7.7 ALUMÍNIO

Quando o solo é muito ácido, o alumínio que está preso nos minerais da argila dissolve-se no solo como partículas tóxicas e eletricamente carregadas, chamadas de íons, tornando difícil o crescimento da maioria das plantas. Ainda, a toxicidade do alumínio em solos ácidos limita a produção de grama e grãos em mais da metade das terras agricultáveis na África, Ásia e América do Sul. (FOY, 1988).

O alumínio ( $Al^{+3}$ ) solúvel em excesso é tóxico às plantas. Uma quantidade pequena de  $Al^{+3}$  em solução no solo já é suficiente para causar danos no gramado. As gramíneas não conseguem tolerar mais do que 1,0 ppm de  $Al^{+3}$  em solução, e geralmente sofrem problemas quando o nível é de 0,5 ppm. O problema mais comum é o atrofiamento do crescimento das raízes da planta. Com 0,5 ppm, o sistema radicular pode-se atrofiar em até mais de 50% comparado ao solo sem alumínio solúvel presente.

Outros sintomas da toxicidade do  $Al^{+3}$  são:

- Redução da disponibilidade do fósforo, pela formação de componentes Al-P.
- Redução da disponibilidade de enxofre, pela formação de componentes Al-S.
- Redução da disponibilidade de outros nutrientes cátions, pela interação competitiva.

Fisiologicamente, acredita-se que o  $Al^{+3}$  causa impacto no metabolismo de fosfatos/nucleotídeos, na estrutura e função das paredes das células, na membrana transportadora, entre outros. (DELHAIZE e RYAN, 1995).

O alumínio solúvel no solo é um sério problema em solos com pH abaixo de 5. Entre 5 e 5,5 o alumínio solúvel provavelmente causará problemas, mas que não serão tão severos. Em geral, o  $Al^{+3}$  é mais severo em pHs abaixo de 5,5 em solos com baixa saturação de base e com baixo nível ou deficiência de cálcio e magnésio. Com pHs maiores que 5,5, o alumínio solúvel não será uma preocupação para o crescimento do gramado sobre a maioria, se não todos, os tipos de condições. (FOY, 1988)

A disponibilidade de  $Al^{+3}$  não é totalmente compreendida. Apesar disto, em adição ao pH do solo, a quantidade total de  $Al^{+3}$  presente em um determinado tipo

de solo, a quantidade e o tipo de argila presente no solo e a matéria orgânica presente afetam grandemente a sua disponibilidade. (EVANS; KAMPRATH, 1970).

A calagem é a prática mais comumente recomendada para solos com alto nível de alumínio solúvel. Através da calagem busca-se aumentar o pH do solo para que o alumínio solúvel não esteja presente. Em gramados estabelecidos, a calagem é feita apenas na superfície do solo e apenas afeta uns poucos centímetros superiores. Se houver  $Al^{+3}$  solúvel a ser combatido mais profundamente no solo, uma opção é a aplicação de gesso ( $CaSO_4$ ). O gesso não é um agente de calagem, e não pode neutralizar o ácido, mas o cálcio aplicado como gesso é um cátion competitivo ao  $Al^{+3}$ , que pode permitir a lixiviação do  $Al^{+3}$  para camadas mais profundas do solo, desde que água suficiente atravesse a zona radicular. (EVANS; KAMPRATH, 1970)

#### **1.7.8 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC)**

As partículas (colóides) do solo apresentam cargas elétricas negativas e / ou positivas, sendo que as diferenças entre estas cargas induzem à retenção de cátions ou ânions. Este fenômeno, de extrema importância na natureza, é denominado troca ou adsorção iônica, podendo ser catiônica ( $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ , etc.) ou aniônica ( $NO_3^-$ ,  $PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , etc.). (LOPES, 1992).

Como nos solos, em geral, predominam as cargas negativas, os estudos envolvendo CTC são muito mais abundantes do que aqueles sobre CTA (capacidade de troca aniônica).

Cátions retidos (adsorvidos) nos colóides do solo podem ser substituídos por outros cátions. Isto, em termos práticos, significa que eles são trocáveis. O cálcio pode ser trocado por hidrogênio e, ou, potássio, ou vice-versa. O número total de cátions trocáveis que um solo pode reter (a quantidade de sua carga negativa) é chamado de sua Capacidade de Troca (adsorção) de Cátions ou CTC. Quanto maior a CTC do solo, maior o número de cátions que este solo pode reter. Outra maneira de se definir CTC é que este parâmetro indica a quantidade de íons positivos (cátions) que o solo é capaz de reter em determinadas condições e permutar por quantidades estequiométricas equivalentes de outros cátions (íons de mesmo sinal), e é função da intensidade de cargas negativas que se manifesta nos colóides.

A CTC do solo é expressa em termos de quantidade de carga que os colóides podem reter por unidade de peso ou volume, sendo este último mais frequente em análises de rotina. Infelizmente, não existe uniformidade na forma de se expressar a CTC do solo o que pode levar a uma grande confusão, principalmente para os usuários pouco familiarizados com as modificações recentes nas unidades de expressão dos resultados de análise de solo. (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002). Em geral, nas análises de rotina para avaliação da fertilidade do solo, inclusive nas análises de terra de agricultores, a CTC é expressa em termos de centimol de carga por  $\text{dm}^3$  ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ) ou milimol de carga por  $\text{dm}^3$  ( $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ ). O termo  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  equivale, em valores numéricos, ao antigo miliequivalente por  $100 \text{ cm}^3$  ( $\text{meq}/100 \text{ cm}^3$ ). Em geral, nos trabalhos de Pedologia e na descrição dos perfis de solos, a expressão dos resultados é em  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  ou  $\text{mmol}_c/\text{kg}$ . (LOPES, 1992).

O poder de retenção de cátions pelo solo pode ser afetado pelo teor de argila e matéria orgânica presente, quanto maior a quantidade destes mais altos os valores de CTC encontrados, também é maior a quantidade de retenção de nutrientes e umidade no solo.

O estudo da CTC é de grande importância na verificação da capacidade de retenção e permuta de elementos percolados nos diferentes pontos do solo, bem como sua maior ou menos lixiviação do mesmo.

#### **1.7.9 ACIDEZ POTENCIAL OU ACIDEZ TOTAL**

Refere-se ao total de  $\text{H}^+$  em ligação covalente mais  $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis, sendo usada na sua determinação uma solução tamponada a pH 7,0. Muitos laboratórios e rotina em fertilidade do solo, no Brasil, já incorporaram a determinação do  $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{3+}$ , com todas as implicações benéficas do conhecimento e utilização deste parâmetro. (LOPES, 1992).

#### **1.7.10 SOMA DE BASES (S)**

Este atributo, como o próprio nome indica, reflete a soma de cálcio, magnésio, potássio e, se for o caso, também o sódio, todos na forma trocável, do complexo de troca de cátions do solo. Enquanto os valores absolutos dos resultados das análises destes componentes refletem os níveis destes parâmetros de forma

individual, a soma de bases dá uma indicação do número de cargas negativas dos colóides que está ocupado por bases. A soma de bases, em comparação com a CTC efetiva e Al trocável, permitem calcular a percentagem de saturação de alumínio e a percentagem de saturação de bases desta CTC.

$S = \text{Soma de bases trocáveis} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{Na}^+)$ , com valores expressos em  $\text{cmolc/dm}^3$  ou  $\text{mmolc/dm}^3$ . (LOPES, 1992).

#### **1.7.11 SATURAÇÃO POR BASES (V)**

A soma dos teores de cátions presentes na forma trocável de um solo é denominada como soma das bases trocáveis, esta por sua vez indica o número de cargas negativas dos colóides que está ocupado por cátions. A soma destes, em comparação com a CTC efetiva, permite calcular a percentagem de bases. (MELLO; BRASIL SOBRINHO; ARZOLLA 1998).

O cálculo da porcentagem de saturação de bases reflete quantos por centos dos pontos de troca de cátions do complexo coloidal estão ocupados. (LOPES, 1992).

#### **1.7.12 SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO**

É expressa a fração ou quantos por cento da CTC efetiva estão ocupados pela acidez trocável ou Al trocável. Em termos práticos, reflete a percentagem de cargas negativas do solo, próximo ao pH natural, que está ocupada por Al trocável. É uma outra forma de expressar a toxidez de alumínio. Em geral, quanto mais ácido é um solo, maior o teor de Al trocável em valor absoluto, menores os teores de Ca, Mg e K, menor a soma de bases e maior a percentagem de saturação por alumínio. O efeito detrimental de altos teores de Al trocável e, ou, da alta percentagem de saturação por alumínio no desenvolvimento e produção de culturas sensíveis a este problema é fato amplamente comprovado pela pesquisa. (RIBEIRO, 2008).

### **1.8 OS CAMBISSOLOS**

Os Cambissolos são definidos pela Classificação de Solos como um solo mineral com horizonte B incipiente, "Bi" (OLIVEIRA, 2001), ou seja, pouco desenvolvido, apresentam certo grau de evolução do horizonte B, suficiente para o desenvolvimento de cor ou estrutura, porém, não o suficiente para alterar

completamente minerais primários de fácil intemperização (RESENDE; CURI; SANTANA, 1988; OLIVEIRA, 2001).

Um típico horizonte B, horizonte diagnóstico da classe dos Cambissolos, apresenta algumas das seguintes características: CTC, teores apreciáveis de minerais primários facilmente intemperizáveis, altos teores de silte em relação a argila. (RESENDE; CURI; SANTANA, 1988; CURCIO, 1994).

Os Cambissolos da região Centro-Sul do Paraná foram formados a partir de rochas sedimentares pertencentes à formação Teresina, constituída por argilitos, folhelhos, siltitos e arenitos muito finos. (BENASSI, 2008).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, os Cambissolos apresentam a seguinte classificação: húmicos, flúvicos e háplicos.

O solo Cambissolo Háptico em estudo se caracteriza por não possuir o teor de carbono necessário para ser enquadrado em Húmico e não ser de origem de rios para ser enquadrado como Fúlvico, este solo poderia ser considerado como Alumínico, caracterizado pelo teor de  $Al^{3+} > 4$  cmolc/kg, e saturação por alumínio acima de 50% (BENASSI, 2008).

## **CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Estudar em laboratório a mobilidade de íons, decorrentes da aplicação de corretivos de solos, utilizando amostras de solo do tipo Cambissolo Háplico.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar experimento de laboratório usando amostras de solo em colunas para observar a movimentação íons em solos.
- Determinar a movimentação de íons, em amostras de solo, decorrentes da aplicação de calagem e gessagem.
- Analisar a lixiviação de micronutrientes em amostras de solo após aplicação de água simulando precipitação pluviométrica.
- Analisar resultados obtidos através das técnicas de análises químicas básicas e espectrometria de absorção atômica das amostras de solo.
- Analisar a neutralização de pH e Alumínio trocável em função da profundidade em consequência da aplicação dos produtos calcário e gesso agrícola.
- Comparar os resultados da aplicação de calagem, gessagem e gessagem – calagem em função da lixiviação dos produtos.

## CAPÍTULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 O EXPERIMENTO

O solo em estudo provém da região Centro-Sul do Paraná, especificamente no município de Irati, localizado no segundo planalto paranaense. A região está situada sobre rochas sedimentares da formação Teresina. O clima da região é do tipo Cfb (mesotérmico úmido), conforme Köppen, com precipitações médias e temperatura média variando entre 14° e 18 °C (MINEROPAR, 2004; BENASSI, 2008).

Utilizou-se o horizonte Bi de um Cambissolo Háplico, coletado em área de vegetação nativa, com as seguintes coordenadas: S 25° 27' 22,2 S e W 50° 45' 51,9S. Nesta região este horizonte é superficial em consequência de intemperismos.

O experimento foi conduzido no laboratório do grupo de Física Aplicada a Solos e Ciências Ambientais (FASCA) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, moídas e peneiradas (malha de 2 mm).

O experimento instalado em laboratório contou com quatro tratamentos: duas fontes de cálcio (calcário agrícola, gesso agrícola), uma mistura das fontes gesso e calcário agrícola e uma testemunha, sem qualquer adição, todos com três repetições. As fontes de cálcio utilizadas e suas respectivas análises estão na Tabela 1.

Tabela 1: Análise Química e granulométrica das fontes de cálcio aplicadas.

	CaO	MgO	S	PRNT
%				
Calcário agrícola (CaCO <sub>3</sub> )	30,3	22,4		95,2
Gesso (CaSO <sub>4</sub> )	19,0		27,0	

A dose de calcário agrícola adicionada foi calculada como sendo a necessidade de calagem para elevar a saturação por bases a 70%, segundo a equação apresentada por RAIJ (2008) e a dose da outra fonte de cálcio (gesso

agrícola) foi calculada em função da quantidade de CaO equivalente à aplicada como calcário. Sendo 12,46 t/ha de calcário e 3,11 t/ha de gesso agrícola.

As colunas foram montadas em tubos de PVC de 8 cm de diâmetro e 35 cm de comprimento. No interior das quais se aplicou parafina derretida para aumentar a rugosidade e evitar o fluxo preferencial de água pelas bordas. Cada coluna foi seccionada transversalmente, formando anéis para facilitar a retirada do solo ao final do experimento.

Na base inferior da coluna foram colocados papel de filtro e uma tela de metal, que tiveram como finalidade sustentar o solo da coluna e permitir a passagem apenas da solução do solo. A aplicação de água às colunas foi feita com auxílio de conta gotas de soro, colocadas na base de garrafas plásticas, de modo que a água fosse adicionada lentamente no centro da coluna, evitando fluxo pelas paredes laterais. O percolado foi coletado em provetas, acopladas à base da coluna (Figura 5).

As colunas de solo foram montadas com auxílio de um funil de haste longa, para que a terra fosse distribuída de maneira a mais uniforme possível. Para cada coluna foram utilizados 1200 g de TFSA, obtendo-se uma altura de 35 cm. Os cinco centímetros da parte superior de cada coluna não continham solo, para facilitar a adição de água por ocasião das percolações.

Os corretivos foram misturados com 200 g de solo e colocados na parte superior de cada coluna, correspondendo aos 6 cm superficiais. A quantidade de água deionizada adicionada a cada coluna simulou o regime hídrico típico da estação primavera-verão da região de Irati. A precipitação média anual é 1245 mm, e nos meses de setembro a fevereiro, a precipitação é de 900 mm. Baseado nisso, o volume total de água destinado a cada coluna foi de 1,35 L, aplicados parceladamente, em três percolações de 450 ml, uma a cada 15 dias.

Após 45 dias, as colunas foram desmontadas, separando-se a terra de cada anel, que foi seca ao ar, moída e passada em peneiras com malha de 2 mm de diâmetro. Dividiu-se a coluna em 8 anéis: o primeiro com um comprimento de 5 cm que foi usado para facilitar a adição de água na coluna, o segundo com 6 cm que foi denominado como 1s para coluna 1 com tratamento testemunha, 2s coluna 2 tratamento com calcário agrícola, 3s coluna 3 tratamento com gesso agrícola, 4s coluna 4 tratamento com a mistura de gesso agrícola e calcário agrícola. Que

corresponde a superfície onde houve a adição do corretivo com o solo. As outras camadas estão representadas na Figura 3.

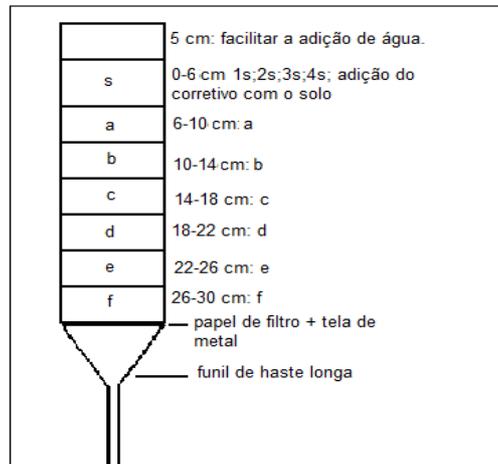


Figura 3: Esquema das divisões da coluna de solo.  
Fonte: autoria própria, 2010.

Após foram realizadas as seguintes análises: pH, C, Ca, Mg,  $Al^{3+}$  trocáveis, teores extraíveis de P e K, H + Al (acidez potencial), S (soma de bases) e T (capacidade de troca de cátions), saturação por bases (V), saturação por alumínio (Al), e metais facilmente trocáveis (Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, Fe e Mn).



Figura 4: Sistema utilizado para aplicação de água nas colunas de solo.  
Fonte: autoria própria, 2010.

### 3.2 ANÁLISES QUÍMICAS

A análise de pH foi realizada potenciometricamente em suspensão solo-solução. Na amostra do solo foi adicionada solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol/L. Foi misturada em agitador magnético Tecnal, e deixado em repouso. Logo após houve a realização da leitura do pH utilizando o pH-metro Micronal B-221.

Para a análise do fosfato foi adicionada a amostra uma solução do extrator Mehlich-1 ( $\text{HCl}$  0,05 mol/L e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 mol/L). Em seguida, misturado em agitador magnético Tecnal, permanecendo em repouso. Após este período foi retirada uma alíquota do sobrenadante da solução e a ela adicionado molibdato de amônio e ácido ascórbico. A mistura foi homogeneizada e deixada em repouso para o desenvolvimento da cor azul. Foi realizada a determinação espectrofotométrica, utilizando espectrofotômetro Perkin-Elmer Jr com leitura de absorvância em 600 nm.

Na determinação de potássio foi adicionada à amostra uma solução de Mehlich-1. Misturando em agitador magnético Tecnal, e deixado em repouso. Foi realizada a filtragem da amostra em papel de filtro quantitativo JP 40 para posterior análise. A determinação do K foi feita por Emissão Atômica de Chama, utilizando aparelho fotômetro de chama Micronal B-262.

Para a determinação de carbono orgânico foi adicionada à amostra uma de solução de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, agitando-a e deixando-a em repouso. Após foram adicionados água deionizada,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  concentrado, e solução indicadora de difenilamina,  $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{N}$  a 1 % (m/v). Depois desse procedimento foi titulada com solução indicadora de sulfato ferroso,  $\text{FeSO}_4$  mol  $\text{L}^{-1}$ .

A quantidade de cátions trocáveis foi determinada pelas seguintes etapas sequenciais: primeiro foi feita a extração misturando-se 10  $\text{cm}^3$  de TFSA, 100  $\text{cm}^3$  de cloreto de potássio (KCl) 1mol/L e um repouso de 30 minutos. Após foi feita uma agitação por 15 minutos até a obtenção de um sobrenadante límpido e em seguida a quantificação do que foi extraído no sobrenadante (EMBRAPA, 1997).

A determinação de cálcio e magnésio foi feita por titulação com ácido etilenodiaminotetracético (EDTA Sódico). Primeiro foi feita a determinação de cálcio e magnésio conjunta, depois a quantidade de cálcio, sendo o magnésio obtido por diferença (EMBRAPA, 1997).

A determinação do alumínio trocável foi feita por titulação ácido-base. O titulador utilizado foi o hidróxido de sódio e o indicador, fenolftaleína. Ao se gotejar a

solução de hidróxido de sódio no extrato (íons de alumínio extraídos pelo cloreto de potássio), forma-se hidróxido de alumínio, o qual é insolúvel. Quando todos os íons de alumínio são consumidos, a próxima gota de hidróxido de sódio alcaliniza o extrato e a fenolftaleína torna-se rosa indicando o fim da reação. A solução de hidróxido de sódio é feita com uma concentração ajustada para fazer corresponder o volume gasto na titulação à quantidade de alumínio presente no solo, não sendo necessários cálculos posteriores à leitura (EMBRAPA, 1997).

A acidez potencial trocável (H+Al) foi determinada utilizando um extrator acetato de cálcio, pH 7,0, na proporção 1:20 (10 cm<sup>3</sup> de TFSA com 200 cm<sup>3</sup> de extrator). Após a agitação de quinze minutos com os frascos bem vedados para que não houvesse alterações no pH causadas por contaminação com gás carbônico atmosférico, aguardou-se a decantação. A titulação foi feita com hidróxido de sódio na presença de fenolftaleína e a sua concentração ajustada para que o volume gasto correspondesse ao teor de (H+Al) do solo (EMBRAPA, 1997).

A Capacidade de troca de cátions (CTC) foi calculada pela soma dos cátions metálicos trocáveis (S) + (H +Al).

A Soma das Bases (S) reflete a soma de cálcio, magnésio, potássio, todos na forma trocável.

A Saturação por Bases (V) reflete quantos por cento dos pontos de troca de cátions do complexo coloidal do solo estão ocupados por bases, ou seja, quantos por cento das cargas negativas, estão ocupados por Ca, Mg, K e, em comparação com aqueles ocupados por H e Al.

$$V\% = \frac{100 \times S}{T} = \frac{100 \times (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{Na}^+))}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{Na}^+) + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}},$$

com os componentes expressos em cmolc/dm<sup>3</sup> ou mmolc/dm<sup>3</sup>.

A Saturação por Alumínio (Al) é expressa com a fração ou quantos por cento da capacidade de troca de cátions estão ocupados pela acidez trocável ou Al trocável.

m% = Porcentagem de saturação por Al =

$$\frac{100 \times \text{Al}}{T} \quad \text{ou,} \quad \frac{100 \times \text{Al}^{3+}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Al}^{3+}}$$

com os componentes expressos em  $\text{cmolc/dm}^3$  ou  $\text{mmolc/dm}^3$ .

### **3.3 ANÁLISE DE ESPECTROSCOPIA POR ABSORÇÃO ATÔMICA**

#### **3.3.1 ESPÉCIES METÁLICAS**

Foi utilizado o método de extração proposto por Tessier, modificando com substituição do extrator 1, de  $\text{MgCl}_2$  1mol/L e pH 7, para NaOAc (acetato de sódio) 1mol/L e pH 8,2. As extrações seletivas foram realizadas em tubos de centrífugas para minimizar as perdas do material sólido, a separação foi feita em uma centrífuga á 20000 rpm, durante 10 minutos. O sobrenadante foi retirado com micropipeta para análise.

Foram verificados os teores extraíveis de Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, Fe e Mn.

Os teores das espécies metálicas presentes nas soluções resultantes foram analisados por espectroscopia de absorção atômica utilizando o aparelho Varian Spectra AA 240FS.

As análises foram realizadas no Laboratório Multiusuário 13 do campus de Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados referente aos tratamentos feitos para o Cambissolo Háplico horizonte Bi, onde o horizonte é superficial em consequência de intemperismo, na região de Irati Paraná, onde o solo foi coletado. Os resultados são apresentados na forma de gráficos com inserção os desvios médios dos experimentos. Estes desvios são menores que 5% em todas as colunas. Primeiramente serão apresentadas e discutidas as análises químicas o que observa-se um solo com um pH baixo, pobre em bases trocáveis, com uma alta saturação de alumínio. Destaca-se o papel do gesso agrícola que torna a ação corretiva do calcário acessível a camadas inferiores. Após é apresentado os dados referentes aos metais extraíveis medidos através da espectroscopia de absorção atômica, onde pode-se observar maior mobilidade desses metais em razão da aplicação dos produtos ao solo.

### 4.1 pH

No gráfico 1 observa que a ausência de corretivos o valor médio de pH é aproximadamente 3,70 sem alterações em relação a profundidade devido a possível lixiviação de bases trocáveis.

A adição de calcário agrícola aumentou cerca de 57% o valor de pH da primeira camada, e na camada seguinte apresentou um pequeno aumento de 2,7% as demais camadas não tiveram alterações de pH, indicando a dificuldade de lixiviação do calcário.

Para que a neutralização da acidez ocorra em profundidade, os produtos da dissociação do calcário devem ser arrastados para as camadas inferiores. Porém, enquanto existirem cátions ácidos ( $H^+$ ,  $Al^{3+}$  e  $Fe^{3+}$ ) a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial, retardando o efeito na subsuperfície (RHEINHEIMER et al., 2000). Os íons  $OH^-$  e  $HCO_3^-$  provenientes da dissociação do calcário, são rapidamente consumidos pelos cátions ácidos e somente migram para porções inferiores em  $pH > 5$ .

Assim como no presente estudo, AMARAL e ANGHINONI (2001) analisando um Argissolo Vermelho distrófico, com necessidade de calcário de  $9,6 t ha^{-1}$ , e precipitação média anual de 1.440 mm, não observaram efeitos significativos de

redução de acidez em profundidade pela aplicação de calcário isolado em 60 dias. O mesmo ocorreu com AMARAL et al., (2004) que analisou um Cambissolo Húmico Alumínico Léptico Argiloso num período de 70 dias, com necessidade de calcário de  $9,9 \text{ t ha}^{-1}$ , valores de pH e de acidez potencial não sofreram redução drástica durante os 18 meses após a aplicação.

PETREIRE e ANGHINONI (2001), notaram que o pH foi aumentado até a camada de 15 cm, após 42 meses da aplicação de calcário em campos nativos, sob sistema de plantio direto, num Latossolo Vermelho distrófico com doses de 0, 2, 4 e  $6 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário. CAIRES et al., (2002) observaram que o pH aumentou até a profundidade de 60 cm após 92 meses da aplicação do calcário num mesmo tipo de solo.

Após 42 meses da aplicação da dose total de calcário em superfície, CAIRES et al. (2004) notaram aumentos significativos no pH somente na camada de 0-10 cm, em um Latossolo Vermelho distrófico com a  $9 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário. CIOTA et al. (2004) concluíram que, ao estudar um Latossolo Bruno Alumínico Câmbico após 4 anos da reaplicação superficial de calcário dose de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , o pH foi elevado até uma profundidade de 15 cm.

A adição de gesso agrícola, observa-se um aumento de pH de 3,5% somente na primeira camada. O gesso, como esperado, não foi eficaz na correção da acidez do solo nas colunas de lixiviação, por ser um condicionador de solo e não um corretivo da acidez do solo (ALCARDE; RODELLA, 2003).

Resultados de alguns trabalhos, em que o pH é alterado pela aplicação de doses de gesso (PAVAN et al., 1984, DAL BÓ et al., 1986; CARVALHO; RAIJ, 1997; CAIRES et al., 1999) são atribuídos a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas do solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, em que o sulfato desloca a hidroxila, fazendo com que haja uma neutralização parcial da acidez (CHANG; THOMAS, 1963). Por outro lado, a não alteração de pH com o uso do gesso deve-se, possivelmente, a característica do sulfato não ser um aceptor de prótons nas condições do solo.

A mistura de calcário agrícola com gesso agrícola apresentou um resultado melhor em relação ao uso isolado dos mesmos. Um aumento de 54% na camada superficial, e cerca de aproximadamente 14% na camada seguinte. No restante da coluna não observou-se aumentos significativos em relação a testemunha. Nesta

medida há uma indicação de que o gesso, que não altera o pH, ajuda na lixiviação do calcário, possibilitando um aumento substancial do pH de uma camada inferior.

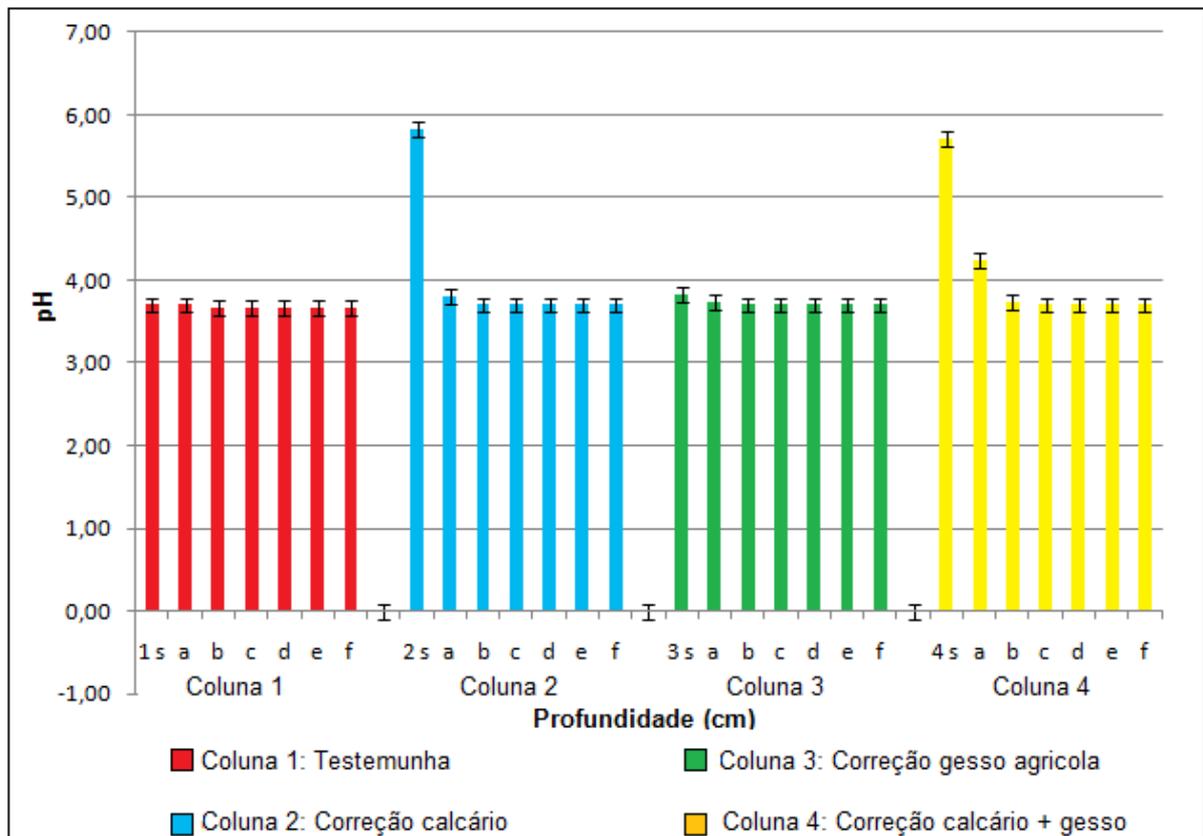


Gráfico 1: valores de pH no solo.

## 4.2 ALUMÍNIO TROCÁVEL

Os resultados das medidas de  $Al^{3+}$  apresentados no gráfico 2, observa-se que na coluna 1 a quantidade de alumínio trocável, foi em média  $9,68 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$  em todo o perfil desde a superfície até os 28 cm de profundidade. Não houve nenhuma alteração devido a possível lixiviação de elementos após a adição de água.

A adição de calcário agrícola neutralizou todo alumínio trocável na camada superficial, e diminuiu na camada seguinte aproximadamente 17,5%. A neutralização ocorre devido ao efeito da solubilização do calcário e da reação com os ácidos, aumentando o pH do solo e precipitando o Al. A fraca neutralização na segunda camada mostra a baixa solubilidade do calcário, não havendo diminuição do efeito do Al trocável nas camadas mais profundas. Quando o calcário é aplicado somente na camada superficial à neutralização não é tão eficaz em períodos curtos. O calcário que não lixívia permanecerá, às vezes por muito tempo, na forma de carbonato, insolúvel, à espera de acidez que o dissolva.

Na coluna 3 o alumínio trocável não foi neutralizado, nem mesmo na superfície. No entanto, a quantidade de  $Al^{3+}$  diminuiu 18% nas duas primeiras camadas. Nas camadas mais profundas a redução do  $Al^{3+}$  não foi significativa, mas a leve redução mostra uma acentuada lixiviação do gesso agrícola. A ação do gesso não é de eliminar o alumínio trocável, e sim, formar pares iônicos com esse elemento, tornando-o indisponível, diminuindo os problemas de toxidez que ele possa provocar na solução do solo. A formação de complexos de um íon com outros de valência oposta (pares iônicos) altera a função biológica do elemento químico o que confirma a importância da especiação química para interpretação da disponibilidade de íons para as raízes das plantas (CHAVES, 1991).

REEVE e SUMNERR, (1972) realizando um trabalho na África do Sul, em Oxissolos verificaram que o sulfato de cálcio reduzia o alumínio do solo e elevava o pH. Algumas hipóteses, descritas por RAIJ (1992), têm sido sugeridas para explicar o mecanismo envolvido. Uma delas seria a liberação de  $OH^-$  pelo  $SO_4^{2-}$ , mediante troca de ligantes, com a formação de estruturas hidroxiladas de alumínio, mecanismo chamadas de “autocalagem”. A precipitação de alumínio, com formação de minerais (ADAMS e RAWAYFIH, 1977), também tem sido indicada. Outra possibilidade seria a lixiviação de alumínio acompanhando o gesso, o que pode ser, em parte, favorecido pela formação de pares iônicos ou complexos como  $AlSO_4^+$  (SINGH, 1982; OATES e CALDWELL, 1985), ou de fluoreto de alumínio (POLOMSKI; FLUHLER e BLASER 1982; OATES e CALDWELL, 1985). Embora ocorra redução variável de alumínio com a utilização de gesso, ainda não é possível explicar totalmente os mecanismos envolvidos (ALVA; SUMNER e MILLER, 1990).

No tratamento 4 que consiste na mistura de calcário agrícola com gesso agrícola o alumínio trocável da camada 0-4 cm foi totalmente neutralizado, na camada seguinte houve uma diminuição de 37%. Nas camadas posteriores não se observa nenhuma alteração relevante. Isto mostra que o gesso sozinho não reduziu o teor de alumínio significativamente, mas, em presença do calcário, essa redução foi maior, inclusive na segunda camada. Um aspecto a ser destacado é que a leve neutralização nas camadas inferiores é menor que o ocorrido com a aplicação apenas com gesso agrícola.

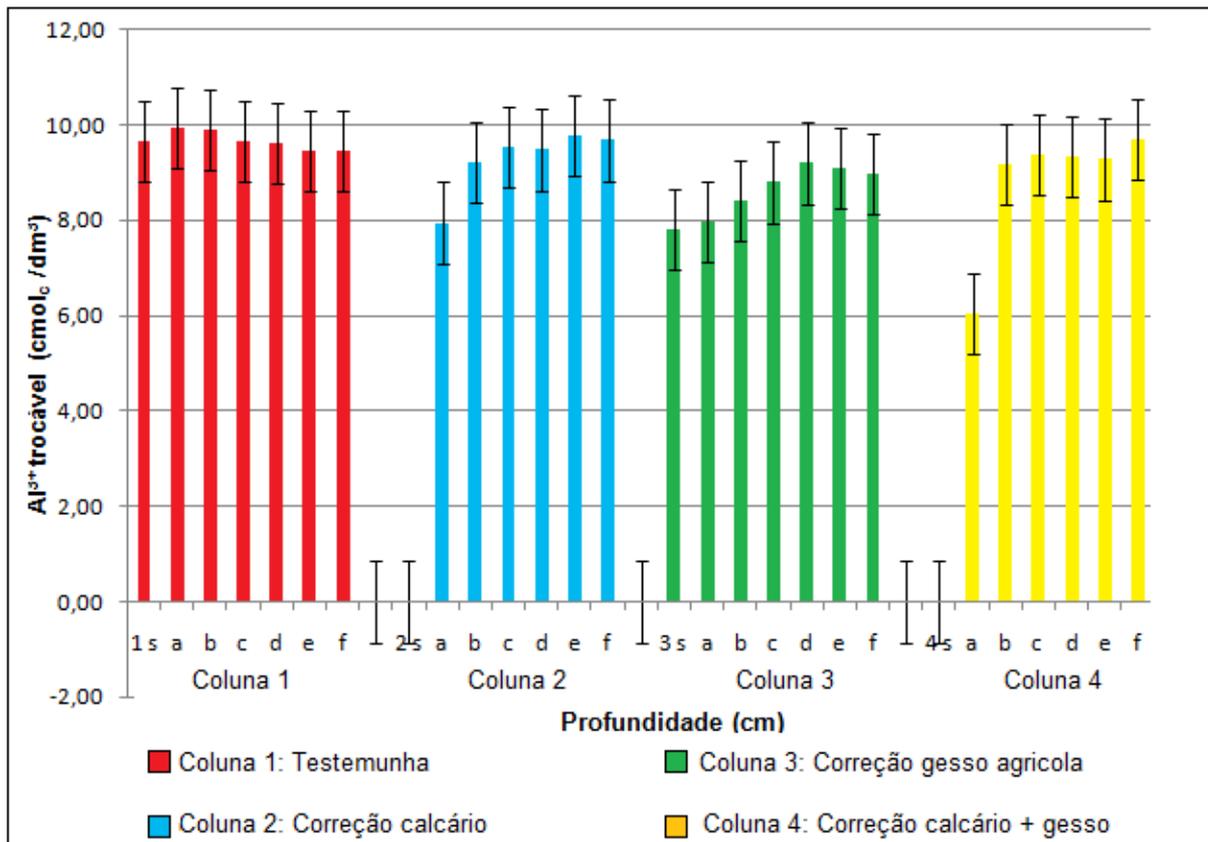


Gráfico 2: Teores de Alumínio trocável no solo.

### 4.3 CÁLCIO TROCÁVEL

A quantidade de cálcio na coluna 1 foi em média  $1,22 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$ . Isto mostra a baixa quantidade deste nutriente no solo natural. Não há alteração dessa quantidade em função da profundidade indicando que o cálcio trocável possui baixa mobilidade devido a adição de água.

Com a utilização de calcário agrícola a quantidade de cálcio na profundidade de 0-4 cm foi de  $9,53 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$ , um aumento de 680%. Na camada seguinte já apresentou um valor de  $1,97 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$  e sua quantidade foi diminuindo com a profundidade gradativamente chegando em  $1,20 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$  na última camada. Como a camada superficial foi tratada com o produto, o valor alto dessa camada era esperado. A segunda camada teve um aumento de 62%, aproximadamente, na quantidade de cálcio indicando uma lixiviação considerável para a aplicação desse produto.

RHEINHEIMER et al. (2000) e KAMINSKI et al. (2005), mostraram que o cálcio trocável atingiu 10 cm de profundidade com adição de calcário sobre a superfície, em experimento de longa duração, em torno de 7 anos. Devido a sua

pequena mobilidade, possivelmente, à baixa solubilidade do corretivo que ao entrar em contato com um pequeno volume de solo têm sua dissociação prejudicada. Além disso, o aumento das cargas elétricas negativas decorrentes da elevação do pH na camada superficial e a reatividade dos ânions do calcário com os ácidos do solo, contribuem para a baixa mobilidade de seus cátions.

O gesso agrícola aumentou o teor de cálcio da primeira camada apresentando um valor de  $3,55 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$ , após na profundidade de 4-8 cm a quantidade de cálcio aumentou cerca de 128%. A quantidade de cálcio diminui gradativamente com a profundidade, apresentando um valor de  $1,20 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$  na camada final. O gesso tem menor quantidade de cálcio, mas lixívia com maior facilidade levando mais nutriente em camadas inferiores.

De acordo com a Tabela 3 o teor de Ca no calcário agrícola é de 30,3% e no gesso agrícola de 19%, dessa forma a quantidade de cálcio na camada de 0-4 cm apresentou  $9,53 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$  e de  $3,55 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$  respectivamente.

Na coluna 4, devido termos uma quantidade maior de cálcio em relação ao uso isolado do calcário e do gesso agrícola, teve-se um aumento de cálcio na primeira camada, de 710%. Na segunda camada o aumento foi de 420% e na terceira camada um aumento de 64%, e apresentando um valor de  $1,15 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$  na camada de 24-28 cm. A combinação calcário com o gesso agrícola torna-se importante neste caso para elevar o nível  $\text{Ca}^{2+}$  nas camadas subsuperficiais.

A maior efetividade do sulfato de cálcio (gesso agrícola) em aumentar os teores de  $\text{Ca}^{+2}$  na camada subjacente à camada de aplicação é bastante conhecida (REEVE e SUMNER, 1972). Como o  $\text{Ca}^{+2}$  apresenta baixa mobilidade quando aplicado junto ao carbonato (calcário agrícola) e outras bases, recomenda-se da aplicação de sulfato de cálcio (REEVE e SUMNER, 1972; SUMNER et al., 1986).

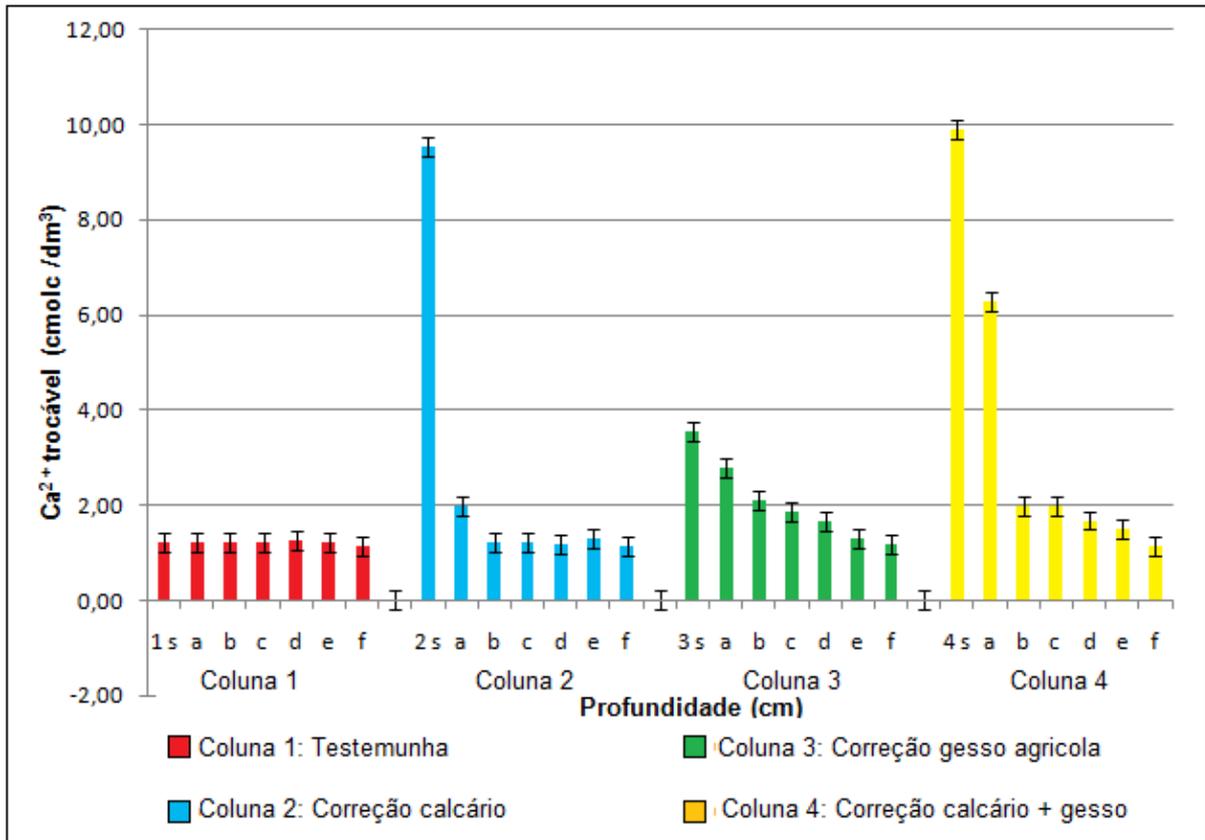


Gráfico 3: Teores de cálcio trocável no solo.

#### 4.4 MAGNÉSIO

A quantidade de magnésio no solo apresentou uma média de 0,62 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> em todo o perfil da amostra testemunha. Este valor é baixo para este nutriente no solo natural. Não houve alteração dessa quantidade em função da profundidade indicando a baixa mobilidade de magnésio trocável devido a adição de água.

Com a adição de calcário agrícola houve um aumento significativo em sua quantidade na camada de 0-4 cm, isso se deve ao fato do calcário agrícola conter 22,4 % de MgO ( Tabela 3). Pode observar que na segunda camada a quantidade de magnésio é mais que o dobro daquela observada na coluna testemunha, indicando a lixiviação deste elemento a partir do produto aplicado.

Observa-se que o gesso contribui para a lixiviação do magnésio, reduzindo sua quantidade nas camadas superiores. Esta é uma característica já observada por RAIJ (RAIJ, 1991) que alerta sobre a aplicação desse produto em altas doses pode levar a deficiência desse nutriente.

Com a mistura de calcário agrícola e do gesso agrícola também houve o aumento no teor de magnésio nas camadas inferiores. Mais uma vez os resultados

mostram que as combinações dos produtos ajudam a lixiviação das bases, levando nutrientes até as camadas mais profundas.

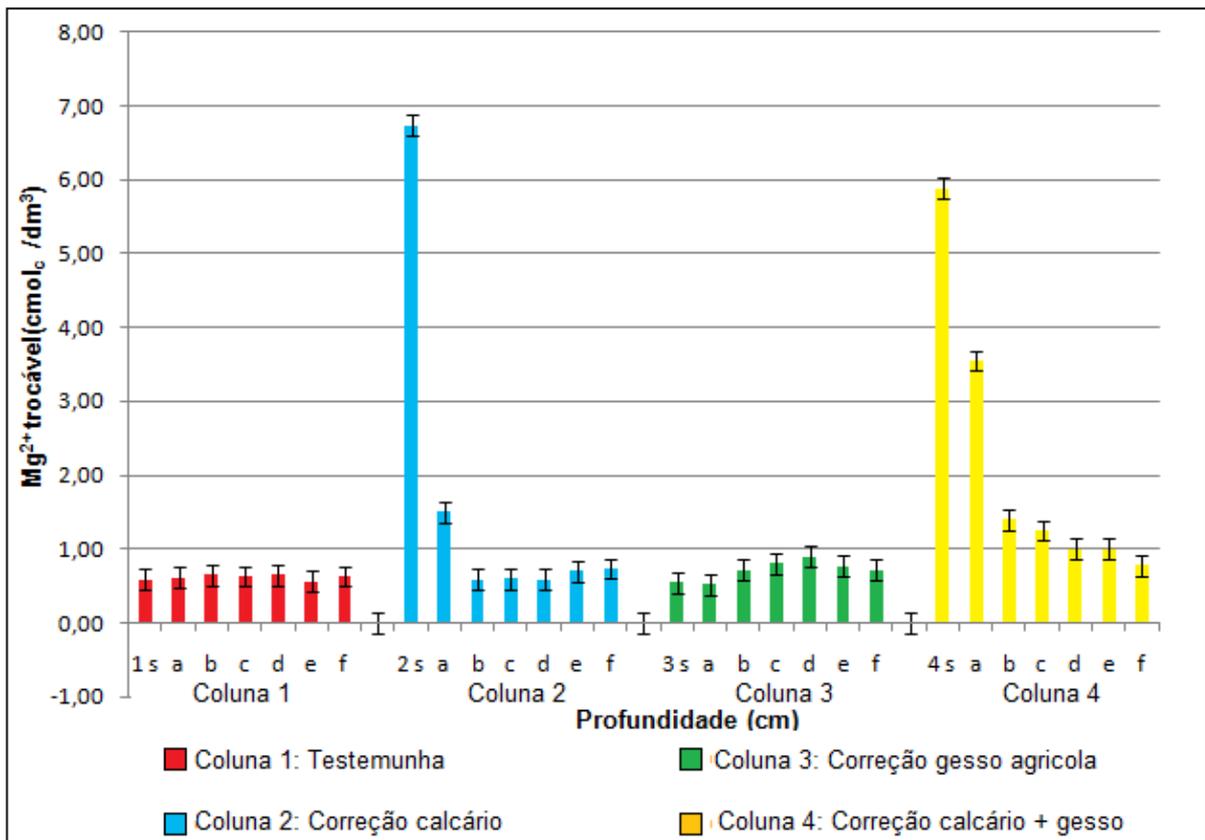


Gráfico 4: Teores de magnésio no solo.

#### 4.5 FÓSFORO

Os resultados obtidos para o fósforo mostrado no gráfico 5 para a coluna testemunha mostram que este elemento tem uma tendência em lixiviar apenas com a aplicação de água. Isto significa que neste solo a precipitação pluviométrica pode causar facilmente a deficiência desse nutriente.

Na coluna com adição de calcário agrícola pode-se observar que o aumento na quantidade de fósforo é pequena mais sua lixiviação é reduzida. O nível de fosforo é mais uniforme nesta coluna que na coluna testemunha.

Já a correção com gesso agrícola houve um aumento de 413% da primeira camada apresentando 6,83 mg/dm<sup>3</sup> diminuindo até a última camada. A lixiviação do elemento deixou todas as camadas com valores significativamente maiores que da coluna testemunha, apresenta uma maior mobilidade do fósforo.

Na coluna 4, também observa-se um aumento de 195% de fósforo na primeira camada diminuindo ao longo do perfil, com taxa de lixiviação maior do elemento.

O Gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) o qual é um sal neutro que dissocia-se em  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (McDOWELL, 2004), tem sido utilizado para reduzir a perda de fósforo no solo. O uso do gesso além de reduzir a perda de fósforo pela formação de Ca-P (STOUT; SHARPLEY; PIONKE 1998), também teria por finalidade proporcionar a reação com o amônio, formando com isso o sulfato de amônio, que pode contribuir na redução das perdas de nitrogênio no solo (SEDIYAMA et al., 2000).

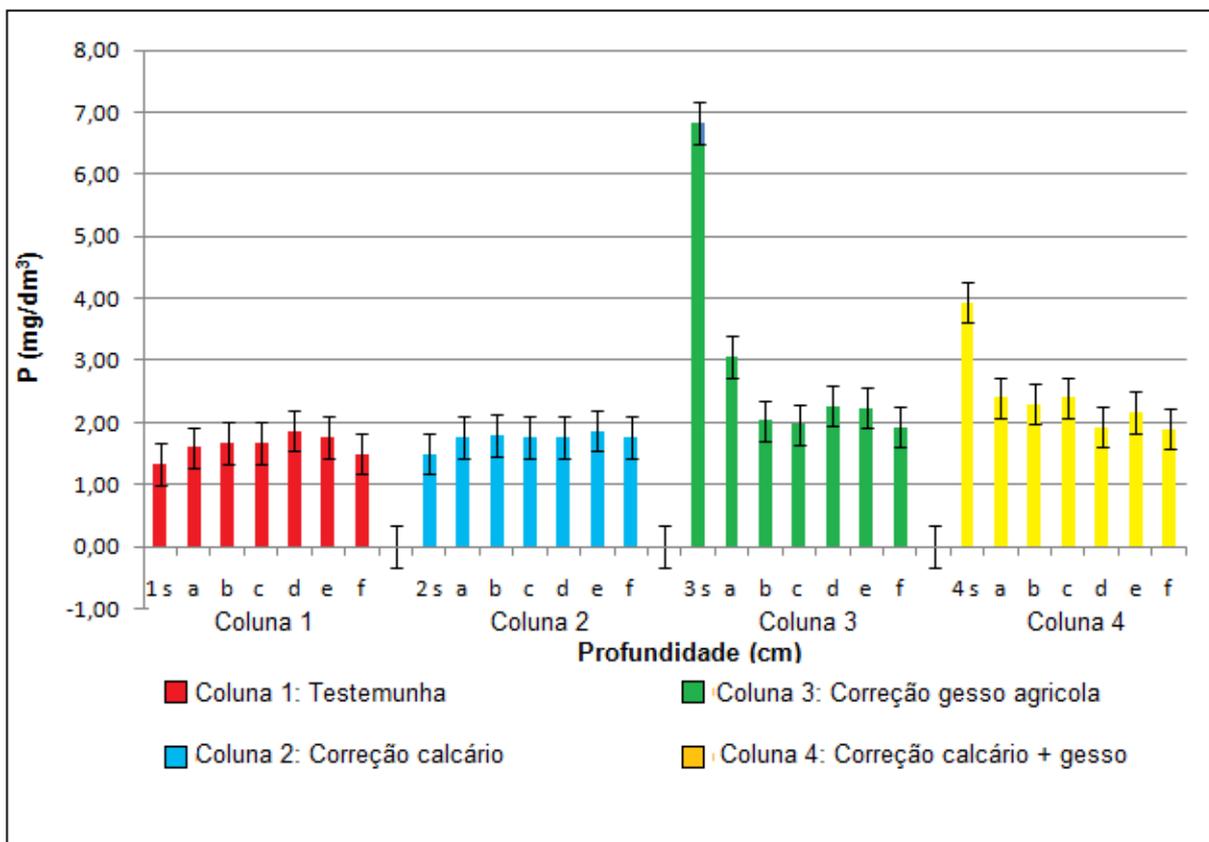


Gráfico 5: Teores de fósforo no solo.

#### 4.6 POTÁSSIO

Para este elemento os resultados mostram uma tendência a lixiviação em todas as colunas. Pode-se observar que na coluna onde se mistura o calcário e o gesso a redução do potássio nas camadas superiores é maior. Os íons de potássio substituem mais facilmente os íons de cálcio do que os de hidrogênio. Assim a quantidade de potássio adsorvido da solução do solo pelo colóide (argila) é

aumentada e a quantidade de potássio perdida por lixiviação é diminuída. (MELO e ALLEONI, 2009a.)

Alguns pesquisadores acreditam que a fixação de potássio e a capacidade de permuta dos cátions são mecanismos tão eficientes de armazenamento que se torna difícil lixiviar o potássio da maioria dos solos. VITTUM, LATHWELL e GIBBS (1968) demonstraram que o potássio pode ser lixiviado mais o processo é lento, em seu trabalho observaram após treze anos.

Nenhum dos tratamentos ajudou a manter os teores de potássio no solo.

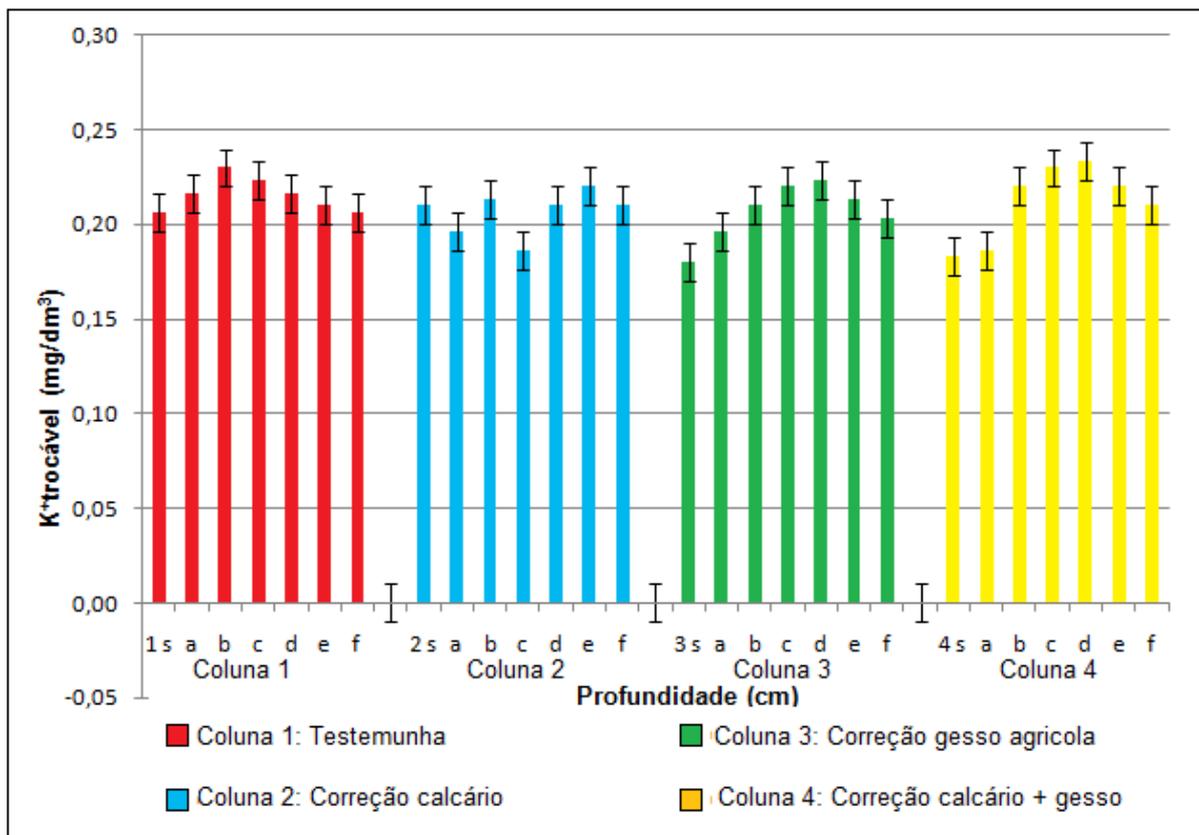


Gráfico 6: Teores de potássio no solo.

#### 4.7 ACIDEZ POTENCIAL TROCÁVEL (H + Al)

Observa-se que na coluna testemunha a acidez não altera devido a possível carregamento na percolação da água, exceto por uma leve redução nas últimas camadas.

Na segunda coluna, o calcário adicionado reduziu acentuadamente os teores de alumínio + hidrogênio da camada superficial (0-4 cm). Nas duas camadas seguintes a redução não foi tão grande. O efeito não atingiu as outras camadas, nas

quais os valores foram semelhantes ao da testemunha. Mesmo as duas últimas camadas não sofreram alteração ao contrário da coluna testemunha.

Na coluna submetida à aplicação de gesso a redução da acidez foi pequena nas primeiras duas camadas, não se percebendo lixiviação para as camadas inferiores.

Por outro lado a coluna com tratamento de gesso e calcário é possível observar a acentuada queda na superfície tratada e o forte efeito da lixiviação na segunda camada. As camadas seguintes não sofreram alteração significativa.

A utilização de gesso para a correção da acidez trocável em subsuperfície tem sido tema de muitos trabalhos publicados desde os anos 80 (RITCHEY et al., 1980; SUMNER et al., 1986; PAVAN et al. 1987; CHAVES et al., 1988; SHAINBERG et al., 1989). Nossos resultados não indicam que o gesso agrícola seja capaz isoladamente, mas aplicado concomitante com o calcário ele pode ajudar na correção até camadas inferiores.

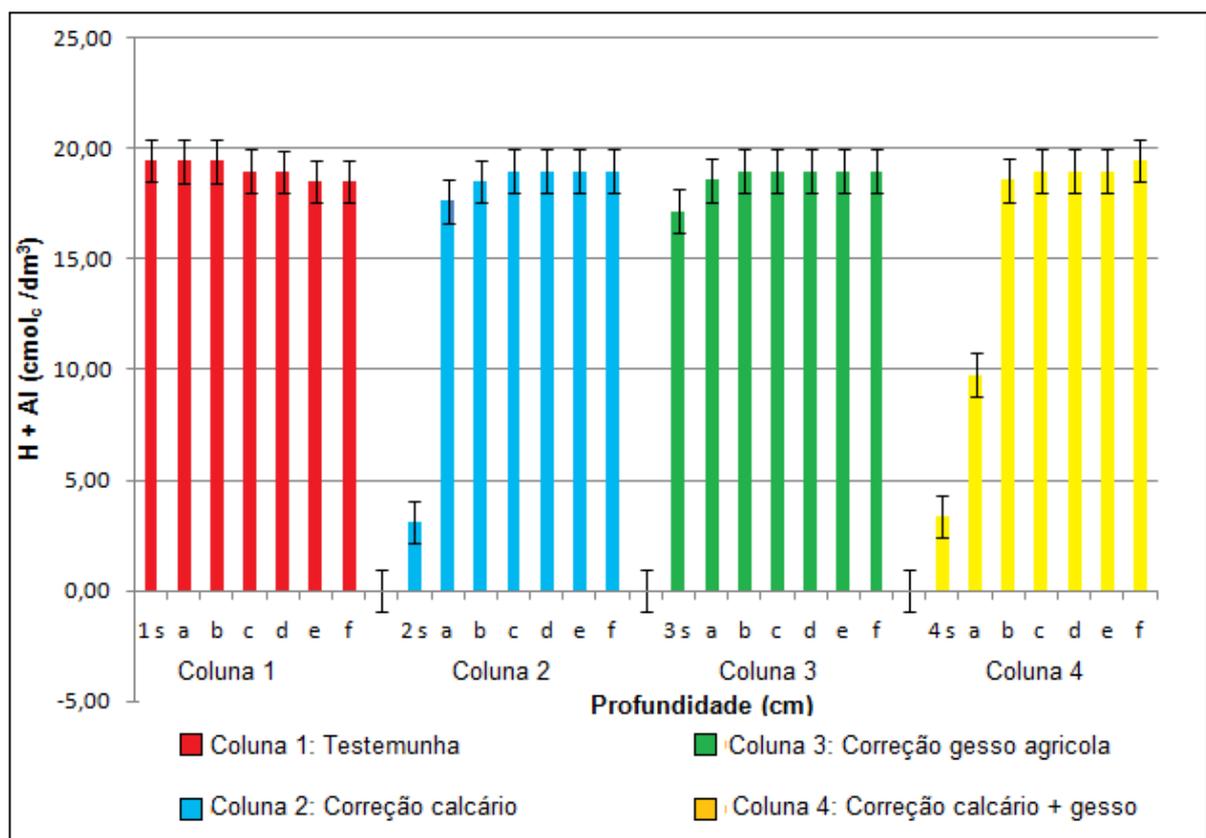


Gráfico 7: Valores de acidez potencial trocável no solo.

#### 4.8 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC)

Como nas situações anteriores, a coluna 4 submetida ao tratamento com gesso – calcário apresentou a maior influência do processo de lixiviação dos produtos. A capacidade de troca de cátions não foi fortemente alterada em nenhum caso, mas na coluna 4 a pequena redução observada na coluna com calcário é vista também na segunda camada. A CTC mede a capacidade do reservatório-solo em armazenar cálcio, magnésio, potássio, sódio, hidrogênio e alumínio, assim a adição de cálcio aumenta a CTC, porém na coluna 4 devido ao sulfato de cálcio apresentar uma maior mobilidade teve-se o carreamento de cálcio para as outras camadas tendo um aumento da CTC apenas na terceira camada.

Podemos ver ainda um leve redução nas camadas inferiores na coluna testemunha que pode ter sido causada por carreamento na percolação do soluto.

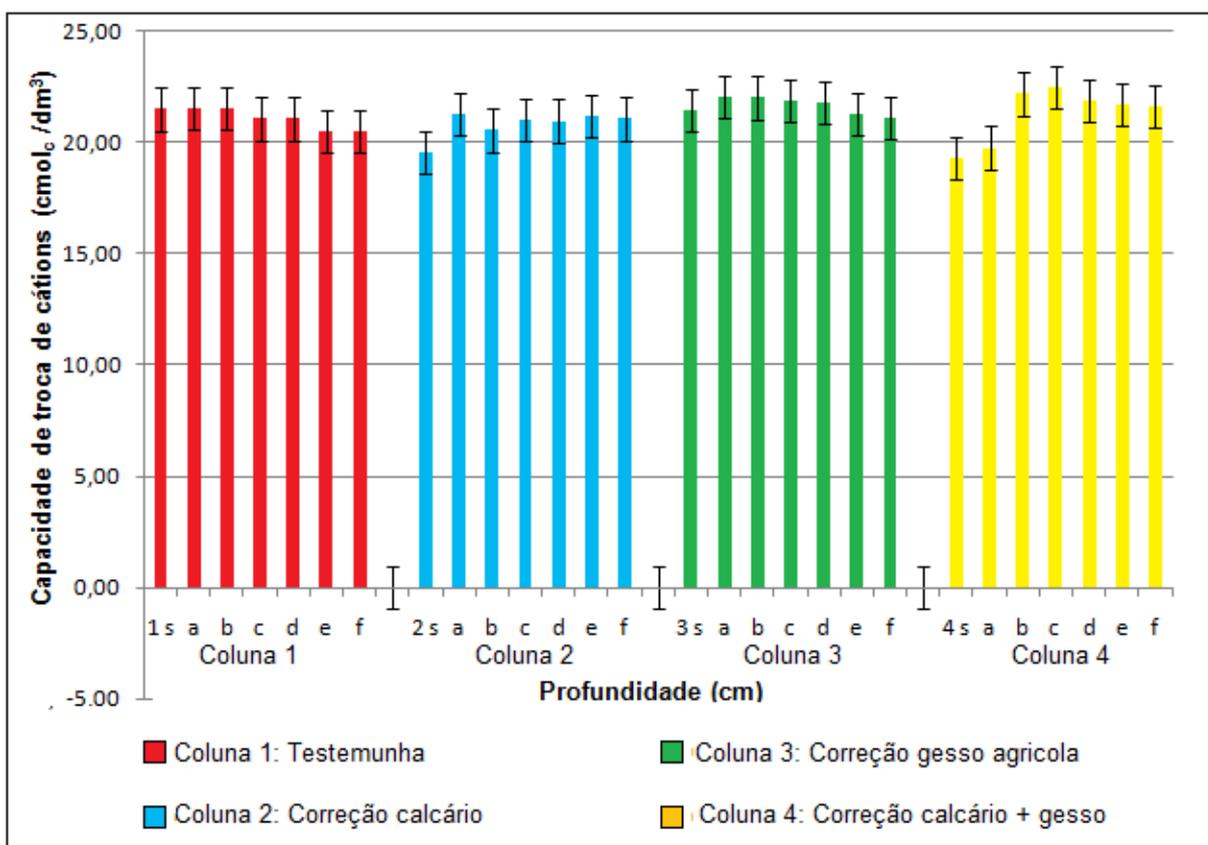


Gráfico 8: Valores da capacidade de troca de cátions no solo.

#### 4.9 SOMA DAS BASES (S)

O gráfico 9 apresenta com grande contraste o observado de forma geral em nosso experimento. Um solo com pobre em quantidade de bases (coluna

testemunha) recebe a adição de calcário (Coluna 2) na sua camada superficial elevando bastante esta quantidade; por lixiviação devido a adição de água eleva também a segunda camada, mas não altera os níveis das bases nas camadas inferiores. Após a aplicação de gesso agrícola isoladamente a soma das bases aumenta na coluna 2 na primeira camada. Quando houve a mistura do calcário e gesso agrícola as somas das bases aumentaram em todas as camadas, mostrando que nesta coluna a lixiviação dos produtos é bem mais forte.

MESSICK; ALLEY e ZELAZNY, (1984) mostraram que somente a aplicação de calcário não é suficiente para promover a movimentação de bases. Os autores não observaram correção do subsolo pela aplicação de calcário em sete solos da Virgínia, Estados Unidos, em um período de quatro anos.

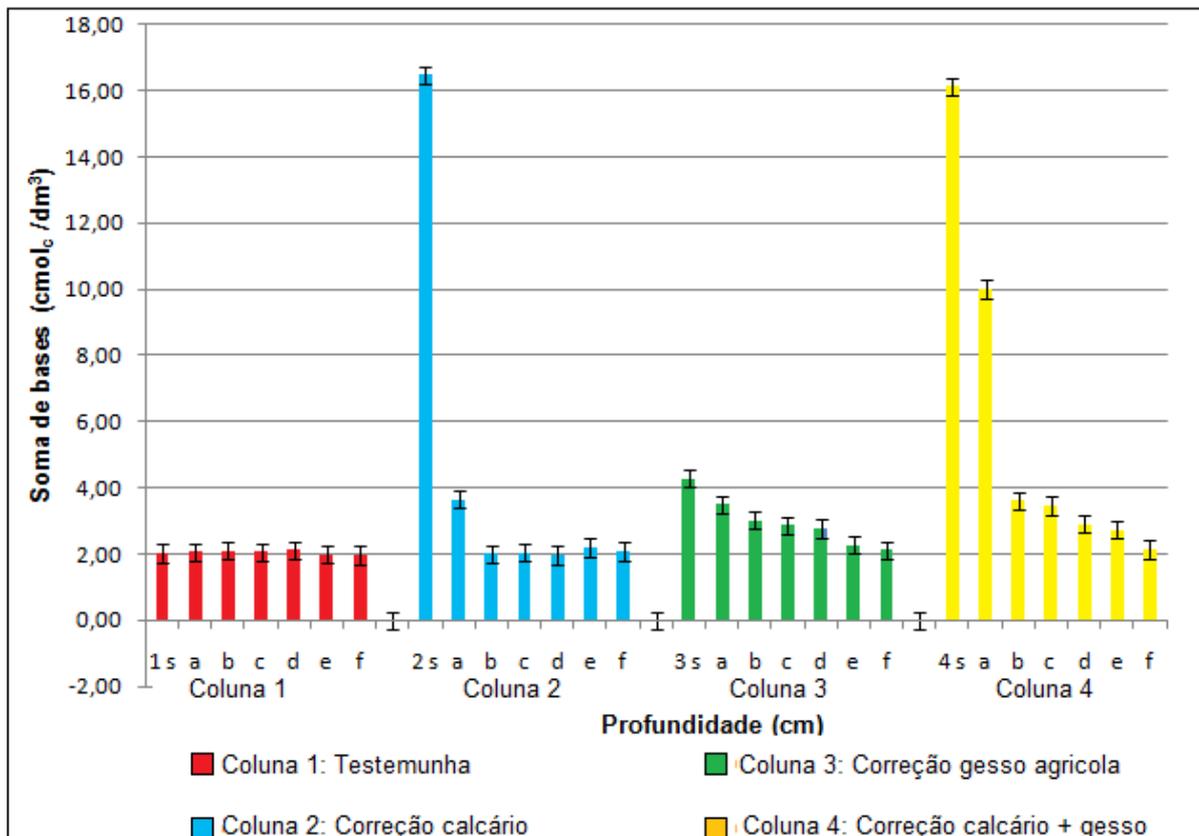


Gráfico 9: Valores da soma das bases no solo.

#### 4. 10 SATURAÇÃO POR BASES (V)

A saturação por bases na coluna testemunha permaneceu em cerca de 9,72 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>. Com a correção de calcário houve um grande aumento na primeira camada apresentando um valor de 84,14 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, depois diminuindo para 17,17 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e diminuindo com a profundidade. Com a adição de gesso houve um



#### 4.11 CARBONO ORGÂNICO

Nos resultados de carbono orgânico (Gráfico 11) observa-se que os valores na coluna testemunha e na coluna 2 com calcário não são uniformes. Isto deve ter ocorrido pela lixiviação com a água e a interferência do tratamento com calcário. A adição de gesso elevou o nível do carbono na camada superficial, isso pode ter ocorrido pela ação de agregação, o que melhora as condições da microvida e aumenta o carbono orgânico do solo decorrente da biomassa microbiana. (ROSA JÚNIOR et al . , 2006).

Nas camadas inferiores os valores indicam que o gesso evita a lixiviação por ação da água, mas não aumenta o nível de carbono. Na coluna 4 o comportamento é semelhante à coluna 2.

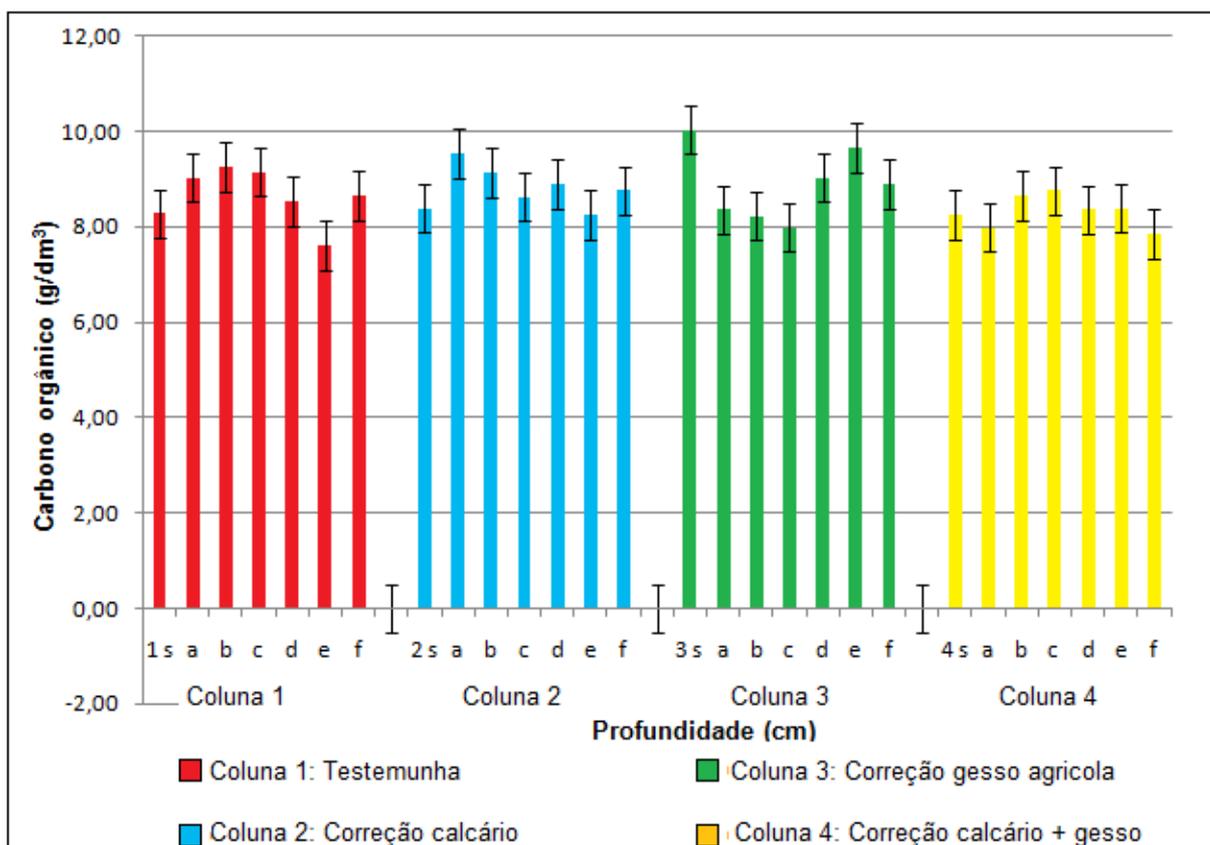


Gráfico 11: Teores de carbono orgânico no solo.

#### 4.12 SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO (Al)

A coluna 1 apresentou uma media de saturação de alumínio de 82,42  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , isso deve a quantidade de alumínio presente no solo.

A correção com calcário apresentou a neutralização total da primeira camada porém a segunda camada que de 4 -8 cm já apresentou um valor de 68, 39

$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , após a saturação por alumínio foi aumentando, devido ao calcário apenas reagir na primeira camada

Com a correção de gesso agrícola houve apenas um pequeno decréscimo nas camadas.

RITCHEY et al., (1980) estudando um Latossolo com 1.200 mm de água, e 2.000 kg / ha de dosagem de gesso agrícola, após quatro anos verificaram que o gesso agrícola provocou expressiva redução de saturação por alumínio e isso estava associado a uma maior absorção de água no subsolo, na camada de 120 cm.. No nosso trabalho observa-se que isoladamente o gesso não consegue reduzir substancialmente a saturação.

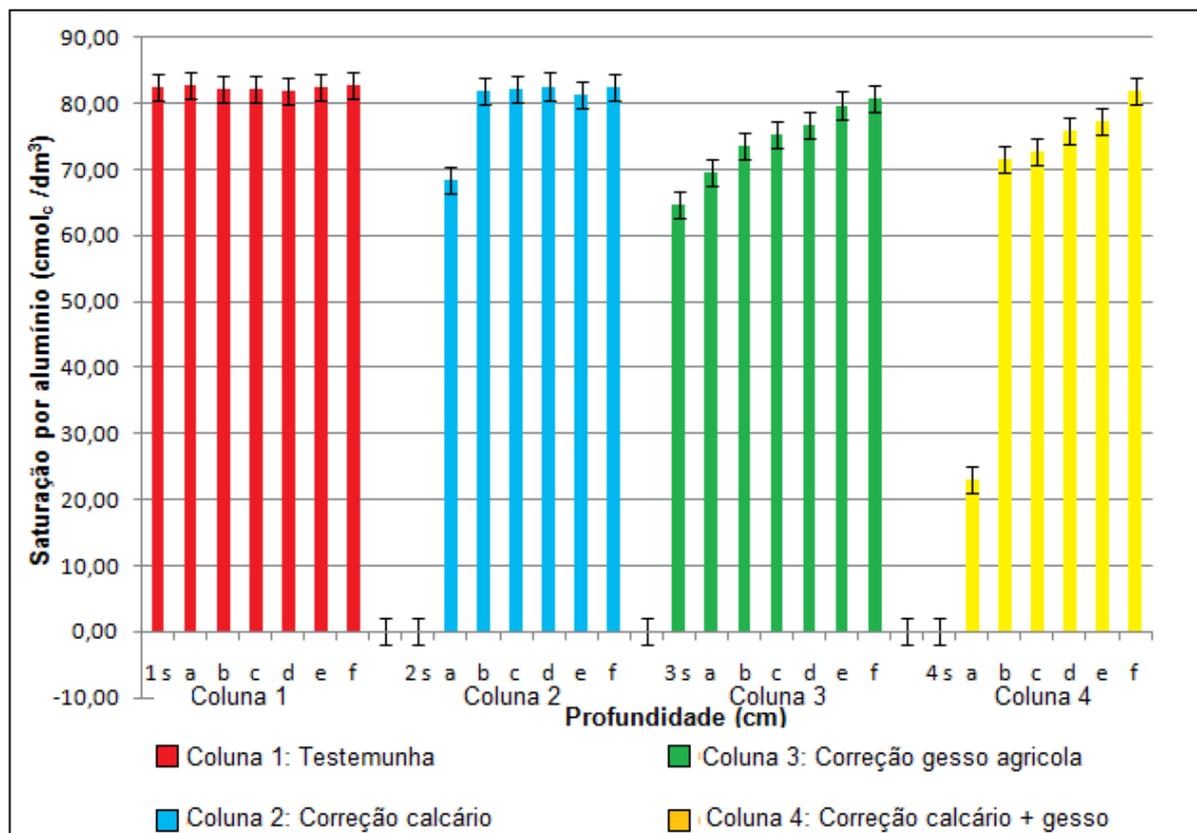


Gráfico 12: Valores da saturação por alumínio no solo.

#### 4.13 ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

Segundo WRIGHT (1996) vários termos, incluindo sensibilidade, concentração característica e limite de detecção são usados para descrever a performance do instrumento relativa a determinação do elemento analisado. Para a metodologia de absorção atômica, a sensibilidade por exemplo é definida como a

concentração de um elemento requerida para produzir 1% de absorção sendo lida (0,0044 unidade arbitraria de absorbância) em condições ótimas de operação.

O termo limite de detecção indica a menor concentração de um elemento que pode ser detectado com 95% de probabilidade. Medidas realizadas próximas ao limite de detecção têm alto grau de incerteza, assim, para obter-se resultados precisos, devem ser empregadas concentrações de pelo menos 5 a 10 vezes o limite de detecção na rotina de análise. (WRIGHT, 1996).

#### **4. 13.1 MANGANÊS**

Os resultados para a coluna testemunha mostram que há uma perda muito grande de manganês devido a lixiviação com a água. Na coluna com calcário a lixiviação ocorre, no entanto com mais dificuldade. A redução nas primeiras camadas é clara.

A adição de gesso agrícola, coluna 3, aumenta a quantidade de manganês em relação às outras colunas, mas não evita a lixiviação deste nutriente. Enquanto que a coluna 4 onde foi aplicado a mistura de corretivos o comportamento é semelhante ao da coluna com calcário, indicando um domínio deste corretivo nas características solo relativas ao manganês.

Uma possível explicação para esse aumento na concentração de Mn no com a aplicação de gesso seria a formação de par iônico entre esse cátion e o sulfato, diminuindo a atividade desse elemento em solução, favorecendo, assim, o deslocamento do equilíbrio no solo, liberando mais íons Mn para a solução. (OLSEN; WATANABE, 1979). Em solo de cerrado, a deficiência de Mn em soja foi corrigida com a aplicação do equivalente a 2 t ha<sup>-1</sup> de gesso (NOVAIS et al., 1989).

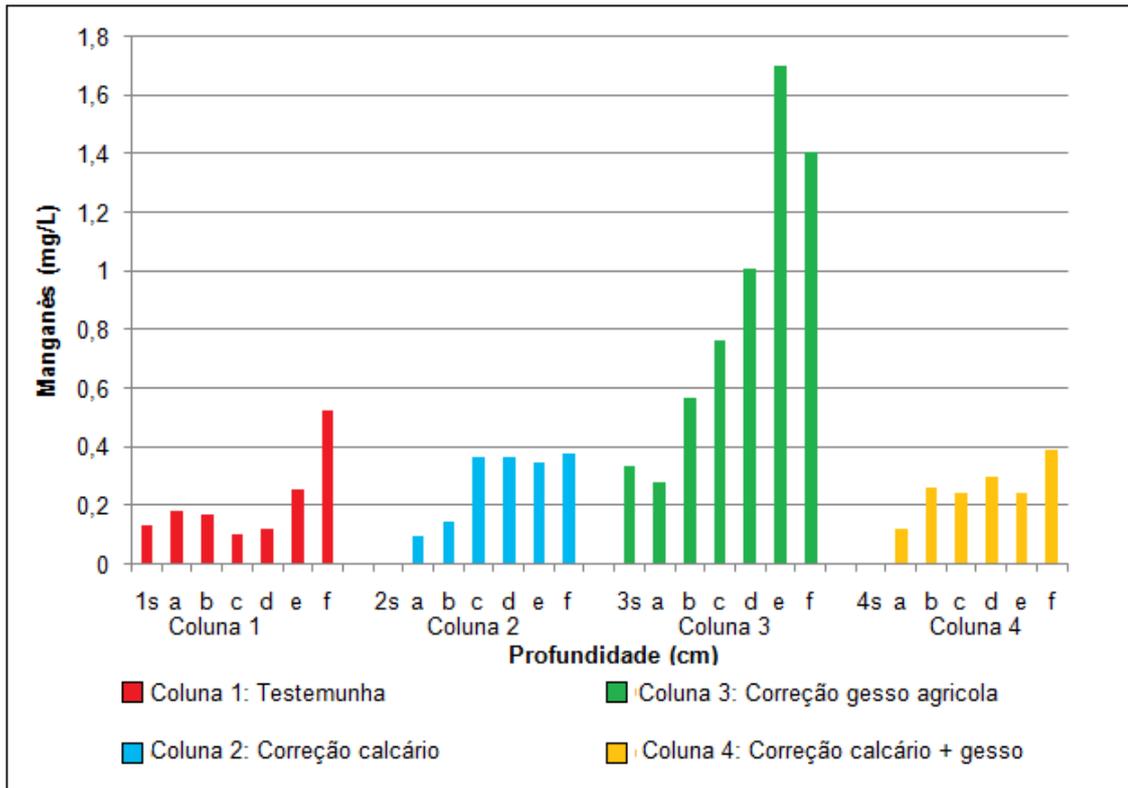


Gráfico 13: Teores de mangânes no solo.

Tabela 2: Teor de metais no Cambissolo Háplico do município de Irati, Paraná.

(continua)

Profundidade cm	Mn	Zn	Cu	Pb mg/L	Ni	Fe	Cr
<b>Coluna 1: testemunha</b>							
0-6	0,1332	0,0365	0,0027	0,0547	0,0374	0,0170	0,0233
6-10	0,1842	0,0556	0,0189	0,0899	0,0124	0,0242	0,0136
10-14	0,1660	0,0627	0,0026	0,0557	0,0356	0,0468	0,0257
14-18	0,1020	0,0608	0,0013	0,0499	0,0374	0,0130	0,0401
18-22	0,1191	0,0448	0,0002	0,0105	0,0438	0,0177	0,0539
22-26	0,2551	0,0409	0,0019	0,0229	0,0457	0,0055	0,0516
26-30	0,5216	0,0951	0,0031	0,0059	0,0533	0,0001	0,0534
<b>Coluna 2: correção calcário</b>							
0-6	0,0015	0,0620	0,0146	0,0369	0,0499	0,0114	0,0415
6-10	0,0940	0,0346	0,0039	0,0534	0,0461	0,0007	0,0414
10-14	0,1457	0,0398	0,0060	0,1532	0,0125	0,0345	0,0054
14-18	0,3640	0,0355	0,0088	0,0702	0,0066	0,0353	0,0083
18-22	0,3622	0,0391	0,0036	0,0564	0,0065	0,0252	0,0104
22-26	0,3470	0,0239	0,0018	0,0553	0,0179	0,0420	0,0156
26-30	0,3742	0,0332	0,0025	0,0660	0,0239	0,0538	0,0241

Tabela 2: Teor de metais no Cambissolo Háplico do município de Irati, Paraná.

Profundidade cm	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	(conclusão)	
						Fe	Cr
		Coluna 3: correção gesso agrícola					
0-6	0,3323	0,0226	0,0006	0,0239	0,0285	0,0282	0,0343
6-10	0,2804	0,0229	0,0053	0,0194	0,0388	0,0078	0,0448
10-14	0,5693	0,0379	0,0359	0,0635	0,0146	0,0089	0,0455
14-18	0,7625	0,0408	0,0245	0,0982	0,0349	0,0102	0,0768
18-22	1,0099	0,0411	0,0227	0,0553	0,0307	0,0369	0,0373
22-26	1,6977	0,0305	0,0207	0,0563	0,0213	0,0420	0,0724
26-30	1,4060	0,0463	0,0266	0,0611	0,0256	0,0450	0,0946
		Coluna 4: correção calcário + gesso					
0-6	0,0022	0,0262	0,0266	0,0359	0,0047	0,0001	0,0819
6-10	0,1182	0,0314	0,0255	0,1402	0,0065	0,0148	0,0874
10-14	0,2627	0,0326	0,0242	0,1289	0,0016	0,0290	0,0335
14-18	0,2439	0,0312	0,0356	0,0788	0,0031	0,0139	0,0286
18-22	0,2963	0,0156	0,0399	0,0772	0,0180	0,0056	0,0004
22-26	0,2418	0,0660	0,0322	0,0135	0,0247	0,0048	0,0123
26-30	0,3866	0,0260	0,0272	0,0783	0,0186	0,0014	0,0049

#### 4.13.2 ZINCO

O processo de lixiviação do zinco parece acentuado quando um solo é submetido a um processo de percolação de água. A coluna testemunha mostra essa lixiviação com um acúmulo do elemento na última camada. Vemos que a adição de calcário retém o zinco na camada superficial, mas a perda continua nas camadas inferiores. Por outro lado, a aplicação do gesso aumenta a redução do Zn, aparentemente acelerando sua lixiviação. A mistura de calcário e gesso agrícola não ajuda na retenção do zinco.

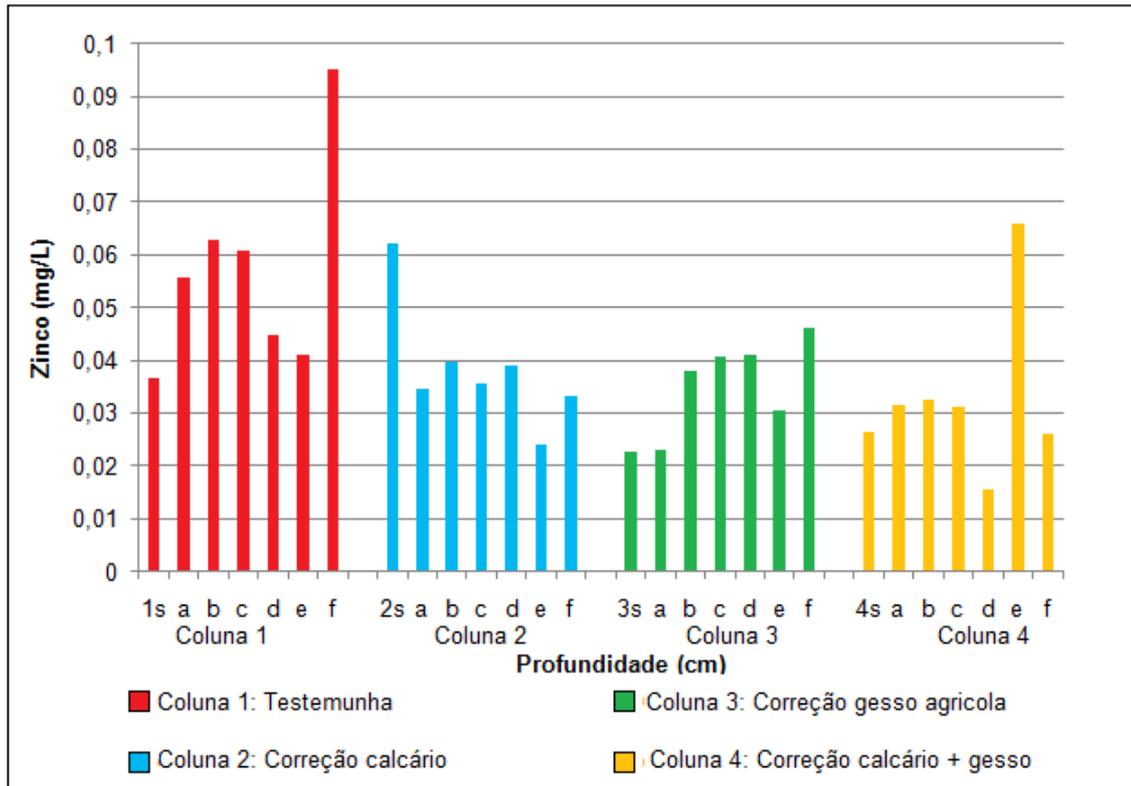


Gráfico 14: Teores de zinco no solo.

#### 4.13.3 COBRE

A análise do nível de cobre mostra que na coluna testemunha ocorre uma forte lixiviação do elemento na camada superficial e camadas inferiores. Por outro lado, a aplicação do calcário ajuda a reter o elemento na primeira camada, embora esse efeito não se observe nas camadas inferiores. Isto pode ser justificado pela dificuldade de solubilidade do calcário. Segundo TROEH e THOMPSON (2007) o cobre é mais solúvel em solos ácidos, e sua solubilidade diminui com o aumento de pH.

O cenário muda com a presença do gesso. Na coluna 3 pode-se observar que o nível na camada superficial ainda é baixo, mas vai aumentando nas camadas inferiores chegando a valores comparativamente altos. Aparentemente, o gesso neutraliza o cobre medido por espectroscopia nas camadas superiores, mas evita a sua lixiviação das camadas inferiores. Na coluna 4 se mantém alta a quantidade de cobre em todas as camadas.

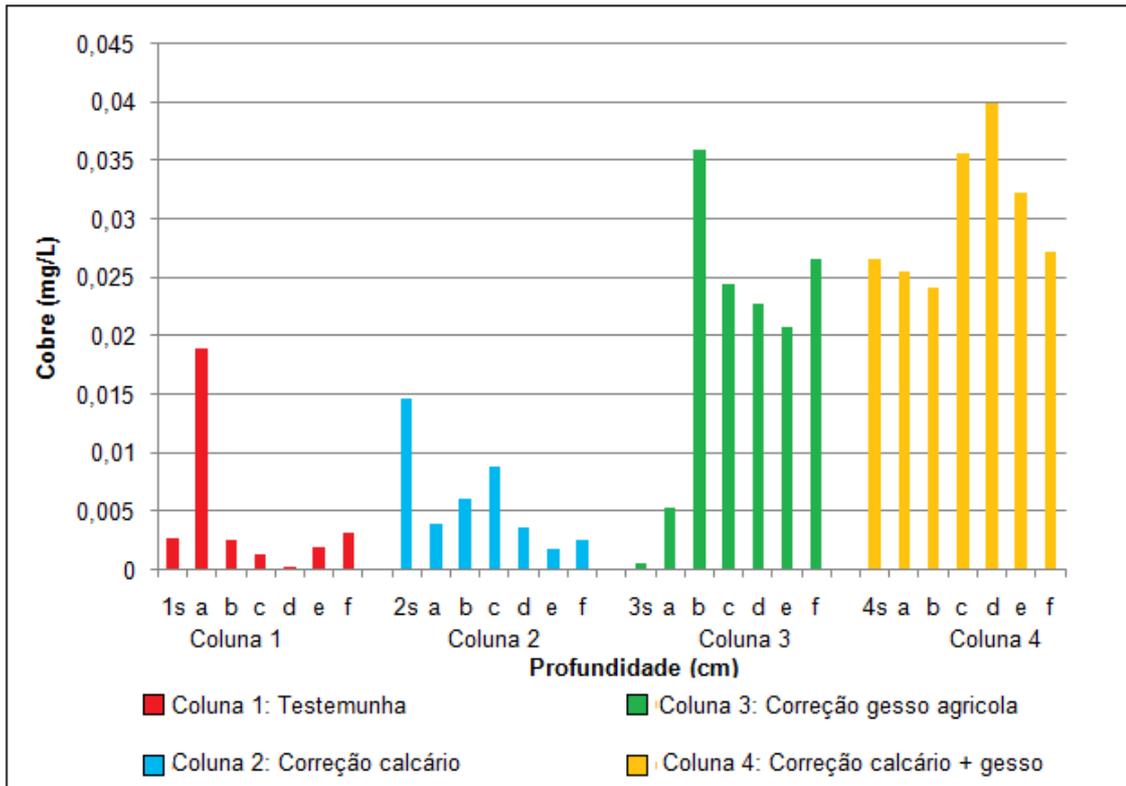


Gráfico 15: Teores de cobre no solo.

#### 4.13.4 CHUMBO

Os resultados para a quantidade de chumbo nas colunas mostram algumas concentrações grandes em camadas específicas sem justificativas. No entanto, observa-se uma forte movimentação deste elemento na coluna testemunha. Há mais chumbo nas camadas superiores, indicando que há percolação de chumbo nas camadas inferiores.

Na camada que recebeu calagem observa-se um aumento nas camadas inferiores e uma redução nas superiores, sugerindo que o calcário inibe a lixiviação do chumbo. O mesmo pode ser observado na coluna que sofreu tratamento com gesso. A mistura de calcário com gesso agrícola eleva o nível de chumbo nas camadas abaixo da superfície.

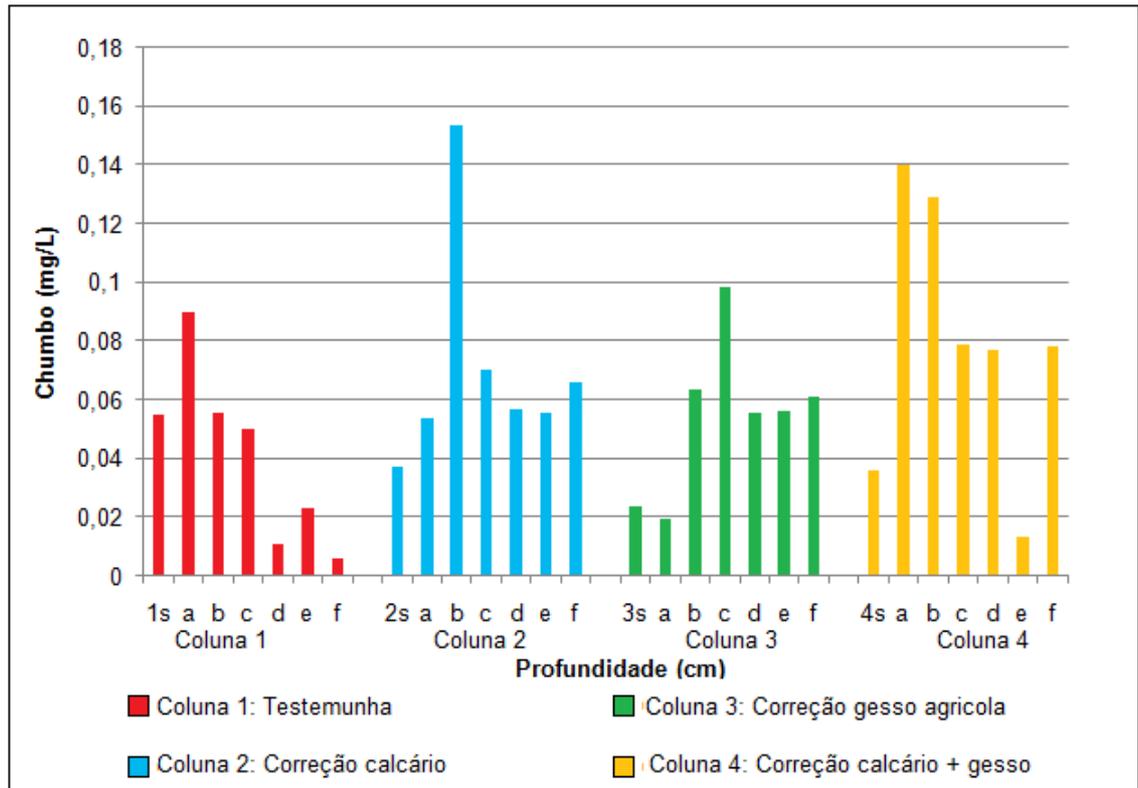


Gráfico 16: Teores de chumbo no solo.

#### 4.13.5 NÍQUEL

Analisando os resultados para o metal Níquel observamos também uma tendência forte a lixiviação deste elemento. Na coluna 1 ocorre a lixiviação provocando um aumento nos níveis do elemento nas camadas inferiores.

Com a adição de calcário e gesso agrícola os resultados mostram um aumento na percolação de níquel. Na coluna com calcário as duas primeiras camadas o níquel aparentemente ficou retido, mas nas camadas inferiores a quantidade foi bastante reduzida. O mesmo comportamento pode ser observado na coluna 3, embora a retenção e a redução não tenha sido tão grande. Por outro lado, os resultados da coluna 4, a lixiviação do níquel foi forte. A indicação é que o elemento se incorporou ao soluto percolado.

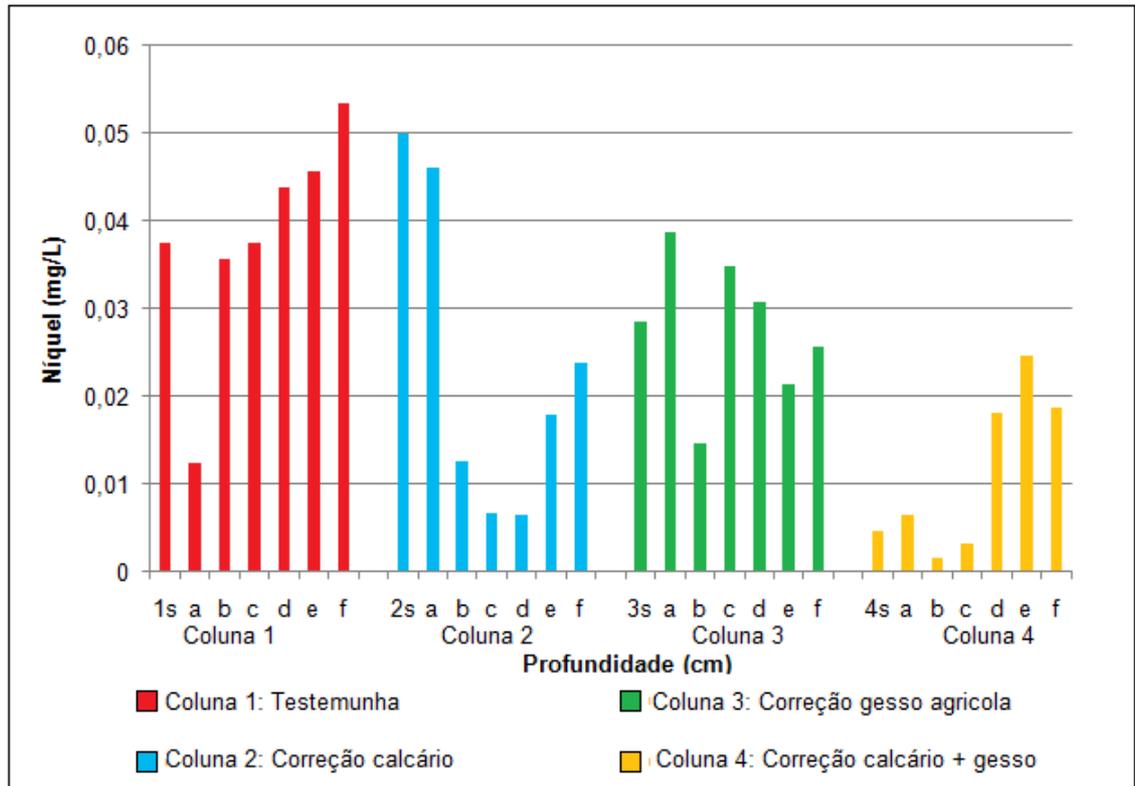


Gráfico 17: Teores de níquel no solo.

#### 4.13.6 FERRO

O ferro ocorre nos solos na forma de óxidos primários como a hematita e magnetita. Com o intemperismo, os óxidos e hidróxidos de ferro aumentam nos solos. A deficiência pode ocorrer, mesmo em solos com elevados conteúdos de Fe, pois pequena proporção permanece solúvel. A forma iônica absorvida pelas plantas é  $Fe^{2+}$  (MELO e ALLEONI, 2009a.)

Com o mesmo comportamento dos outros metais o ferro tem grande mobilidade neste tipo de solo. Na coluna submetida apenas a percolação da água a lixiviação deste elemento é evidente. Na coluna com calcário ocorre uma redução nas camadas superiores, mas a lixiviação é bastante reduzida nas camadas inferiores. O mesmo comportamento é observado na coluna com gesso, nesta uma maior quantidade de ferro é observada na camada superficial, há uma redução nas três camadas seguintes, voltando a aumentar nas três últimas. Aparentemente a medida que o produto lixivia a quantidade de ferro diminui, embora a água apenas não favoreça a redução.

Quadro bem diferenciado é observado na coluna 4, a lixiviação do ferro é acentuada e mais intensa que na coluna testemunha. Ocorre alguma reação com a mistura que não impede o carreamento do ferro.

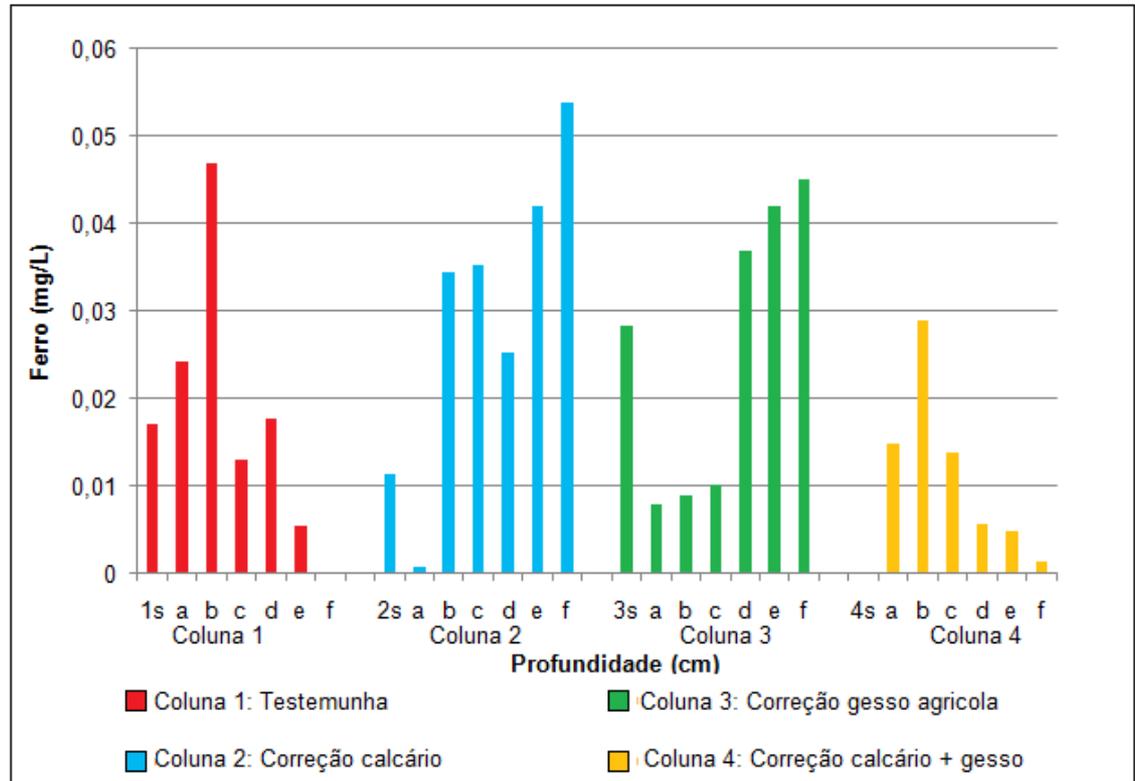


Gráfico 18: Teores de ferro no solo.

#### 4.13.7 CROMO

Mais uma vez a característica de grande mobilidade aparece para outro metal. O cromo na coluna testemunha lixívia suavemente provocando um acúmulo leve nas camadas inferiores. Na coluna tratada com calcário os resultados mostram uma fixação do metal nas duas primeiras camadas, enquanto que nas inferiores a lixiviação ocorre de forma intensa. Isto indica que o calcário reage de tal forma no soluto que elimina a causa da fixação do cromo no solo.

Na coluna com gesso os resultados indicam um acréscimo na quantidade do metal que continua lixiviando de forma moderada. Na coluna onde é misturado o gesso com o calcário observa-se claramente o efeito deste último retendo o metal nas duas primeiras camadas e favorecendo uma forte lixiviação nas camadas inferiores.

Analisando os resultados para todos os metais pode-se observar que a mistura de corretivos favorece a lixiviação deles.

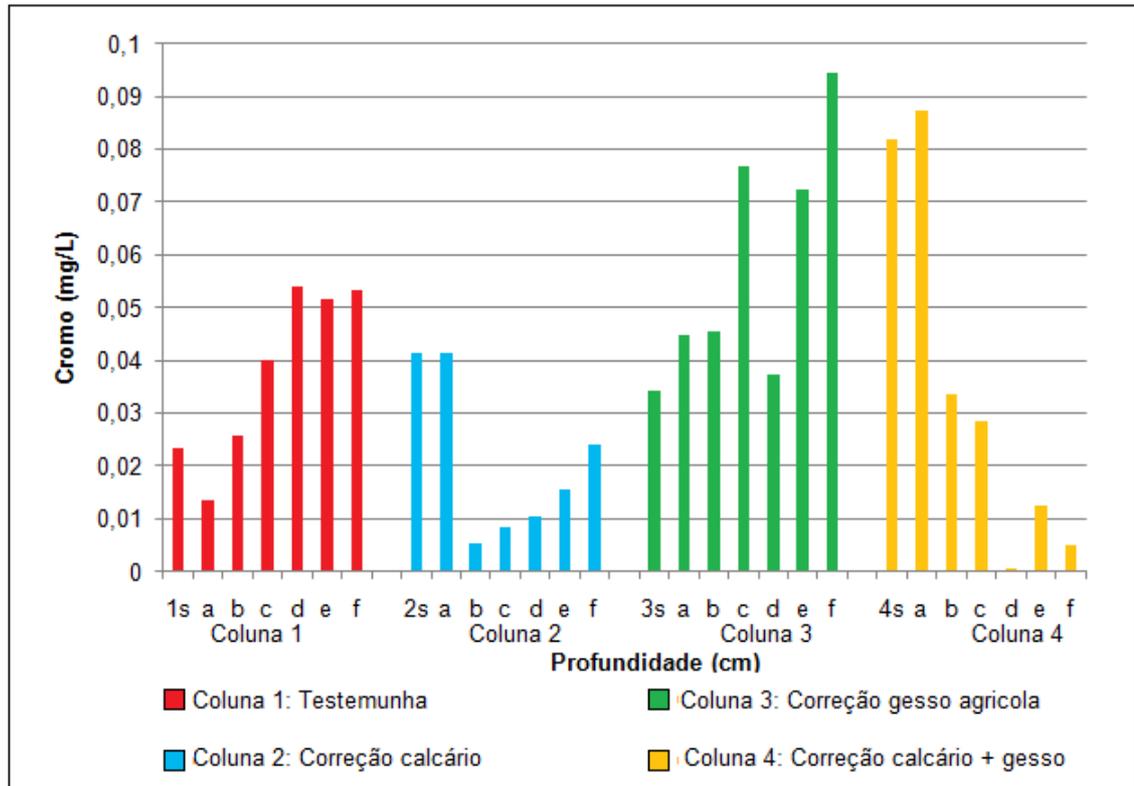


Gráfico 19: Teores de cromo no solo.

## 5 – CONCLUSÃO

A percolação da água sem adição de corretivos, mostrou que valores de pH, de quantidade de alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, acidez trocável e potencial, carbono orgânico, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, saturação de alumínio não sofreram alterações significativas devido a possível lixiviação dos elementos. Fósforo e potássio apresentaram uma tendência a lixiviar, podendo acarretar facilmente a deficiência desses nutrientes no solo.

Com relação aos fatores acima estabelecidos pode-se concluir que a utilização de calcário e gesso agrícola conduziu as seguintes alterações, o pH para o gesso não sofre alteração, para o calcário agrícola aumentou somente na primeira camada, porém para a mistura calcário agrícola e gesso agrícola o aumento foi substancial levando também a alteração na camada inferior. A quantidade de alumínio, foi neutralizada totalmente para a mistura, houve neutralização para o calcário agrícola, porém para o gesso agrícola não foi eficiente. Com relação ao cálcio e magnésio observou-se aumento dos teores em todos os corretivos utilizados, mas somente a mistura foi capaz de aumentar os teores em camadas inferiores. O fósforo teve sua lixiviação reduzida com aplicação de calcário agrícola, um pequeno aumento para o gesso, um aumento significativo para a mistura porém reduzindo ao longo do perfil. Analisando a acidez trocável e potencial verificou-se que houve redução em todos os casos. Com relação à saturação por bases, verificou-se que há um aumento para todos os casos analisados, contudo para a mistura houve aumento em todas as camadas. Nenhum dos tratamentos ajudou a manter os teores de potássio no solo. Com relação a capacidade de troca de cátions a utilização dos corretivos não apresentou grandes alterações, a mistura dos corretivos apresentou maior influência do processo de lixiviação. Para o carbono orgânico também não observou-se alteração nos teores com a utilização de calcário e com a mistura de corretivos, a adição de gesso isolado elevou o nível do carbono na camada superficial.

Através dos dados de Espectroscopia de Absorção Atômica pode-se avaliar a lixiviação de metais no solo. O solo sem corretivos sofreu uma perda muito grande de manganês, com calcário e com a mistura de dois corretivos a sua lixiviação ocorreu com mais dificuldade. O gesso agrícola aumentou a sua disponibilidade,

mas não evita a lixiviação. O zinco teve no solo sem corretivos um processo acentuado de lixiviação, a adição de calcário reteve o zinco na camada superficial, e aplicação do gesso acelerou o processo. A mistura de calcário e gesso agrícola não influenciou a retenção do zinco. Para o cobre observou-se uma forte lixiviação em todas as camadas. O calcário, o reteve na primeira camada, o gesso neutraliza-o nas camadas superiores, e evita a sua lixiviação das camadas inferiores. A mistura mantém alta a quantidade de cobre em todas as camadas. O chumbo apresentou uma forte movimentação para o solo sem corretivo, o calcário e o gesso inibem sua lixiviação, e a mistura eleva o nível de chumbo nas camadas abaixo da superfície. Verificou-se para o níquel uma tendência forte de lixiviação. A adição do calcário e gesso agrícola mostrou um aumento na sua percolação, indicando que o elemento se incorporou ao soluto. O ferro apresentou grande mobilidade neste tipo de solo, e com a mistura dos corretivos a lixiviação do ferro é mais intensa. Finalmente para o cromo observou-se que no solo sem corretivo houve pequena lixiviação provocando um acúmulo leve nas camadas inferiores. O calcário aparentemente diminui a quantidade de cromo no solo, com gesso houve um acréscimo na sua quantidade e lixiviando de forma moderada, para a mistura observa-se a retenção do cromo nas duas primeiras camadas e favorecendo uma forte lixiviação nas camadas inferiores.

Portanto, observa-se que, para o Cambissolo Háplico estudado, a calagem atende as necessidades de correção de pH, neutralização de  $Al^{3+}$ , retenção de bases e nutrientes apenas para a camada tratada, porém, com processo de lixiviação muito lento. A mistura com gesso agrícola na calagem facilita este processo, aumentando a quantidade de cobre, mas aumentando a mobilidade do metais.

## REFÊRENCIAS

ADAMS, F. Crop response to lime in the Southern United States. In: ADAMS, F., ed. **Soil acidity and liming**. 2. ed. Madison, ASA, 1984. p. 212-266.

ADAMS, F. & RAWAYFIH, Z. Basalumite and alumite: **A possible cause of sulfate retention by acid soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:686-692, 1977.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. **Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos**. In: CURI, N. et al. (Ed.). Top. Cienc. Solo. Viçosa: SBCS, v. 3, 2003. p. 291-334.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; JENSEN, M. E. **Environment requirements of lysimeters**. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. (Eds.) *Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements*. In: International Symposium on Lysimetry, 1991, New York. *Proceedings...*New York: ASCE, 1991. p.170-81.

ALVA, A.K.; SUMNER, M.E. & MILLER, W.P. **Reactions of gypsum or phosphogypsum in weathered acid subsoils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:993-998, 1990.

AMARAL, A. S. & ANGHINONI, I. **Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto**. Pesq. Agropec. Bras., 36:675-702, 2001.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R. & BERTOL, I. **Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto**. R. Bras. Ci. Solo, 28:359-367, 2004.

ANJOS, I. M. dos. **Recuperação de um solo salino-sódico: efeito de diferentes níveis e formas de aplicação de gesso**. (Dissertação – Mestrado em Manejo e Conservação de Solo). 45 f. 1993. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba.

ARAÚJO, A. R. **Calagem e extrato vegetais hidrossolúveis na movimentação de íons em solo**. (Tese de Mestrado) Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003. 85p.

ARUNACHALAM, J.; EMONS, H.; KRASNODEBSKA, B.; MOHLI, C.,Sci. **Total Environ**. 1996, 181, 147.

BRADY, NYLE C. **Natureza e propriedades dos solos**. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo F.º. 7ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 898p. 1989.

BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; ZANELLO, S.; ROMANÓ E. N. L.; LUCIANO, P. R.; **Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:1763-1773, 2008.

BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVARES, V. H. e RUIZ, H. A. **Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.1, p.59-64,2004.Campina Grande, PB, DEAg/UFCG -<http://www.agriambi.com.br>. Disponível em 16/Dez/2004.

BECKETT, P. H. **The use of extractants in studies on traces metals in soil, sewage sludge, and sludgetreatedsoil**. Adv. Soil Sci., 9:143-176, 1989.

BELLINGIERI, P. A. **Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários agrícolas**. 1983, 99f. Tese de Doutorado ESALQ. Piracicaba:, 1983.

BENASSI, D. A. **Percepção e uso dos solos: o caso dos agricultores familiares da região centro-sul do Paraná**. 2008, 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BORKERT, C. M.; PAVANCT, M. A.; LANTMANN, A. F. – **Considerações sobre o uso de gesso na agricultura**, POTAFOS, Piracicaba, nº 40 dez 1987.

BRDE. (BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL) **Indústria de corretivos no extremo sul**. Porto Alegre, RS,1969. 206p.

CARVALHO, M. C. S. e RAIJ, B. Van. **Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth**. Plant Soil. V.192, p.37-48, 1997.

CAIRES, E. F.; CHUERI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. **Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, V. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; CHUERI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. **Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistema de plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.23, p.315 – 327 1999.

CAIRES, E. F.; CHUERI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. **Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a**

**calagem na superfície em sistema plantio direto.** Rev.Bras. Cienc. Solo, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 1011-1022, 2002.

CAIRES, E. F.; CHUERI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. **Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso.** Rev. Bras. Cienc. Solo, Viçosa, v. 28, p. 125-136, 2004.

CALVET, R.; BOEGEOIS, S.; MSAKY, J. J.; *J. Environ. Anal. Chem.* 1990, 19, 31.

CAMPECHE, L. F. S. M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da cultura da lima ácida "Tahiti" (*Citrus latifolia* Tan).** Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) 67 f. - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CANDELARIA, L. M.; CHANG, A. C. **Cadmium activities, solutions speciation, and solid phase distribution of Cd in cadmium nitrate and sewage sludge-treated soil systems.** Soil Science, v.162, p.722-732, 1997.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. de (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003. 294p.

CHANDHRY, G. H, WARKENTIN, B. P. **Studies on exchange of sodium from soil by leaching with calcium sulfate.** Soil Scientia, v.105,p. 190-197. 1968.

CHANG, M. L.; THOMAS, G .W. **A suggest mechanism for sulfate adsorption by soils.** Soil Science Society American, Madison, v.27, p.281-283, 1963

CHAVES, L.H.G.; SOUZA R.S.; CHAVES, I.B. et al. **Adsorção de metais pesados em Luvisolos e Cambissolos.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 150-162, mai /ago 2009.

CHAVES, M. M. **Effects of water deficits on carbon assimilation.** Journal of Experimental Botanical, Oxford, 42(1):1-16, 1991.

CHAWLA, K. L.; ABROL, I. P. **Effect of gypsum fineness on the reclamation of sodic soils.** Agriculture Water Management, v.5, p.41-50, 1982.

CIOTA, M. N. et al. **Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto.** Rev. Bras.Cienc. Solo, Viçosa, v. 28, p. 317-326, 2004.

DAL BÓ, M. A.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M.; THIÉBAUT, J. T. L.; NOVAIS, R.F. **Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas**

**com cana-de-açúcar: I. Movimentação de bases no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.10, p.195-198, 1986.

DANTAS, E. S. K. **Introdução à Absorção atômica.** Apostila, 1992.

DANTAS, E. S. K. **Procedimentos analíticos em determinações multielementares de particulados de aerossol atmosférico para uso em modelo receptor.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

DAVIDSON, C.; THOMAS, R. P.; McVEY, S. E.; PERALA, R.; LITTLEJHON, D.; URE, A. M.; **Anal. Chim. Acta** 1994, 291, 277.

DIEKOW, J. et al. 2004. **Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years.** Soil and Tillage Research, Amsterdam, 2004. no prelo.

DELHAIZE, E.; RYAN, P. R. **Aluminum toxicity and aluminum tolerance in plants.** Plant Physiology, Rockville, v.107, n.2, p.315-321, Feb. 1995.

DIEROLF, T. S.; AYRA, L. M.; YOST, R. S. **Water and Cation Movement in an Indonesian Ultisol.** Agron. J. 89:572-579. 1997.

ELSHOUT, V. D.; KAMPHORSTA, A. **Suitability of coarse-grade gypsum for sodic reclamation: a laboratory experimental.** Soil Science, v.149, n.4, p.228-234, 1990.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 247p.

EVANS, L. E.; KAMPRATH, E. J. **Lime response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter response.** Soil Science Society American Proceeding, Madison, v.32, n.2, p.297-310, Mar./Apr. 1970.

FOY, C. D. **Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soils.** In: ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming. 2.ed. Madison, ASA, p.57-98, 1984.

FOY, C. D. **Plant adaptation to acid, aluminium-toxic soils.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, v.19, p.959-987, 1988.

FOY, E. D. **Effects of aluminium on plant growth.** In: **The Plant Root and its environment, 1974, Charlottesville.** Anais... Charlottesville: University of Virginia, p.601-642, 1974.

FURNALI, P. R. & BERTON, R. S. **Atividade de cálcio e alumínio e desenvolvimento radicular**. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, IBRAFOS, 1992. p. 325-39.

FURTINI NETO, A. E.; TOKURA, A. M.; RESENDE, V R. **Interpretação de Análise de Solo e Manejo da Adubação**. Lavras. Ed. UFLA. 159p. 2004.

GARGANTINI, H.; MELLO, F. A. F.; ARZOELA, S. **Efeitos da calagem sobre os teores de cálcio mais magnésio de perfis de solos de cerrado**. Anais da ESALQ, v.39, p.1115-1136, 1982.

HUE, N. V.; ADAMS, F.; EVANS, C. E. **Sulfate retention by an acid BE horizon of an ultisol**. Soil Science Society of America Journal, Madison, 49: 1196-1200, 1985.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. & SILVA, L. S. **Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural**. R. Bras. Ci. Solo, 29:573-580, 2005.

KELLEY, W. P. **Cation exchange in soils**. New York: Reinhold, 1948. 144p (ACS. Monograph, 109).

KIRKHAM, R. R.; GEE, G. W.; JONES, T. L. **Weighing lysimeters recommendations for long-term water balance investigations at remote sites**. Soil Science Society America Journal, Madison, v. 48, p. 1203-1205, 1984.

KUCEY, R. M. N. **Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils**. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.63, n.4, p.671-678, 1983.

KONDORFER, G. **Gesso agrícola**. Disponível em: <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/apostila.htm>. Acesso em 10/05/2008.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos solos**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002, 178f.

LOPES, A. S. (trad. e adap.). **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989.153 p.

LOPES, A. S; SILVA, M. C; GUILHERME, L. R. G **Acidez do Solo e Calagem**. São Paulo, ANDA/Potafós 3ed, p.29, 1991.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. ANDA- Associação Nacional para Difusão de Adubos 1990, 22p. (Boletim Técnico, 1).

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. – **Sistema Plantio Direto**: Bases para o Manejo da Fertilidade do Solo, ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos), São Paulo, 115p., 2002.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro. Freitas Bastos. 182p. 2002.

LUM, K.R.; BETTERIDGE, J. S., McDONALD, R.R. **The potencial availability of P, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn in urban particulate matter**. Science and Technology Letters, v3.p.57-62, 1982.

MAACK, R. 1968. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: BADEP/UFPR/IBPT, 350 p.

MAGDOFF, F.R.; BARLETT, R. J. **Effect of Liming Acid Soils on Potassium Availability**. Soil Science 129:12-14; 1980.

MARIA de, I.C; ROSSETO, R.; AMBROSANO E.J.; CASTRO de, O.M.; NEPTUNE, A. M. L. **Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo**. Ciência Agrícola, Piracicaba, v. 50, n.1, p. 87-98, Mai 1993.

MARTINS, E.C. **Caracterização e quantificação mineralógica da fração argila dos horizontes Bi de Cambissolos da região de Irati, Paraná, pelo método Rietveld**. 2010. 79f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) – Universidade Estadual de Pontal Grossa, Ponta Grossa, 2010.

Mc COOL, 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).

Mc DOWELL, K. 2004. **The effectiveness of industrial by-products to stop phosphorus loss from a Pallic soil**. Aust. J. Soil Res. 42:755–761.

Mc LEAN, E.O.; BROWN, J. R. **Crop Response to Lime in the Midwestern USA. Soil Acidity and Liming**. 2.ed. N. 12 in the series Agronomy. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA, 1984. p.267-303.

MAIA, A.D. **Avaliação da geração de drenagem ácida em um solo fabricado em laboratório contendo sulfeto de ferro e matéria orgânica** (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2004.

MEDA, A.R.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. & CASSIOLATO, M.E. **Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo**. R.Bras. Ci. Solo, 26:647-654, 2002.

MELLO, F .A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S. et al. **Fertilidade do solo**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1984. 400p.

MELO, V. DE F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e Mineralogia do Solo**. Parte 1- conceitos básicos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 695 p. 2009a.

MELO, V. DE F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e Mineralogia do Solo**. Parte 2- Aplicações. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 685 p. 2009b.

Mendes, A. M. S. et al. **Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivado com meloeiro**. Rev. bras. eng. agríc. ambient., 2010, vol.14, no.8, p.791-796. ISSN 1415-4366.

MESSICK, D. L.; ALLEY, M. M. & ZELAZNY, L. W. **Movement of calcium and magnesium in Ultisols from dolomitic limestone**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 48, p.1096-1101, 1984.

MIBASA. **Calcário Belo Monte**. Disponível em: <http://www.mibasa.com.Br/bol-mont-2htm>. Acesso em nov.2003.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. – **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora UFLA, p. 305-325, 2002.

MORELLI, S. L.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J. O. C.; DEMATTÊ, J. L. I. **Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média álico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.16, p.187-194, 1992.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. & SEDIYAMA, T. **Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado**. R. Bras. Ci. Solo, 13:199-204, 1989.

OATES, K.M. & CALDWELL, A.G. **Use of by product gypsum to alleviate soil acidity**. Soil Sci. Soc. Am. J., 49:915-918, 1985.

OLIVEIRA, J.B de. **Pedologia Aplicada**, Jabotical, Funep, 2001.

OLMOS, J. I. L. & CAMARGO, M. N. **Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil sua caracterização e distribuição**. Ciência Cultural, v. 28, n. 2, p. 171-180, 1976.

OLSEN, S. R. & WATANABE, F. S. **Interaction of added gypsum in alkaline soils with uptake of iron, molybdenum, manganese and zinc by sorghum.** Soil Sci. Soc. Am. J., 43:125-130, 1979.

PÁDUA, T. R. P.; SILVA C. A.; MELO, L. C. A. **Calagem em Latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 869-878, 2006.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P.F. – **Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 46(6): 1201-1207, 1982.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. **Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian oxisol.** Soil Science Society of America Journal, v. 48, p. 33-38, 1984.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PEREIRA, F.J. **Influence of calcium and magnesium salts on acid soil chemistry and calcium nutrition of apple.** Soil Science of America Journal, 51:1526-1530, 1987.

PAVAN, M. A. **Effect of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> salts on exchangeable aluminum.** Ciência e Cultura, Rio de Janeiro, v.45, n.2, p.123-26, 1993.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. **Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo.** Rev. Bras. Cienc. Solo, Viçosa, v. 25, p. 885-895, 2001.

Pimentel, A. *et al*. **Floresta.** Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

POLOMSKI, J.; FLUHLER, H. & BLASER, P. **Fluoride-induced mobilization and leaching of organic-matter, iron and aluminum.** J. Environ. Qual., 11:452-456, 1982.

PRADO, R. M.; KORNDORFER, G.H. **Efeitos da escória de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zea mays L*) cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.** *Científica*, Jaboticabal, v.31, n.1, p.9-17, 2003.

QUAGGIO, J. A. **Critérios para calagem em solos do Estado de São Paulo.** Piracicaba, 1983. 76p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP.

QUAGGIO, J. A. **Resposta das culturas à calagem.** In: **Seminário sobre corretivos agrícolas, Piracicaba.** Trabalhos apresentados, Campinas, Fundação Cargil, 1985 p.123-57, 1985.

QUAGGIO, J. A. **Respostas das culturas de milho e soja, à aplicação de calcário e gesso e movimento de íons em solos do Estado de São Paulo.** In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, 1992. **Anais.** Uberaba, IBRAFOS, 1992. p. 341-62.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas, Instituto Agrônômico, 2000. 111p.

QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. Van. **Efeito da aplicação do calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.6, p.189-194, 1982.

QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 1996. p.14-19. (Boletim Técnico, 100).

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. Van. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais.** In: Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. p.181-188.

RAIJ, B. Van. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba, Instituto Internacional da Potassa e Fosfato, 1981. 142p.

RAIJ, B. Van. **Gesso Agrícola na Melhoria do Ambiente Radicular no Subsolo.** Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88p.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba, POTAFOS, p.137-148, 1991.

RAIJ, B. Van. **Gesso na Agricultura.** Campinas, Instituto Agrônômico, 2008. 233p.

RAIJ, B. Van. **Reações de gesso em solos ácidos.** In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, 1992. **Anais.** Uberaba, IBRAFOS, 1992. p.105-119.

RAIJ, B. Van & PEECH, M. **Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v.36, n.4, p.587-97, 1972.

RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais.** In: Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. p.189-199.

RAMOS, L.A., NOLLA, A., KORNDÖRFER, G.H., PEREIRA, H.S., CAMARGO, S.M. **Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solos em colunas de lixiviação**. R. Bras. Ci. Solo, 30:849-857. 2006.

RAVEN, H. P.; EVER, R.F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 2007, 830 p.

REEVE, N.G.; SUMNER, M. E. **Ameriolation of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments**. Agrochemophysica, v4.p1-6, 1972.  
REITEMEIER, R. F. **Soil Potassium**. Adv Agron 3:113-164; 1951.

RESENDE, M., CURI N., SANTANA, P. D. **Pedologia e Fertilidade do Solo: interações e aplicações**. Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESAL; Piracicaba: POTAFOS, 1988.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J. & XAVIER, F. M. **Aplicação superficial de calcário no plantio direto consolidado em solo arenoso**. Ci. Rural, 30, 2000 (no prelo)

RIBEIRO FILHO. M. R, et al. **Fracionamento e disponibilidade de metais pesados em solos contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos**. R.Bras.Ci.Solo,v.25,p.495-507, 2001.

RIBEIRO, L. F. M. **Interferência nos atributos químicos do solo sob diferentes doses de termofosfato e superfosfato simples no cafeeiro**. 43 f. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura (Graduação) – Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. **Calcium Deficiency in Clayey Horizons of Savanna Oxisols**. Soil Science 133.378-382; 1982.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; SOUSA, D. M. G., CORREA, O. **Relação entre o teor de cálcio e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7 n.3, p.269-75, 1983.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. **Calcium leaching to increase rooting depth in a brazilian savannah oxisol**. Agronomy Journal, v.72, p.40-42, 1980.

ROSA JÚNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. **Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.36, n.1, p.37-44, 2006.

ROSSA, U.B. **Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná**. Dissertação de Mestrado. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2006. 150f.

SANTOS, R. V. dos. **Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro *Vigna (Vigna unguiculata (L.) WALD.)***. 1995. 120 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

SASTRE, I.; VICENTE, M. A.; LOBO, M. C; **Behaviors of cadmium and nickel in a soil amended with sewage sludge**. Land Degradation and Development, v.12,27-33, 2001.

SBCS. (REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E DE TECIDO VEGETAL DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC). **Recomendação de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo, - Núcleo Regional Sul, 1994.224p.

SEDIYAMA M. A. N; GARCIA N. C. P.; VIDIGAL S. M; MATOS A. T. 2000. **Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos**. Scientia Agricola 57: 185-189.

SHAINBERG, J., SUMMER, M. E., MILLER, W. P., FARINA, M. P. W., PAVAN, M. A., FEY, M. V. **Use of gypsum on soils: a review**. Advances in Soil Science, New York, v.9, p.1-111, 1989.

SILVA, F. C.; FOLEGATTI, M. V.; MAGGIOTTO, S. R. **Análise de funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.7, n.1, p.53-8, 1999.

SINGH, S.J. **Effect of chloride and sulfate anions on the chemical characteristics of some acid soils**. Can. J. Soil Sci., 62:549-557, 1982.

STOUT, W. L., SHARPLEY A. N., PIONKE. H. B. 1998. **Reducing soil phosphorus solubility with coal combustion by-product**. J. Environ. Qual. 27:111–118.

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Atlas de recursos hídricos do Estado do Paraná. Curitiba: SUDERHSA, 1998, p. 7-11.

SUMNER, M. E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. **Amelioration of an acid soil profile through deep liming an surface application of gypsum**. Soil Science Society of America Journal, v.50, p.1254-1278, 1986.

THERMO ELEMENTAL. **The analysis of agricultural materials by Atomic Absorption Spectrometry**, Reprint N°S509AN, April 2002.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P. G. C.; BISSON, M.; *Anal. Chem.* 1979, 51, 844.

TISTALE, S.L. & NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York, MacMillan, 1975. 694p.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. 6.ed. São Paulo: Andrei, 2007. 718 p.

UNGARO, M. R. G. **Instruções para a cultura do girassol**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1985. 18p. (Boletim técnico, 103)

VETTORI, L. **Métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro, Ministerio de Agricultura, Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969.24p. (Boletim Técnico,7).

VIEIRA, J. L. F., PASSARELI, M. M. **Determinação de mercúrio total em amostras de água, sedimento e sólidos em suspensão de corpos aquáticos por espectrofotometria de absorção atômica com gerador de vapor frio**. Caderno de Saúde Publica, p. 256 – 260. 1996.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A., PEREIRA, H. S.; DEMATTÊ, J. L. I. **Resultados experimentais do uso de gesso na agricultura – cana-de-açúcar**. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, 1992. Anais. Uberaba, IBRAFOS, 1992. p. 191-224

VITTUM, M. T; LATHWELL, D. J; GIBBS, G. H. **Cumulative Effects of Irrigation and Fertilizer on Soil Fertility**. *Agron. J.*60: 563-565, 1968.

WADT, P.G.S.; WADT, L.H.O. **Movimentação de cátions em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubadas com duas fontes de cálcio**. *Scientia Agricola*, 56(4): 1157-1164, 1999.

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

WELZ, B.; MELCHER, M.; *Anal. Chim. Acta*, 1984.

WRIGHT, R. J. and STUCYNSKI, T. **Methodos of Soil Analysis**, Number 5, Madison,WI, EUA. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1996.

ZANELLO, S. **Caracterização mineralógica e avaliação dos teores de Cr, Ni, Cu, Zn e Pb dos solos do entorno do aterro sanitário da caximba em Curitiba (PR).** 2006. 102f. Dissertação. (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ZECH, W. et al.,. **Factors controlling humification and mineralizing of soil organic matter in the tropics.** Geoderma, v.79, p117-161,1997.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)