

Influência da adição de um resíduo industrial alcalino na velocidade de neutralização da acidez do solo, adsorção de sódio e disponibilidade de magnésio para o trigo

Influence of the addition of an alkaline industrial residue on the soil acidity neutralization rate, adsorption of sodium and availability of magnesium to wheat

Henrique Cesar Almeida¹, Paulo Roberto Ernani^{2*}, Humberto H. Marin³, Eduardo H. Escapini³, José Mecabô Junior³

Recebido em 11/06/2007; aprovado em 19/12/2007.

RESUMO

O dregs é um resíduo industrial de caráter alcalino que pode ser utilizado para elevar o pH do solo a um custo baixo. Como ele apresenta baixos teores de Mg e elevados teores de Na, pode interferir negativamente no crescimento das plantas. Este trabalho teve por objetivos avaliar a velocidade do dregs de neutralizar a acidez do solo; quantificar o efeito da elevação do pH do solo com dregs na disponibilidade de Mg para o trigo; e determinar o comportamento da adsorção de Na em diferentes níveis de acidez. Para isso, foram conduzidos três experimentos, em laboratório ou em casa-de-vegetação, utilizando-se amostras de um Cambissolo Húmico. Nos dois primeiros experimentos utilizaram-se quantidades crescentes de dregs que tinha 354 g Ca kg⁻¹, 9,2 g Mg kg⁻¹, 10,2 g Na kg⁻¹, pH = 10,7, valor de neutralização de 80% e eficiência relativa de 100%. No experimento com plantas, foi avaliada a resposta do trigo à adição de Mg em diferentes valores de pH resultantes da adição de dregs. As reações de neutralização da acidez do solo foram concluídas num período inferior a três semanas após a aplicação de dregs. A adsorção de Na às cargas negativas e sua afinidade eletrônica pela fase sólida desse Cambissolo, definida pelo coeficiente de partição da reação de adsorção (K_p), tiveram o comportamento de uma isoterma tipo-C e aumentaram com a elevação do pH do solo. Apesar da adição de Mg ter aumentado

a produção de massa seca de trigo em todas doses de dregs, a elevação do pH pela adição do resíduo industrial não interferiu na disponibilidade de Mg e no crescimento das plantas.

PALAVRAS-CHAVE: pH do solo, adsorção de sódio, dregs, magnésio, calagem.

SUMMARY

Dregs is an alkaline industrial residue that can be used to raise soil pH at low cost. Since it presents low Mg and high sodium amounts, it can negatively affect plant growth. This work was carried out to evaluate the speed of dregs to neutralize the soil acidity; to measure the effect of soil pH elevation due to dregs in the availability of Mg for wheat plants; and to assess the behavior of Na adsorption in different levels of soil acidity. Three experiments were set up, in the laboratory or in a greenhouse, using samples of a Haplumbrept soil. Increasing amounts of dregs were used in the first two experiments, having the following composition: 354 g Ca kg⁻¹, 9.2 g Mg kg⁻¹, 10.2 g Na kg⁻¹, pH = 10.7, neutralization value of 80% and relative efficiency of 100%. The effect of Mg addition on different pH levels after dregs addition was evaluated in the wheat experiment. The reactions dealing with neutralization of soil acidity due to addition of dregs were concluded in a period smaller than three weeks after dregs application. The adsorption of Na

¹ Estudante de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Av. Luiz de Camões n° 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC.

² Eng. Agr., Prof. Adjunto, Departamento de Solos, CAV/UDESC, Bolsista do CNPq. *E-mail: a2pre@cav.udesc.br.

³ Estudantes de Agronomia, CAV/UDESC.

to the negative charges and the electronic affinity of Na for the solid phase of this Haplumbrept, defined by the partition coefficient of the adsorption reaction (K_p), had the behavior of a C-type isotherm and both increased with the rise of soil pH. Despite the addition of Mg having increased the wheat dry mass yield in all rates of dregs, pH increase due to the addition of industrial residue did not affect Mg availability and plant growth.

KEY WORDS: soil pH, sodium adsorption, dregs, magnesium, liming.

INTRODUÇÃO

Vários resíduos industriais têm sido utilizados na agricultura como fonte de nutrientes ou como corretivos da acidez, uma vez que o solo consegue inativar parcialmente os compostos adicionados por meio de vários mecanismos químicos, principalmente por reações de adsorção e de precipitação (SPARKS, 1995). O descarte de resíduos no solo é uma alternativa interessante porque ao mesmo tempo em que reduz o potencial poluente desses materiais os utiliza como insumos agrícolas de baixo custo (SIMONETE et al., 2003).

A indústria de papel e celulose gera vários subprodutos, dentre eles o dregs, um resíduo sólido alcalino que pode ser utilizado como corretivo da acidez de solos agrícolas a um custo bem mais baixo que o calcário. Este resíduo é gerado em grande quantidade na região do planalto sul catarinense, que possui uma extensa área de reflorestamento de pinus destinada à manufatura do papel. O dregs possui características químicas similares as do calcário calcítico, com aproximadamente 350 g kg^{-1} de Ca e entre 10 g kg^{-1} a 30 g kg^{-1} de Mg (NURMESNIEMI et al., 2005; ALMEIDA et al., 2007). A alta relação Ca/Mg pode provocar a falta de Mg às plantas se esse produto for adicionado em grandes quantidades, principalmente em solos com baixa disponibilidade desse nutriente (OLIVEIRA e PARRA, 2003).

O dregs também apresenta baixas concentrações de elementos-traço, como níquel (Ni), cádmio (Cd) e chumbo (Pb), tornando viável seu uso no meio agrônomico (NURMESNIEMI et al., 2005; ALMEIDA et al., 2007). Apesar dessas

características favoráveis, a adição de quantidades elevadas desse resíduo ao solo pode prejudicar algumas propriedades físicas, devido à presença de Na, que pode variar de 20 a 30 g kg^{-1} (ALBUQUERQUE et al., 2002; NURMESNIEMI et al., 2005). O excesso de Na^+ favorece a dispersão dos colóides orgânicos e minerais do solo (NELSON et al., 1998; ALBUQUERQUE et al., 2002) por aumentar a espessura da dupla camada elétrica (VAN OLPHEN, 1977) devido ao seu grande raio hidratado.

O sódio é retido pela fase sólida do solo exclusivamente por adsorção eletrostática às cargas elétricas negativas. Sua atividade e sua concentração na solução do solo são influenciadas, portanto, pela quantidade de cargas elétricas negativas, pela atividade de outros cátions, principalmente Ca, Mg, K e Al, e também pelos coeficientes de seletividade do Na em relação a esses cátions. A relação entre a adsorção e a atividade de um dado íon na solução, assim como a capacidade máxima de adsorção pelo solo, pode ser obtida por meio de isothermas de adsorção (ALLEONI et al., 1998). As isothermas de adsorção são equações matemáticas que descrevem quantitativamente a adsorção de solutos por sólidos, numa determinada temperatura. A técnica mais utilizada consiste em adicionar uma quantidade conhecida de soluto a uma quantidade conhecida de um dado adsorvente. A diferença entre a concentração que foi adicionada e a concentração do soluto em solução é a quantidade do soluto que ficou adsorvida à superfície adsorvente (McBRIDE, 1994).

A utilização de resíduos industriais no solo, portanto, deve ser precedida de vários estudos relacionados com as possíveis alterações que esses produtos possam ocasionar nas propriedades físico-químicas do solo, assim como no desenvolvimento das plantas. A velocidade de reação também deve ser considerada, pois é um parâmetro que influencia a permanência de seus íons no solo. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivos: avaliar a velocidade de neutralização de acidez, as características da adsorção de sódio pelo solo em função da variação do pH, e a necessidade de aplicar magnésio juntamente com o dregs para o trigo cultivado em casa-de-vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi constituído por três experimentos, sendo dois conduzidos em laboratório e um em casa-de-vegetação, todos no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), durante o segundo semestre de 2006. No experimento I, foi avaliada a velocidade do dregs em neutralizar a acidez do solo. No experimento II, avaliou-se a adsorção de sódio por meio de isothermas em função da variação do pH do solo. No experimento III, avaliou-se a necessidade de adição de magnésio para o trigo em função da elevação do pH pela adição de dregs.

Em todos os experimentos foram utilizadas amostras de um Cambissolo Húmico alumínico (EMBRAPA, 1999), previamente passadas em peneira com malha de 2,0 mm (TFSA), que apresentavam as seguintes características químicas e granulométricas: pH-H₂O = 4,8; pH-CaCl₂ = 4,3; Na⁺ = 16 mg kg⁻¹; K⁺ = 198 mg kg⁻¹; Ca⁺² = 1,4 cmol_c kg⁻¹; Mg⁺² = 1,0 cmol_c kg⁻¹; Al⁺³ = 5,4 cmol_c kg⁻¹; CTC efetiva = 8,6 cmol_c kg⁻¹; 350 g kg⁻¹ argila; 360 g kg⁻¹ silte e 290 g kg⁻¹ areia. O dregs utilizado foi previamente seco em estufa (≅ 100 °C) para retirar a umidade e tinha a seguinte composição química: Ca = 354 g kg⁻¹; Mg = 9,2 g kg⁻¹; Na = 10,2 g kg⁻¹; pH = 10,7; valor de neutralização de 80%, e eficiência relativa de 100% (ALMEIDA et al., 2007).

Experimento I. Velocidade de neutralização da acidez

Utilizaram-se amostras de 1,0 kg de solo (base seca) sobre as quais foram aplicadas doses crescentes de dregs (com três repetições), correspondentes a 0, ¼, ½, 1,0 e 1,5 vezes a quantidade de calcário (PRNT = 100%) recomendada pelo método SMP para elevar o pH a 6,0, respectivamente 0, 2,5, 5, 10 e 15 g kg⁻¹ (COMISSÃO, 2005), sendo o delineamento completamente casualizado. Após a adição do dregs, as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno, em temperatura ambiente, com umidade correspondente a aproximadamente 80% do teor de água retido na capacidade de campo. As determinações de pH iniciaram após 48 horas de incubação e continuaram uma vez por semana até a

estabilização do mesmo.

A leitura do pH foi realizada utilizando-se CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ como solvente, na relação solo:solvente de 1:1 (TEDESCO et al., 1995). A determinação foi realizada por potenciometria. Os dados foram ajustados em equações de regressão a 1 e 5% de significância. Posteriormente, as equações foram comparadas pelo teste “t” de Student (p < 0,05) para verificar distinção entre as mesmas (THEIL, 1971). O cálculo foi baseado na diferença entre os coeficientes angulares, cujo resultado foi dividido pelo desvio padrão (σ) das equações (b₁ - b₂ / σ).

Experimento II. Isothermas de adsorção de sódio

Os tratamentos consistiram de um fatorial (4 x 8) com quatro níveis de pH do solo e oito doses de sódio, distribuídos no delineamento experimental completamente casualizado com três repetições. O sódio foi aplicado na forma de cloreto de sódio pró-análise (NaCl). Utilizaram-se amostras de solo previamente incubadas com quatro quantidades distintas de CaCO₃ pró-análise, nas doses de 0, 2,5, 5, 10 g kg⁻¹, correspondendo a 0, ¼, ½, e 1,0 vez a dose de calcário (PRNT = 100%) recomendada pelo método SMP para elevar o pH a 6,0 (COMISSÃO, 2005).

O efeito do pH na adsorção de Na foi avaliado por meio de curvas de adsorção. Para isto, utilizaram-se 2,0 g de solo às quais foram adicionados 20 mL de solução contendo 0, 5, 10, 20, 40, 80, 160 e 320 mg de Na L⁻¹, na forma de NaCl, de forma a aplicar, respectivamente, as seguintes concentrações de Na no solo: 0, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 e 3200 mg kg⁻¹, o que corresponde, na maior dose, o valor maior que a 60% da CTC efetiva deste solo. Após 22 horas de agitação (150 oscilações min⁻¹), seguidas de 22 horas de decantação, determinou-se a quantidade de Na no extrato remanescente. A concentração de sódio foi determinada por fotometria de emissão. Já a quantidade de Na adsorvida foi calculada pela diferença entre a quantidade adicionada e a remanescente no extrato de equilíbrio. Os resultados foram ajustados a uma isoterma tipo-C, onde pode-se avaliar a relação entre o Na adsorvido e o Na na solução de equilíbrio (Na_{ads} / Na_{eq}). Esta relação fornece o coeficiente de partição da reação

de adsorção (K_p), ou seja, a medida da razão entre a quantidade de material que é adsorvido à fase sólida para a quantidade que fica na solução de equilíbrio (SPARKS, 1995). Avaliou-se também a percentagem de adsorção de Na e a relação entre o Na adsorvido e o Na adicionado, em mg kg^{-1} ($\%Na_{\text{ads}} = Na_{\text{ads}} / Na_{\text{adc}} \cdot 100$). O pH do solo foi determinado por potenciometria na relação solo:água destilada de 1:1 (TEDESCO et al., 1995).

Experimento III. Influência da adição de Mg na produção de massa seca do trigo

Os tratamentos consistiram de um fatorial (5 x 2) com cinco doses de dregs e adição ou não de magnésio. As quantidades de dregs aplicadas corresponderam a 0, 1/4, 1/2, 1,0 e 2,0 vezes a necessidade de calcário (PRNT = 100%) recomendada pelo método SMP para elevar o pH a 6,0, respectivamente 0, 2,5, 5, 10 e 20 g kg^{-1} . O Mg (240 mg kg^{-1} , base seca) foi aplicado na forma de sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$). Utilizou-se o delineamento experimental completamente casualizado, com três repetições.

Após a aplicação do dregs e do Mg ao solo, as unidades experimentais (3,0 kg solo, base seca) permaneceram incubadas por 60 dias com aproximadamente 80% do teor de água retido na capacidade de campo. A seguir, o solo foi transferido para vasos com capacidade para 6,0 litros, e 12 plantas de trigo (*Triticum aestivum*) por vaso foram cultivadas durante 60 dias, em casa-de-vegetação. Ao término desse período, as plantas foram cortadas junto ao solo, transferidas para estufa ajustada a 60 °C, e mantidas até atingirem peso constante. Depois de pesadas, as plantas foram moídas e nelas foram determinados os teores de Ca, Mg, Na e K conforme metodologia adaptada de Morgano et al. (2002). Esse método consiste em pesar 0,200 g de tecido vegetal em cadinhos de porcelana e oxidar o material orgânico em mufla a 450 °C \pm 5 durante 24 horas. Posteriormente, as cinzas são solubilizadas pela adição de 20 mL de HCl 1,0 mol L⁻¹. No solo, avaliaram-se também os teores trocáveis de Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ e K⁺, além dos valores de pH em água, segundo metodologia descrita em Raij et al. (2001). No processo de extração, usou-se uma solução de NH₄Cl 1,0 mol L⁻¹ na proporção solo:solução

extratora de 1:10.

As concentrações de Ca⁺² e de Mg⁺² foram quantificadas por espectrofotometria de absorção atômica; as de K⁺ e de Na⁺ por fotometria de emissão, e o pH por potenciometria na relação solo:água destilada de 1:1. Os dados foram ajustados em equações de regressão a 1 e 5% de significância. Posteriormente, as equações foram comparadas pelo teste “t” de Student ($p < 0,05$) para verificar distinção entre as mesmas (THEIL, 1971). O cálculo foi baseado na diferença entre os pontos de máxima obtidos pelas derivadas das equações de regressão divididas pelo desvio padrão (σ) das mesmas (ponto de máxima 1 – ponto de máxima 2 / σ).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Velocidade de reação

O pH do solo aumentou com o aumento da dose aplicada de dregs e o melhor ajuste foi obtido numa equação retangular simples [$y = y_0 + ax(b + x)^{-1}$] onde “y” corresponde ao pH-CaCl₂ e o “x” à dose do resíduo. A reação de neutralização da acidez do solo pela adição de dregs foi rápida, reagindo completamente com o solo num período inferior a três semanas, conforme pode ser visto pelos coeficientes angulares das equações (Tabela 1). Houve diferença significativa pelo teste “t” a 5% de probabilidade entre os coeficientes da segunda e da terceira semana, não havendo mais diferenças a partir daí. Na maior dose de dregs (15 g kg^{-1}), o pH máximo determinado em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ variou entre 6,4 e 6,6 (Tabela 1). Na primeira semana após a mistura do dregs com o solo, mais de 90% da reação havia sido completada. Isto mostra que o dregs reage rapidamente no solo, resultante principalmente do pequeno diâmetro de suas partículas e dos anions OH⁻ e CO₃⁻², que conferem um forte caráter alcalino ao produto (ALMEIDA et al., 2007). O dregs, portanto, não precisa ser aplicado ao solo com muita antecedência conforme é recomendado para o calcário agrícola.

Isoterma de adsorção de sódio

A adsorção de Na⁺ e o coeficiente de partição da reação de adsorção (K_p) aumentaram linearmente com o incremento do pH do solo (Figura 1). Nas

Tabela 1 - Equações da velocidade de neutralização da acidez do solo durante cinco semanas.

Semanas	Equações	R ²
1	$y = 4,12 + \frac{3,10x}{26,22 + x}$	0,99**
2	$y = 4,06 + \frac{3,60x}{29,40 + x}$	0,99**
3	$y = 4,18 + \frac{4,11x}{32,70 + x}$	0,99**
4	$y = 4,14 + \frac{3,78x}{30,60 + x}$	0,99**
5	$y = 4,13 + \frac{4,10x}{35,10 + x}$	0,99**

** Significativo a 1% de probabilidade.

amostras de solo com o maior pH-H₂O (6,6), a adsorção de Na⁺ e o K_p foram respectivamente 6,2 mmol kg⁻¹ e 0,85 L kg⁻¹. Nesse valor de pH, o Cambissolo adsorveu 138 mg kg⁻¹ do sódio adicionado pela maior dose, cerca de 20 mg kg⁻¹ a mais do que as amostras de solo com pH natural (4,7) para a mesma dose adicionada no solo (3200 mg kg⁻¹). Na ausência de calcário, portanto, a maior dose aplicada de Na⁺ promoveu uma adsorção de 4,1 mmol kg⁻¹ e apresentou um K_p de 0,58 L kg⁻¹. O incremento na adsorção de Na⁺ com a elevação do pH do solo pela utilização de CaCO₃ se deve à elevação nas cargas elétricas negativas (ALBUQUERQUE et al., 2000), uma vez que o Na⁺ somente é adsorvido por complexos de esfera externa devido a seu grande raio hidratado, o que dificulta sua aproximação das superfícies sólidas carregadas negativamente (SPOSITO, 1989). Isto mostra que este Cambissolo retém pouco Na⁺ no seu complexo sortivo, mesmo nos valores de pH maiores do que 6,0, evidenciando que a lixiviação será elevada caso sejam adicionadas grandes quantidades desse elemento (ALMEIDA et al., 2006).

Atributos químicos do solo e produção de massa seca do trigo em função da adição de dregs

A produção de massa seca do trigo aumentou quadraticamente com o aumento da dose de dregs

(Figura 2). Independente da aplicação de Mg⁺⁺, a produção máxima foi observada na dose de 30 Mg ha⁻¹ do resíduo alcalino (pH-H₂O próximo a 7,0) (Figura 2), decaindo a partir deste valor, provavelmente em função da diminuição na disponibilidade de P e/ou de algum micronutriente.

A adição de Mg⁺⁺ ao solo a partir de um sal neutro aumentou a produção de massa seca do trigo em todos os valores de pH, como mostram os valores de “t” (THEIL, 1971) para a significância de 5% (Figura 2). Em solos com baixos teores de Mg⁺⁺, as plantas respondem à sua aplicação, independentemente do pH, caso esse seja aumentado pela adição de produtos alcalinos que não contenham Mg⁺⁺ ou que o possuam em baixa concentração. A elevação das doses de dregs não aumentou a intensidade de resposta ao Mg, como poderia ser esperado. O aumento do pH pela utilização de corretivos que não possuam Mg⁺⁺ diminui a atividade desse íon na solução devido ao aumento da atividade de Ca⁺⁺, assim como pela maior adsorção de Mg⁺⁺ por complexos de esfera externa, devido ao aumento das cargas elétricas negativas, e por complexos de esfera interna, devido ao aumento da força iônica da solução (McBRIDE, 1994; ALBUQUERQUE et al., 2000).

O pH-H₂O água (Figura 2) e o sódio trocável (Figura 3) aumentaram linearmente com o aumento

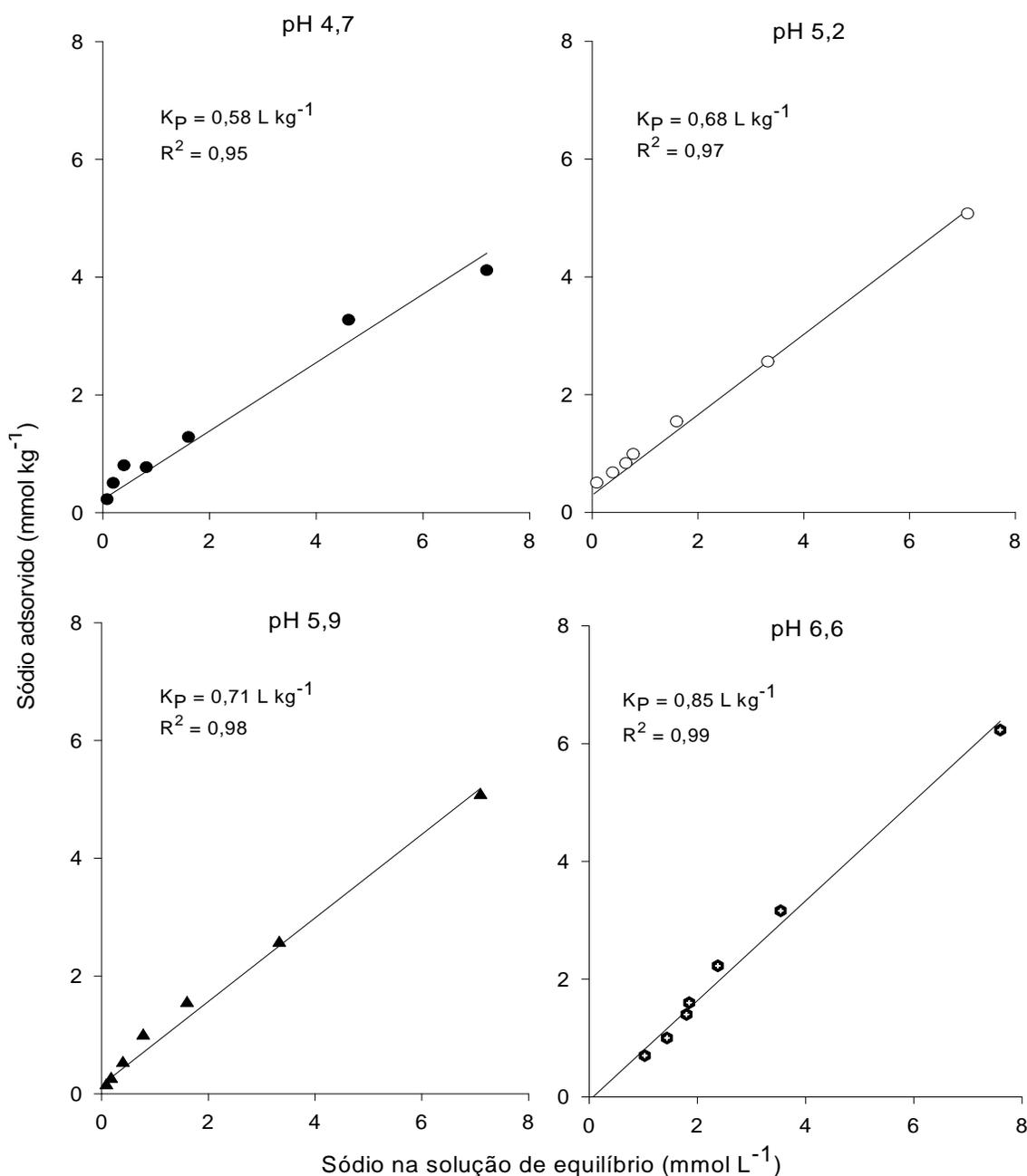


Figura 1- Relação entre o Na adsorvido e o Na na solução de equilíbrio, em função da adição de doses de Na a amostras de um Cambissolo com quatro níveis de pH-H2O. K_p representa o coeficiente de partição.

da dose de dregs e não foram influenciados pela adição de Mg⁺⁺. Cada tonelada adicionada de dregs proporcionou um incremento médio no pH de 0,065 unidades. Para o Na⁺ este incremento foi de 27,8 mg kg⁻¹, devido à grande quantidade deste elemento presente no dregs, cerca de 10 g kg⁻¹ (ALMEIDA et al., 2007). Na quantidade de 10 Mg ha⁻¹, o valor médio de Na⁺ foi de 111 mg kg⁻¹. O teor de Ca⁺² no solo aumentou quadraticamente com a adição do

produto, independente da adição de Mg⁺⁺. Na dose de 10 Mg ha⁻¹ o valor desse nutriente chegou a 9,6 cmol_c kg⁻¹. O teor de Mg⁺⁺ trocável do solo, por outro lado, não foi influenciado nos tratamentos onde esse nutriente não foi aplicado, porém diminuiu com a elevação do pH nos tratamentos que receberam Mg na forma de sal provavelmente em função de sua adsorção por complexos de esfera interna.

As concentrações de Ca⁺⁺ e de Mg⁺⁺ na parte

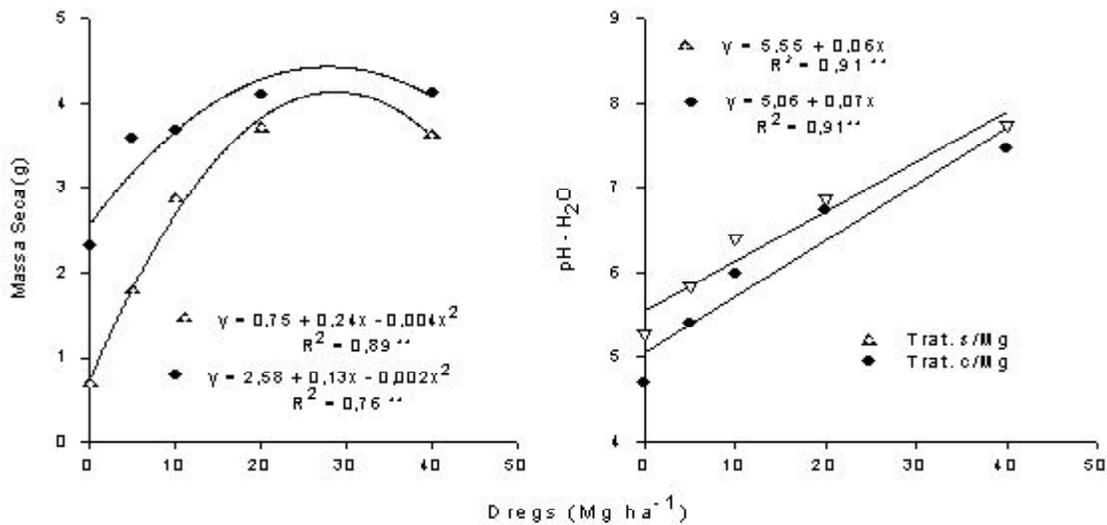


Figura 2 - Produção de massa seca da parte aérea do trigo e valores de pH-H₂O de um solo em função da adição de doses de dregs, combinadas ou não com a aplicação de Mg.

** Regressões significativas a 1% de probabilidade.

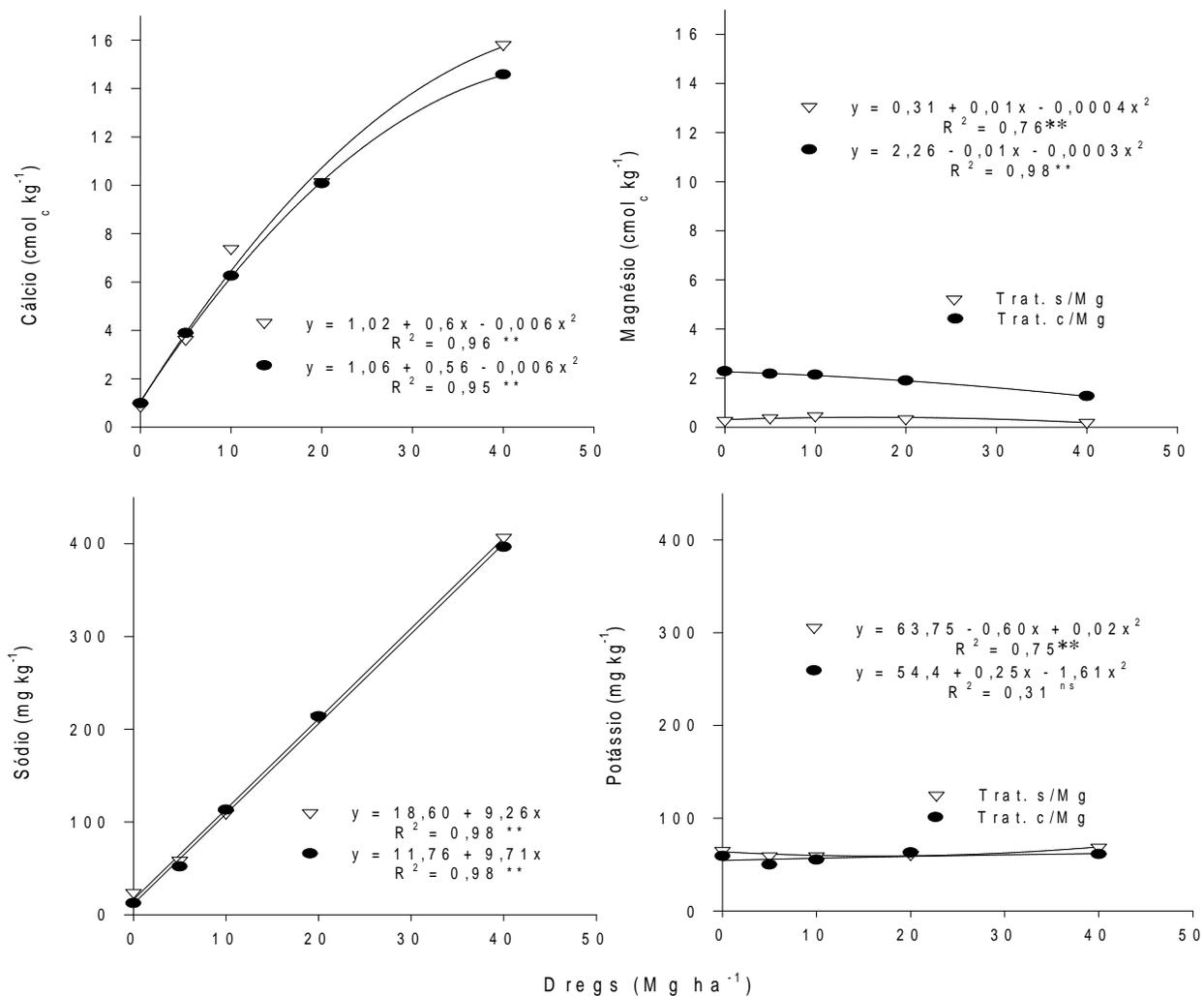


Figura 3 - Teores trocáveis de cátions de um Cambissolo em função da adição de doses de dregs, combinadas ou não com a aplicação de Mg.

** Regressões significativas a 1 e 5%; ns = não significativo.

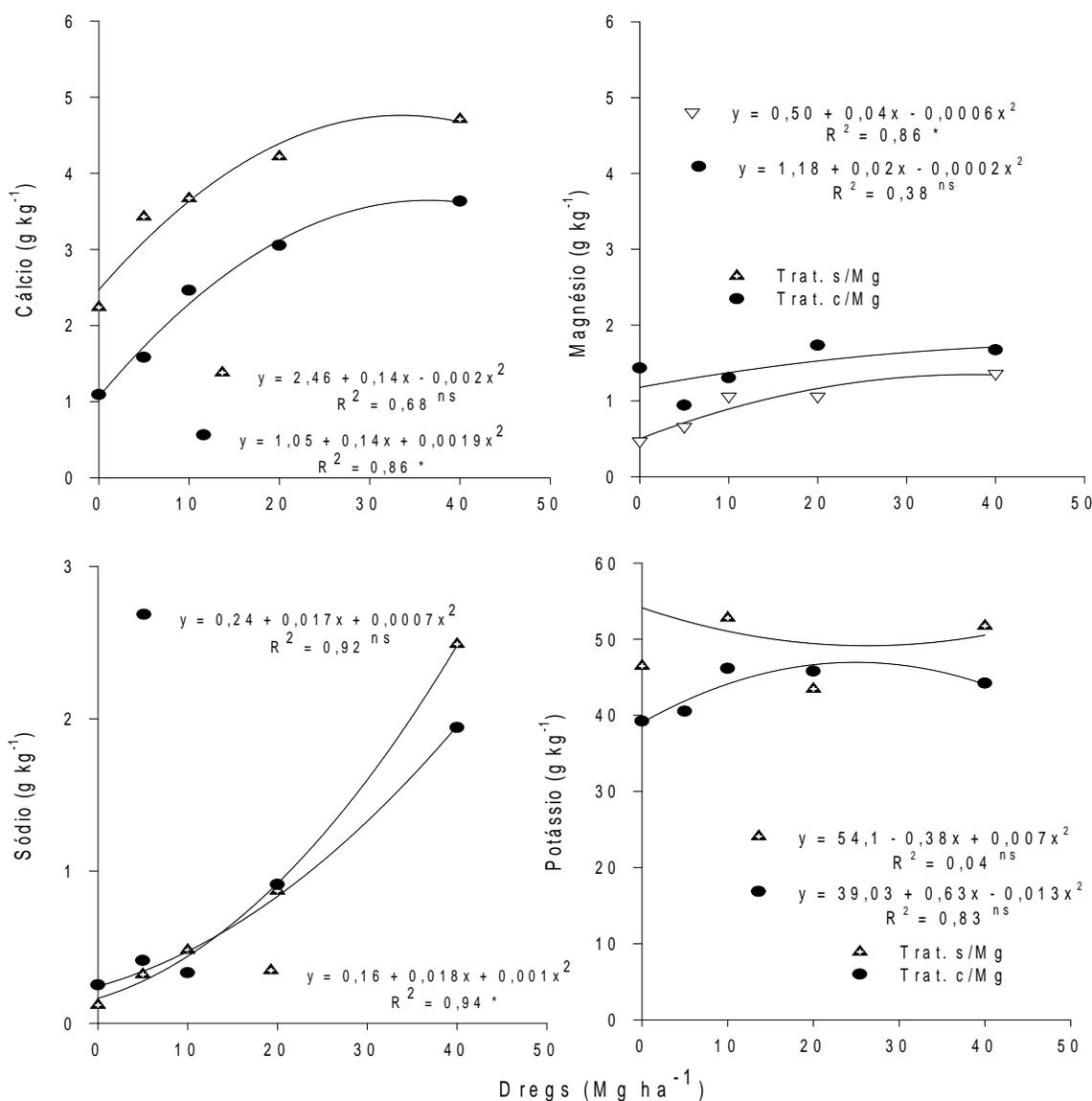


Figura 4 – Concentração de elementos na parte aérea da planta de trigo em função de doses crescentes de dregs num Cambissolo, combinadas ou não com Mg.

*Regressões significativas a 5%; ns = não significativo.

aérea do trigo também aumentaram quadraticamente com o incremento na dose de dregs aplicada (Figura 4), porém não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam ou não suplementação de Mg⁺⁺. Resultado similar ocorreu para o Na⁺ aplicada no tratamento sem suplementação de Mg⁺⁺, não sendo significativo quando este íon foi adicionado, provavelmente devido ao coeficiente de seletividade existente entre o sódio e cátions polivalentes, caso do Ca⁺⁺ e do Mg⁺⁺. A concentração de K⁺ não foi

influenciada pelas doses de dregs (Figura 4).

CONCLUSÕES

1. Na granulometria utilizada, o dregs reagiu completamente com o solo num período inferior a três semanas, mostrando que não necessita ser aplicado ao solo com muita antecedência.
2. A adsorção de sódio às cargas negativas do solo e sua afinidade eletrônica, definida pelo K_p,

aumentaram com a elevação do pH do solo devido ao incremento nas cargas dependentes de pH.

3. A adição de magnésio ao solo aumentou o rendimento de massa seca de trigo em todas as doses de dregs, porém o aumento da dose de dregs não prejudicou a disponibilidade desse nutriente mesmo quando não aplicado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R. et al. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.295-300, 2000.
- ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E.C. et al. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.1065-1073, 2002.
- ALMEIDA, H.C.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. et al. Mobilidade vertical de em solo incubado com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). In: SEMINÁRIO REGIONAL DOS PÓS-GRADUANDOS EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, Lages, 2006. **Resumos...** Lages, 2006.
- ALMEIDA, H.C. et al. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). **Química Nova**, São Paulo, 2007. (No Prelo).
- ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A.; CASAGRANDE, J.C. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição de adsorção de boro em solos altamente intemperizados. **Scientia Agrícola**, v.55, p.110-122, 1998.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.275-286, 2003.
- CIOTTA, M.N., BAYER, C., ERNANI, P.R. et al. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.317-326, 2004.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (CFS – RS/SC). **Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 4 ed. Passo Fundo, SBCS – Núcleo Regional Sul, 2005. 224p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de produção e informação (SPI/EMBRAPA), 1999. 412p.
- ERNANI, P.R.; BARBER, S.A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetados pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 17:41-46, 1993.
- ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.F.S; BAYER, C. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Com. Soil Sc. Plant Anal.**, v.35, 889-901, 2004.
- McBRIDE. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press., 1994.
- MORGANO, M.A.; PAULUCI, L.F.; MANTOVANI, D.M.B. et al. Determinação de minerais em café cru. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.1, p.19-23, 2002.
- NELSON, P.N.; BALDOCK, J.A.; OADES, J.M. Changes in dispersible clay content, organic carbon content, and electrolyte composition following incubation of sodic soil. **Austin Journal Soil Recite**, v.36, p.883-897, 1998.
- NURMESNIEMI, H.; PÖYKIO, R.; PERÄMÄKI, P. et al. The use of a sequential leaching procedure for heavy metal fractionation in green liquor dregs from a causticizing process at a pulp mill. **Chemosphere**, v.61, p.1475-1484, 2005.
- OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S. Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnésio na capacidade de troca de cátions de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.859-866, 2003.
- RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. et al. **Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- THEIL, H. **Principles of econometrics**. Wiley: New York, 1971.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.1187-1195, 2003.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press., 1995. 267p. SPOSITO, G. **The surface chemistry of soils**. New York: Oxford University Press., 1989. 277p.

SUZUKI, A.; BASSO, C.; KITAZAWA, I.H. O uso da lama de cal como corretivo da acidez do solo. **Agropecuária Catarinense**, v.4, p.9-11, 1991.

VAN OLPHEN, H. **An introduction to clay colloid chemistry**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 318p.