

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

**PATRICIA PÉRTILE**

**RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE EM SOLOS**  
**ÁCIDOS E ÁREA DEGRADADA**

**LAGES, SC**

**2011**

**PATRICIA PÉRTILE**

**RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE EM SOLOS  
ÁCIDOS E ÁREA DEGRADADA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

**Orientador:** Dr. Jackson Adriano Albuquerque  
**Co-orientador:** Dr. Luciano Colpo Gatiboni

**LAGES, SC**

**2011**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária  
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região  
(Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC)

Pértile, Patricia

Resíduo alcalino da indústria de celulose em solos ácidos e  
área degradada. / Patricia Pértile ; orientador: Jackson Adriano  
Albuquerque. – Lages, 2011.  
106f.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias /  
UEDESC

1. Dregs. 2. Calcário. 3. Acidez. 4. Fertilidade. 5. Frente de  
alcalinização. 6. Qualidade física do solo. 7. Produtividade.  
8. Culturas anuais e florestais. I. Título.

CDD – 634.92

**PATRICIA PÉRTILE**

**RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE EM SOLOS  
ÁCIDOS E ÁREA DEGRADADA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Homologado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

**Orientador/presidente**

Dr. Jackson Adriano Albuquerque  
(UDESC/Lages – SC)

---

Dr. Luciano Colpo Gatiboni

Coordenador Técnico do Curso de Mestrado  
em Manejo do Solo e Coordenador do  
Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Agrárias – UDESC/Lages – SC

---

**Co-orientador/membro**

Dr. Luciano Colpo Gatiboni  
(UDESC/Lages – SC)

---

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias

Diretor Geral do Centro de Ciências  
Agroveterinárias – UDESC/Lages – SC

---

**Membro**

Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior  
(EMBRAPA/Londrina-PR)

Lages, Santa Catarina, 18 de fevereiro de 2011

*Dedico a meus queridos pais, Natalino e Lisete.*

## AGRADECIMENTOS

A UDESC pela oportunidade de ensino e a CAPES pela bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pelo ensino e condições de trabalho.

Ao Prof. Jackson Adriano Albuquerque pela oportunidade de inserção na pesquisa, pela orientação, cobranças e ensinamentos.

Ao Prof. Luciano Colpo Gatiboni pela co-orientação, pela mão nos momentos difíceis e pelos auxílios neste trabalho e na vida.

A Alvaldi Antonio Balbinot Junior pela disposição em fazer parte da avaliação deste trabalho.

Aos bolsistas e estagiários do Laboratório de Física e Manejo do Solo, que foram de essencial importância. Rodrigo, André, Franciani, Fhelipe, Josué, Maria Tereza, Heloisa, Adriano, Bruno, Maria Isabel e Luiza, o meu muito obrigada. Especialmente a Rodrigo e André, pela ajuda sempre presente e pelos trabalhos em equipe.

Ao Prof. Alexandre Macedo pela disponibilização da área experimental em Bocaina do Sul-SC, ao Prof. André Anibal Brandt pelo auxílio a campo e ao Prof. Clóvis Arruda de Souza pela ajuda.

A meus pais, Natalino e Lisete, pelas oportunidades oferecidas, por toda a ajuda, pelo apoio, pela liberdade de escolha, pela confiança, por me ouvirem rir e chorar e porque os amo mais que tudo. A meus irmãos, Luana e Ricardo, e a Alexandre e Leidi pela preocupação, pelo cuidado e pela ajuda dada sempre que possível.

A todos os colegas de mestrado e professores do curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo pelos ensinamentos e pela amizade. Catiline, Estefânia, Deise, Roberta, Evandro, Luiz, Sabrina, Jaqueline, Ariane, Luciane, Andréia... serei eternamente grata pela sincera amizade. Cati, obrigada pelo companheirismo, paciência e incentivo. Ney, obrigada por tantas ajudas e dicas de gênio. Tete, obrigada por todos os momentos, pela ajuda no laboratório e pelo enorme empurrão para uma vida nova.

Aos funcionários, Chico, Henrique, Fátima, Éderson e Leandro pela cooperação.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

Sinceros agradecimentos.

## RESUMO

PÉRTILE, Patricia. **Resíduo alcalino da indústria de celulose em solos ácidos e área degradada**. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

A utilização de resíduos alcalinos da indústria de celulose no solo, como o dregs, pode aumentar a fertilidade do solo e a produtividade de culturas, mas também diminuir a qualidade física do solo. Objetivou-se avaliar o efeito residual da aplicação de dregs em solos ácidos e em área degradada, na qualidade química e física do solo e no desempenho de culturas anuais e florestais. Foram avaliados três experimentos de longa duração. O primeiro experimento foi implantado em 2004 em Lages-SC, em um Cambissolo Húmico alítico, com aplicação superficial de doses crescentes de dregs e calcário em um sistema de semeadura direta. Os tratamentos constaram de níveis de corretivos correspondentes à recomendação indicada pelo método SMP, visando atingir pH 6,0 na camada de 0-10 cm, sendo: sem corretivo; dregs nas doses de 1/4, 1/2 e 1 SMP; e calcário nas doses 1/2 e 1 SMP. Em 2009 foram coletadas amostras de solo para análises químicas e físicas. Foram avaliadas as produtividades de cevada (*Hordeum vulgare* L.), soja (*Glycine max* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), e a distribuição das raízes do feijoeiro no perfil do solo. O segundo experimento foi implantado em 2004 em Bocaina do Sul-SC, em um Cambissolo Húmico alítico, constituindo-se da aplicação superficial de doses crescentes de dregs e calcário em um sistema de produção de *Pinus taeda* L. Os tratamentos foram os mesmos do primeiro experimento, porém o pH foi elevado para 5,5 na camada de 0-20 cm. Em 2010 foram coletadas amostras de solo para análises químicas e físicas e mediu-se o diâmetro à altura do peito do pinus. O terceiro experimento foi implantado em 2001 em Lauro Müller-SC, em um solo reconstruído após a mineração de carvão, para avaliar métodos de recuperação do solo e revegetação com *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus saligna* Sm. Os tratamentos foram: testemunha; calcário; calcário+*Brachiaria brizantha*; calcário+*Brachiaria brizantha*+cama de aviário; e dregs. Os corretivos e a adubação orgânica foram incorporados no solo. Em 2010 foram coletadas amostras de solo para análises químicas e físicas e mediu-se o diâmetro à altura do peito e a altura das árvores. Em longo prazo, a aplicação superficial de dregs corrige a acidez do solo em profundidade, de forma semelhante ao calcário. O uso de dregs aumenta a fertilidade química do solo e a produtividade de culturas anuais, mas prejudica ou não interfere no crescimento de espécies florestais. O dregs diminui o grau de floculação do solo pelo aumento do pH, mas não altera a estabilidade de agregados e a distribuição de poros. O efeito residual da aplicação de dregs no solo é semelhante ao da aplicação de calcário, sendo uma alternativa para a correção da acidez, desde que em doses adequadas para cada solo.

**Palavras-chave:** Dregs. Calcário. Acidez. Fertilidade. Frente de alcalinização. Qualidade física do solo. Produtividade. Culturas anuais e florestais.

## ABSTRACT

PÉRTILE, Patricia. **Use of alkaline residue from the pulp industry in acidic soils and degraded areas.** 2011. 106 f. Dissertation (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

The use of alkaline residues from the pulp industry, as the dregs, in the soil can increase soil fertility and crop productivity but, in the other hand, decrease the soil physical quality. The objective of this work were to evaluate the residual effect of the dregs in acidic soils and degraded areas about the chemical and physical characteristics of soil, the productivity of annual crops and growth of pine forest. Were evaluated three long-term experiments. The first experiment was implemented in 2004 in Lages county, Santa Catarina state, in a Humic Cambisol, with surface application of increasing doses of two corrective of soil acidity, dregs and lime, in a soil under no till with annual crops. The treatments consisted of levels corresponding to the recommendation given by the SMP index method in order to reach pH 6.0 at 0-10 cm and were: without correction; dregs at doses of 1/4, 1/2 and 1 SMP, and lime in doses 1/2 and 1 SMP. In 2009 soil samples were collected for chemical and physical analysis. Were determined the yields of barley (*Hordeum vulgare* L.), soybeans (*Glycine max* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.), and the distribution of bean roots in the soil profile. The second experiment was established in 2004 in Bocaina do Sul county, Santa Catarina, in a Humic Cambisol, constituting a set of surface application of increasing doses of dregs and lime, in a *Pinus taeda* L. forest. The treatments were the same as the first trial, but the pH was raised to 5.5 at 0-20 cm. In 2010 soil samples were collected for chemical and physical analysis and it was measured the pinus diameter at breast height. The third experiment was established in 2001 in Lauro Müller county, Santa Catarina, in a reconstructed soil after coal mining to evaluate methods of soil restoration and replanting with *Pinus taeda* L. and *Eucalyptus saligna* Sm. The treatments were: control, lime, lime+*Brachiaria brizantha*, lime+*Brachiaria brizantha*+poultry litter, and dregs. The lime and organic fertilizer were incorporated to 20 cm. In 2010 soil samples were collected for chemical and physical analysis and it were measured the diameter at breast height and tree height. The results showed that in the long term, surface application of dregs correct soil acidity in depth similar to lime. The application of dregs increases soil fertility and productivity of annual crops, but not modify the growth of forest species. The dregs decreases the degree of flocculation of soil by increasing the pH, but does not change the aggregate stability and distribution of soil pores. The residual effect of dregs in the soil is similar to the application of lime, and is a viable alternative to correct soil acidity, since that used in appropriate doses.

**Keywords:** Dregs. Limestone. Acidity. Fertility. Alkalinization front. Soil physical quality. Productivity. Annual crops and forestry.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição química do Cambissolo Húmico alítico na camada de 0 a 20 cm. Lages-SC.....	26
Tabela 2	Média de atributos químicos por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.....	40
Tabela 3	Contrastes lineares entre tratamentos, para atributos químicos de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.....	41
Tabela 4	Média de atributos físicos, por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.....	43
Tabela 5	Contrastes lineares entre tratamentos, para atributos físicos de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.....	45
Tabela 6	Contrastes lineares para produtividade de culturas em um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.....	46
Tabela 7	Composição química do Cambissolo Húmico alítico na camada de 0 a 20 cm. Bocaina do Sul/SC.....	52
Tabela 8	Média de atributos químicos por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	63
Tabela 9	Contrastes lineares entre tratamentos para atributos químicos de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	64
Tabela 10	Média de atributos físicos por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	66
Tabela 11	Contrastes lineares entre tratamentos para atributos físicos de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	67

Tabela 12	Contrastes lineares entre tratamentos para diâmetro à altura do peito (DAP) de <i>Pinus taeda</i> L. em um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	68
Tabela 13	Composição química do solo reconstruído, na camada de 0 a 20 cm. Lauro Müller-SC. Fonte: Campos et al., 2003. ....	73
Tabela 14	Contrastes lineares entre tratamentos, para atributos químicos de um solo reconstruído com tratamentos para recuperação do solo, aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.....	78
Tabela 15	Média de atributos químicos de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010. ....	80
Tabela 16	Contrastes lineares entre tratamentos, para atributos físicos de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.....	82
Tabela 17	Média de atributos físicos de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.....	83
Tabela 18	Contrastes lineares entre tratamentos, para diâmetro a altura do peito (DAP) e altura de <i>Pinus taeda</i> e <i>Eucalyptus saligna</i> em um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.....	84

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Fluxograma simplificado do processo Kraft de produção da celulose e recuperação de reagentes químicos. Fonte: Pöykiö et al., 2006 (modificado)..... 18
- Figura 2 pH em água por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009. .... 31
- Figura 3 Alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) e acidez potencial ( $H+Al$ ) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009. .... 33
- Figura 4 Sódio trocável ( $Na^+$ ) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009. .... 34
- Figura 5 Cálcio e magnésio trocáveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) e relação Ca/Mg por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c, e) e calcário (b, d, f), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009..... 35
- Figura 6 Soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e CTC a pH 7,0 (T) em camadas de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c, e) e calcário (b, d, f), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009..... 37
- Figura 7 Saturação por bases (V) e por alumínio (m) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009. .... 39
- Figura 8 Resistência do solo à penetração (RP) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009. .... 43
- Figura 9 Produtividade de cevada, soja e feijão em um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009. .... 46
- Figura 10 Crescimento radicular de *Phaseolus vulgaris* L. em um Cambissolo Húmico alítico submetido aos tratamentos: sem corretivo, dregs nas doses de 1/4, 1/2 e 1 SMP, e calcário nas doses de 1/2 e 1 SMP. Perfil com 50 cm de largura e 30 cm de profundidade, com marcações espaçadas em 5 cm. .... 47
- Figura 11 Resistência do solo à penetração de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses crescentes de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2010. .... 48

Figura 12	pH em água por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	55
Figura 13	Alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) e acidez potencial (H+Al) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	56
Figura 14	Sódio trocável ( $Na^+$ ) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	57
Figura 15	Cálcio e magnésio trocáveis ( $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ ) e relação Ca/Mg por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c, e) e calcário (b, d, f), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	59
Figura 16	Soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e CTC a pH 7,0 (T) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c, e) e calcário (b, d, f), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	60
Figura 17	Saturação por bases (V) e por alumínio (m) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2009.....	62
Figura 18	Argila e grau de floculação (GF) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.....	65
Figura 19	pH em água (a), alumínio trocável (b), acidez potencial (c), cálcio trocável (d), magnésio trocável (e) e relação Ca/Mg (f), por camada de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.....	76
Figura 20	Soma de bases (a), CTC efetiva (b), CTC a pH 7,0 (c), saturação por bases (d) e saturação por alumínio (e) por camada de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.....	77
Figura 21	Grau de floculação (a) e resistência do solo à penetração (b), por camada, de um solo reconstruído corrigido com tratamentos aplicados em superfície em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.....	81
Figura 22	Diâmetro à altura do peito (a) e altura (b) de <i>Pinus taeda</i> e <i>Eucalyptus saligna</i> em um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.....	84

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	HIPÓTESES.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivo geral.....	15
1.2.2	Objetivos específicos.....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1	INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE E PRODUÇÃO DE RESÍDUOS.....	17
2.2	DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ALCALINOS NO SOLO.....	19
2.3	ALTERNATIVAS PARA A DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS E CORREÇÃO DO SOLO.....	22
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I: FRENTE DE ALCALINIZAÇÃO E EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE EM CAMBISSOLO HÚMICO SOB SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA.....</b>	<b>24</b>
3.1	RESUMO.....	24
3.2	INTRODUÇÃO.....	25
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
3.4.1	Atributos químicos do solo.....	30
3.4.2	Atributos físicos do solo.....	42
3.4.3	Produtividade das culturas.....	45
3.4.4	Distribuição radicular do feijoeiro.....	47
3.5	CONCLUSÕES.....	49
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II: APLICAÇÃO DE RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE EM CAMBISSOLO HÚMICO SOB SISTEMA DE PRODUÇÃO DE PINUS.....</b>	<b>50</b>
4.1	RESUMO.....	50

4.2	INTRODUÇÃO.....	51
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	52
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.4.1	Atributos químicos do solo .....	54
4.4.2	Atributos físicos do solo.....	64
4.4.3	Crescimento de <i>Pinus taeda</i> .....	67
4.5	CONCLUSÕES .....	68
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III: RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO COM CALCÁRIO, RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E REVEGETAÇÃO.....</b>	<b>70</b>
5.1	RESUMO .....	70
5.2	INTRODUÇÃO .....	71
5.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	72
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
5.4.1	Atributos químicos do solo .....	75
5.4.2	Atributos físicos do solo.....	81
5.4.3	Crescimento de <i>Pinus taeda</i> e <i>Eucalyptus saligna</i> .....	84
5.5	CONCLUSÕES .....	86
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>87</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>88</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>89</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>99</b>
<b>10</b>	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>100</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria de papel e celulose no Brasil vem expandindo consideravelmente sua produção. No país, as duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose são as florestas plantadas de pinus e eucalipto. Em 2009, o Brasil passou de sexto para quarto maior produtor mundial de celulose e de décimo primeiro para nono maior produtor mundial de papel. Santa Catarina possui extensas áreas com florestas plantadas com pinus e é um dos maiores produtores de papel e celulose do país.

No entanto, apesar das perspectivas de crescimento, existe uma preocupação crescente com a gestão dos resíduos sólidos do setor de celulose no Brasil. As fábricas deparam-se com problemas de ordem ambiental devido à grande quantidade de resíduos gerados.

Nos processos industriais para produção de papel e celulose, a madeira é submetida a processos mecânicos e químicos com o objetivo de separar as fibras de celulose da lignina. Após a separação das fibras, ocorre um processo que recupera parte dos reagentes químicos usados no cozimento da madeira, gerando resíduos sólidos. Esses resíduos variam em composição química e quantidade, dependendo das formas de gestão e dos materiais usados pela indústria.

A opção por aterro sanitário para disposição final desses resíduos não é a mais adequada, em função dos altos custos para sua implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio. Uma das alternativas de disposição adotada pelas empresas de celulose é a aplicação dos resíduos no solo. O solo, por suas características físicas, químicas e biológicas, é um eficiente meio para depuração desses resíduos. Entretanto, os resíduos podem carrear minerais e compostos orgânicos prejudiciais ao solo e às águas subterrâneas, tanto por suas características químicas, como pelas quantidades adicionadas.

Entre os principais resíduos sólidos gerados na fabricação da celulose, com potencial de causar danos ao ambiente, está o dregs, que é formado basicamente de carbonato e sulfeto de sódio e óxido de cálcio, além de outros componentes, como carbono. Por ter caráter alcalino, o dregs pode ser utilizado como corretivo da acidez de solos agrícolas e florestais e em áreas reconstruídas a um baixo custo, o que diminui ou evita sua deposição em aterros. Além do mais, um dos principais fatores limitantes na produção agrícola nos solos

intemperizados é a acidez elevada, sendo a aplicação de resíduos alcalinos uma alternativa agronômica.

Até o momento, pesquisas realizadas com esse resíduo mostram potencial de uso no aumento da produtividade de espécies cultivadas, em consequência da melhoria das propriedades do solo. Faltam ainda, estudos sobre dosagens viáveis e sobre o efeito residual no perfil do solo e no desenvolvimento das culturas a longo prazo.

## 1.1 HIPÓTESES

A aplicação de dregs no solo aumenta sua fertilidade química e a produtividade de culturas anuais e perenes.

O dregs, tendo maior solubilidade que o calcário, corrige a acidez do solo até maiores profundidades.

A utilização do dregs pode diminuir a qualidade física do solo por dispersar a argila e reduzir a estabilidade de agregados, devido à elevação do pH e a adição de sódio.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual da aplicação de dregs na correção da acidez em solos ácidos, na qualidade química e física do solo e na produtividade de culturas anuais e florestais.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar a frente de alcalinização e o efeito residual da aplicação de doses crescentes de dregs sobre os atributos químicos e físicos de solos ácidos e sobre a produtividade de culturas anuais e de espécies florestais plantadas.

Avaliar o efeito residual da aplicação de dregs sobre os atributos químicos e físicos de solo reconstruído após a mineração de carvão.



Comparar a frente de alcalinização e os efeitos residuais da aplicação de dregs com a aplicação de calcário, nos atributos químicos e físicos do solo e na produtividade de culturas anuais e de espécies florestais plantadas.

Estabelecer doses adequadas de dregs, possíveis de serem aplicadas no solo nas condições estudadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE E PRODUÇÃO DE RESÍDUOS

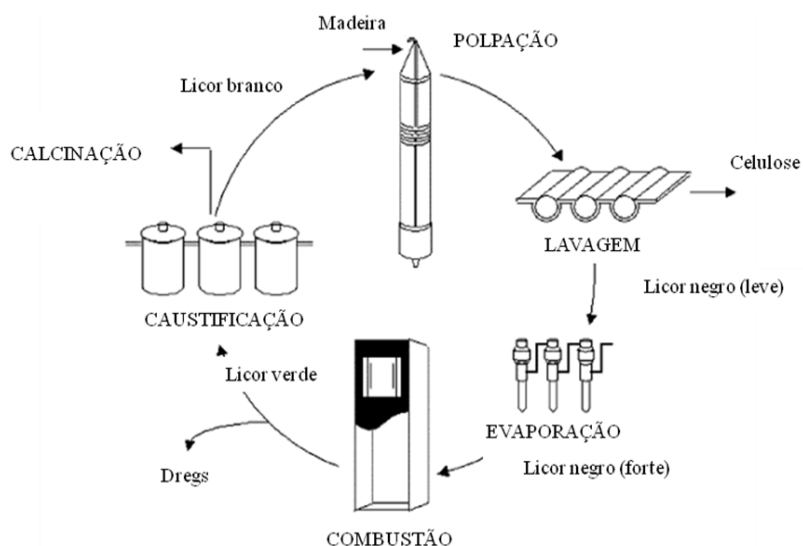
A indústria de papel e celulose no Brasil vem expandindo consideravelmente sua produção. No país, as duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose são as florestas plantadas de pinus e de eucalipto, responsáveis por mais de 95 % do volume produzido. Em 2009, foram 2,2 milhões de hectares de florestas plantadas para fins industriais, sendo que o Brasil passou de 6º (sexto) para 4º (quarto) maior produtor mundial de celulose, com uma produção de 13,3 milhões de toneladas e um crescimento médio anual de 7,5 %. Passou também de 11º (décimo primeiro) para 9º (nono) maior produtor mundial de papel, com 9,4 milhões de toneladas e um crescimento médio anual de 5,7 % (BRACELPA, 2010).

Em 2009, em Santa Catarina, foram plantados 169 mil hectares de florestas, sendo 90 % dessas áreas cultivadas com pinus. O Estado produziu 55 % (830 mil toneladas) da pasta celulósica de fibra longa e quase 19 % (1.740 mil toneladas) do papel do país (BRACELPA, 2010). Os resultados mostram que o setor está bem posicionado no mercado nacional e internacional e a tendência é que o crescimento se mantenha nos próximos anos.

Apesar das perspectivas de crescimento, existe uma preocupação crescente com a gestão dos resíduos sólidos do setor de papel e celulose no Brasil (GUERRA, 2007). A geração de grande quantidade de resíduos sólidos é inerente ao processo de produção de celulose (KLABIN, 2008). Conforme o processo industrial, a geração de resíduos pode variar de 40 a 850 quilogramas por tonelada de celulose ou papel produzido (FOELKEL, 2008).

Existem vários processos químicos de produção de celulose a partir da madeira. Segundo Grossi et al. (2000), atualmente quase toda a pasta celulósica é preparada por meio do processo Kraft (Figura 1). Nesse processo, os cavacos de madeira são aquecidos em digestor juntamente com reagentes oxidantes e alcalinos, chamados de licor branco, solução aquosa constituída de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S) que, sob efeito de pressão e temperaturas entre 160 e 180 °C, despolimerizam as moléculas de lignina. Dessa reação, originam-se dois subprodutos, a polpa celulósica e o licor negro (GUERRA, 2007). A

polpa celulósica resultante é escura e necessita de branqueamento, sendo enviada para uma seção de lavagem, onde são retirados os produtos químicos utilizados e os compostos orgânicos dissolvidos (WOLFF, 2008).



**Figura 1** Fluxograma simplificado do processo Kraft de produção da celulose e recuperação de reagentes químicos. Fonte: Pöykiö et al., 2006 (modificado).

Enquanto isso, o licor negro é enviado para um sistema de recuperação química, onde sofre evaporação para aumentar o teor de sólidos, sendo posteriormente queimado em caldeira de recuperação e resultando em um fundido, denominado *smelt*, o qual é composto principalmente de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e  $\text{Na}_2\text{S}$ , além de impurezas. Essas impurezas são provenientes de carbono não queimado, ferro, sílica, cálcio, alumínio, sulfetos de ferro, entre outras substâncias (GROSSI et al., 2000). O *smelt* é dissolvido com um licor branco fraco, formando o licor verde ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{Fe}(\text{OH})_2$ ) (ALMEIDA et al., 2007a) que é bombeado ao clarificador que tem a função de separar as impurezas insolúveis (dregs) por decantação.

O licor verde é tratado com óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), fornecendo o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) que converte o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  em  $\text{NaOH}$ . Essa reação é chamada de caustificação e tem como funções recuperar o  $\text{NaOH}$  para ser utilizado novamente na digestão da madeira (GROSSI et al., 2000). A lama aquosa proveniente dos caustificadores contém carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) sólido (lama de cal) que deve ser removido do licor branco. O material sólido resultante é enviado para o forno de cal para calcinação, cujo objetivo é obter cal virgem ( $\text{CaO}$ ) para ser reutilizada no processo. A viabilidade econômica e ambiental da produção de

celulose pelo processo Kraft está diretamente relacionada às taxas dessas recuperações (WOLFF, 2008).

Os principais resíduos sólidos gerados no processo de fabricação da celulose são lenhosos (casca de madeira e serragem), lodos primário e biológico, sólidos alcalinos (dregs, grits e lama de cal), rejeitos de celulose e cinzas das caldeiras de biomassa (BELLOTE et al., 1998; GUERRA, 2007). Esses resíduos variam em composição química e quantidade segundo a eficiência do processo de extração da celulose (RODRIGUES, 2004) e necessitam de disposição adequada (KLABIN, 2008).

Na caustificação são gerados três resíduos sólidos alcalinos, o dregs, o grits e a lama de cal (RODRIGUES, 2004; GUERRA, 2007), classificados como não perigosos e não inertes, sendo enquadrados na classe IIA de acordo com a Norma da ABNT – NBR 10.004 (Anexo 1). O dregs é um resíduo sólido alcalino, com partículas diminutas e cor acinzentada. Sua remoção deve ser feita com a mínima perda de produtos alcalinos e com o máximo teor seco de material (COHN e RIBEIRO, 2002), sendo sua produção estimada entre 6 e 15 quilogramas de massa seca por tonelada de massa seca de celulose (FOELKEL, 2008). O dregs é formado basicamente de carbonatos e hidróxidos, além de outros compostos como carbono, partículas de lama, hidróxidos e sulfetos de metais, sais de ferro, sílica, cálcio e alumínio (GROSSI et al., 2000; COHN e RIBEIRO, 2002; ALMEIDA et al., 2007a).

As alternativas mais correntes de disposição final de resíduos sólidos, particularmente os industriais, têm sido a destruição térmica, disposição em aterros industriais, reciclagem e utilização ou descarte em solos agrícolas (TEIXEIRA, 2003). Deficiências nos processos de lavagem e remoção dos produtos químicos do dregs, assim como falhas no sistema de filtragem, podem acarretar o descarte de material com alto teor de sódio, criando problemas para sua utilização futura no solo (TEIXEIRA, 2003).

## 2.2 DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ALCALINOS NO SOLO

A opção por aterro sanitário para disposição final desses resíduos não é a mais recomendada em função dos altos custos para sua implantação e manutenção (BELOTTE et al., 1998). Portanto, entre as soluções preconizadas, a disposição no solo posiciona-se como uma alternativa interessante, dado o menor custo (BARREIRA et al., 2006; GUERRA, 2007). Entretanto, para que os resíduos se tornem aptos a serem utilizados no solo, é necessário

mantê-los estocados em condições apropriadas por um período de dois a três anos, até sua estabilização (BARREIRA et al., 2006).

O solo, por suas características físicas, químicas e biológicas, é um meio eficiente para depurar esses resíduos devido a sua biodiversidade. Dessa forma, os resíduos sólidos alcalinos podem ser aplicados em áreas que necessitam de correção da acidez, para reduzir despesas com corretivos tradicionais (RODRIGUES, 2004) e a deposição em aterros (BELLOTE et al., 1998; PÖYKIÖ et al., 2006).

No Brasil, em 2009, foram produzidas aproximadamente 13,3 milhões de toneladas de celulose, o que implica em uma produção média de 133 mil toneladas de dregs (média de 10 quilogramas de dregs por tonelada de celulose). A hipótese de aplicação no solo de 5 toneladas de dregs por hectare resultaria em uma área corrigida de 26,6 mil hectares. Santa Catarina, com uma produção de 890 mil toneladas de celulose por ano, teria aproximadamente 1,8 mil hectares corrigidos com a mesma dose de dregs.

Os resíduos, como o dregs, têm a capacidade de neutralizar a acidez e possibilitar o deslocamento de nutrientes no perfil do solo, e podem ser usados como materiais alternativos ao calcário, uma vez que disponibilizam cálcio por terem em sua composição  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{MgCO}_3$  e  $\text{NaOH}$  (RAMOS et al., 2006). Os valores de neutralização destes resíduos são proporcionais aos teores de óxidos, hidróxidos e carbonatos associados quimicamente a elementos como o cálcio e o sódio (ALMEIDA et al., 2007b). É provável que esses resíduos tenham a vantagem de reduzir a acidez do solo mais rapidamente que o calcário, até mesmo em profundidade, uma vez que apresentam óxidos, hidróxidos e silicatos, compostos mais solúveis que os carbonatos contidos no calcário (TEIXEIRA, 2003).

O dregs difere do calcário por ser composto principalmente por cálcio e em menor teor por magnésio, podendo ainda conter altas quantidades de sódio (LUNARDI NETO et al., 2008) e traços de micronutrientes (ALMEIDA et al., 2007a). Em situações que o calcário é totalmente substituído pelo dregs, a quantidade de sódio adicionada ao solo e a relação molar entre cálcio e magnésio (Ca/Mg), tornam-se fatores limitantes ao uso deste resíduo. A dispersão da argila, a diminuição da estabilidade dos agregados e o desbalanceamento dos nutrientes essenciais às plantas (ALBUQUERQUE et al., 2002) podem comprometer algumas características físicas e químicas do solo, assim como o desenvolvimento normal das plantas (MEDEIROS, 2008).

A alta relação Ca/Mg pode induzir à falta de magnésio às plantas se o dregs for adicionado em grandes quantidades em solos com baixa disponibilidade deste elemento (MEDEIROS et al., 2008; MIOTTO, 2009). A inter-relação entre cálcio e magnésio está

relacionada à semelhança de algumas propriedades químicas como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção, pelo fluxo no solo e posterior absorção pelas raízes (ORLANDO FILHO et al., 1996). Ademais, em solos com alta relação Ca/Mg, verifica-se redução da absorção de potássio, que ocorre pelo efeito antagônico entre potássio e cálcio em função das altas quantidades de cálcio adicionadas com o dregs (MEDEIROS et al., 2008).

O dregs também pode possuir alto teor de sódio em sua constituição. A saturação do solo com sódio aumenta a dispersão da argila (SHAINBERG e SINGER, 1988), com conseqüente diminuição da estabilidade dos agregados (ALBUQUERQUE et al., 2002) e infiltração de água no solo (AGASSI et al., 1981), e aumento do encrostamento superficial (REICHERT e NORTON, 1994). O sódio é retido pela fase sólida do solo exclusivamente por adsorção eletrostática e possui um grande raio hidratado, o que dificulta a aproximação das superfícies sólidas do solo carregadas negativamente e aumenta a espessura da dupla camada elétrica, o que favorece a dispersão dos colóides (ERNANI, 2008). Entretanto, o sódio é facilmente deslocado das cargas quando aumentam as concentrações dos elementos químicos bivalentes, a exemplo do cálcio. Assim, o sódio pode ser absorvido ou então lixiviado (LUNARDI NETO, 2006).

O aumento do pH do solo pela adição de dregs, também aumenta a dispersão dos colóides do solo (LUNARDI NETO, 2006) devido ao aumento da carga líquida negativa das superfícies e a precipitação do alumínio trocável com a elevação do pH (ALBUQUERQUE et al., 2000). Entretanto, este efeito prejudicial do uso do dregs tende a ser temporário, pois a elevação do pH aumenta a produtividade das culturas e conseqüentemente, a matéria orgânica do solo, com resultados benéficos na estrutura do solo a longo prazo.

O dregs ainda pode apresentar concentrações de micronutrientes, como cobre, zinco, ferro e manganês, que apesar de pequenas, conferem ao produto um caráter fertilizante (ALMEIDA et al., 2007a).

A maior ou menor mobilidade dos elementos adicionados com os resíduos depende de várias características do solo (ALMEIDA et al., 2007). Portanto, para identificar a potencialidade desses resíduos no uso agrícola e suas possíveis limitações, deve ser determinada a composição química do resíduo e a composição química, mineralogia e textura do solo (REICHERT e NORTON, 1996; ALBUQUERQUE et al., 2000).

### 2.3 ALTERNATIVAS PARA A DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS E CORREÇÃO DO SOLO

A agricultura e a silvicultura têm sido as grandes absorvedoras de produtos obtidos nas estações de reciclagem das fábricas de celulose (FOELKEL, 2008).

A acidez do solo é um dos principais fatores limitantes na produção agrícola. O calcário é o corretivo mais utilizado, porém tem lenta mobilidade no perfil do solo, sendo lenta a correção além da camada de incorporação. No sistema plantio direto, onde geralmente a aplicação de calcário é feita na superfície do solo, a ação efetiva do calcário ocorre na camada superficial (AMARAL et al., 2004). O poder corretivo de resíduos, como o dregs, pode ser superior ao do calcário, até mesmo em profundidade, uma vez que apresentam óxidos e hidróxidos, compostos mais solúveis que os carbonatos contidos no calcário, permitindo que os produtos da reação de dissociação apresentem maior mobilidade no solo (QUAGGIO, 2000; CORRÊA et al., 2007).

Na sua maioria, os solos do Planalto Catarinense, apresentam pH baixo, alto teor de matéria orgânica, alta concentração de alumínio trocável e baixos teores de cálcio e magnésio (RAMOS et al., 2006). Tais solos têm alto tamponamento de pH (ALMEIDA et al., 1999), necessitando de altas doses de corretivos (ERNANI e ALMEIDA, 1986). Assim, sua correção química pode ser limitada pelo custo, notadamente nos locais mais distantes das jazidas de calcário (MEDEIROS et al., 2009) e nos de difícil acesso. A correção do perfil do solo se faz necessária para que o sistema radicular das culturas explore maior volume de solo, de modo que a planta absorva água e nutrientes para seu crescimento e desenvolvimento, além de aumentar a disponibilidade de nutrientes minerais e a capacidade de retenção de água e de cátions no solo (BELLOTE et al., 1998).

Nesse contexto, o uso de resíduos alcalinos da indústria de celulose pode ser uma alternativa para correção de solos ácidos. Entretanto, muitos agricultores em Santa Catarina, nas proximidades das indústrias de papel e celulose, utilizam esses resíduos muitas vezes sem acompanhamento técnico e de forma indiscriminada (MEDEIROS, 2008).

A aplicação em áreas de plantios florestais também pode ser uma alternativa para a correção da acidez dos solos da região e para reposição de nutrientes exportados com a retirada da biomassa florestal, ao mesmo tempo em que contribui para o descarte desses resíduos, amenizando um problema ambiental de disposição da própria indústria. Embora as espécies de pinus – que compreendem a maioria das áreas de florestas plantadas no Planalto Catarinense – sejam consideradas de baixa exigência nutricional (FERREIRA et al., 2004), diversos autores vêm demonstrando estreita interdependência do solo e o estado nutricional e

produtividade do pinus (MORALES et al., 2010). Para o eucalipto, os estudos indicam que a correção e adubação do solo proporcionam aumentos expressivos no rendimento (TRIGUEIRO, 2006; BARRETO, 2008).

Outra situação comum em Santa Catarina são as áreas de mineração de carvão vegetal a céu aberto no Sul do Estado. As áreas mineradas abandonadas ou não reabilitadas de forma correta ficam sujeitas às ações erosivas, em função do solo permanecer descoberto devido à dificuldade de crescimento das plantas. Além disso, os refugos da produção de carvão e a presença de pirita nessas áreas acidificam muito o solo quando não são devidamente enterrados nas cavas e sobrepostos pelo subsolo e pelo solo, removidos inicialmente da área. A disposição de resíduos alcalinos nessas áreas pode diminuir a acidez do solo, possibilitando o estabelecimento de espécies vegetais.

Até o momento, as pesquisas realizadas com resíduos gerados pela indústria de papel e celulose, mostram grande potencial de uso no aumento da produtividade de espécies cultivadas, em consequência da melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BELLOTE et al., 1998). A adição de resíduos sólidos alcalinos ao solo pode melhorar a capacidade do solo em reter água e nutrientes, incorporar nutrientes minerais, aumentar a fertilidade do solo e a capacidade de troca catiônica e reduzir a concentração de alumínio (BELOTTE et al., 1998; RODRIGUES, 2004). A aplicação de resíduos também acelera a decomposição da serrapilheira e a ciclagem de nutrientes devido ao favorecimento da atividade biológica do solo (RODRIGUES, 2004). Estes fatores afetam diretamente a disponibilidade dos nutrientes às plantas (BELOTTE et al., 1998).

Para identificar as possíveis limitações do uso desses resíduos alcalinos e a melhor forma de sua utilização, faz-se necessário estudar seus efeitos na qualidade química e física do solo, e no desenvolvimento das plantas (BELLOTE et al., 1998, ALMEIDA et al., 2007a); além da quantificação de doses apropriadas a serem aplicadas em cada solo (ALBUQUERQUE et al., 2002).



### **3 CAPÍTULO I: FRENTE DE ALCALINIZAÇÃO E EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE EM CAMBISSOLO HÚMICO SOB SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA**

#### **3.1 RESUMO**

A utilização de resíduos alcalinos da indústria de celulose no solo, em quantidades adequadas, pode aumentar sua fertilidade e a produtividade de culturas, mas também, diminuir sua qualidade física. Objetivou-se avaliar a frente de alcalinização e o efeito residual da aplicação superficial de dregs como corretivo da acidez, na qualidade química e física de um solo ácido e no desempenho de culturas anuais. O experimento foi implantado em 2004 em Lages-SC, sob um Cambissolo Húmico alítico, constituindo-se da aplicação superficial de doses crescentes de dregs e calcário dolomítico, em um sistema de semeadura direta. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas de dimensão 8 x 8 m. Os tratamentos constaram de níveis correspondentes à recomendação indicada pelo método SMP, visando atingir pH 6,0 na camada de 0-10 cm; sendo: sem corretivo; dregs nas doses de 3,25 (1/4 SMP), 6,5 (1/2 SMP) e 13 kg ha<sup>-1</sup> (1 SMP); e calcário nas doses de 5,25 (1/2 SMP) e 10,5 Mg ha<sup>-1</sup> (1 SMP). Amostras de solo em camadas foram coletadas em 2009 para análise de atributos químicos e físicos do solo. Foram avaliadas as produtividades de cevada (*Hordeum vulgare* L.), soja (*Glycine max* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), e a distribuição das raízes do feijoeiro no perfil do solo. A frente de alcalinização proporcionada pelo dregs e pelo calcário foi observada pela diminuição da acidez do solo e aumento da saturação por bases, principalmente até os 10 cm de profundidade. Entretanto, o dregs elevou o teor de sódio e a relação Ca/Mg e não elevou o teor de magnésio. Apesar disso, a qualidade física do solo não foi prejudicada e a produtividade de cevada, soja e feijão, e o crescimento radicular do feijoeiro aumentaram de forma tão eficiente quanto o calcário. A aplicação de dregs em solos agrícolas, considerando a dose de 1/2 SMP na camada arável, pode ser considerada uma alternativa segura para agricultores do Planalto Catarinense.

**Palavras-chave:** Dregs. Calcário. Acidez. Fertilidade. Culturas anuais. Produtividade. Crescimento radicular.

### 3.2 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria de celulose no Brasil vem expandindo consideravelmente sua produção, mas com isso ocorrem problemas ambientais devido à grande quantidade de resíduos gerados (RODRIGUES, 2004).

Uma alternativa de tratamento e disposição desses resíduos é a aplicação no solo (GUERRA, 2007), pois podem ser utilizados como insumo agrícola de baixo custo (SIMONETE et al., 2003), ao mesmo tempo em que reduz o potencial poluente desses materiais.

Entre os principais resíduos sólidos alcalinos gerados no processo de fabricação da celulose está o dregs (BELLOTE et al., 1998). O dregs apresenta conteúdos elevados de hidróxidos e carbonatos (LUNARDI NETO, 2006; ALMEIDA et al., 2007b), além de impurezas do processo de produção da celulose como carbono, partículas de lama, sulfetos, ferro, sílica e alumínio (ALBUQUERQUE et al., 2002; WOLFF, 2008), tendo características químicas para corrigir a acidez do solo similares as do calcário (GUERRA, 2007).

A acidez do solo é um dos fatores que mais limitam a produtividade das culturas em várias partes do mundo, inclusive no Brasil (FAGERIA, 2001). Os solos do Planalto Catarinense apresentam pH baixo, alta concentração de alumínio trocável, baixos teores de nutrientes (MEDEIROS et al., 2009) e altos teores de matéria orgânica, apresentando alto tamponamento de pH (ALMEIDA et al., 1999) e, conseqüentemente, necessidade de altas doses de corretivos (ERNANI e ALMEIDA, 1986).

Entretanto, mesmo com características favoráveis aos atributos edáficos e ao aumento de rendimento (RODRIGUES, 2004), os resíduos podem carrear minerais prejudiciais ao solo, tanto pelas suas características químicas, como pela quantidade adicionada (GUERRA, 2007). O dregs difere do calcário por ser composto principalmente por cálcio e em menor teor por magnésio, podendo ainda, conter altas quantidades de sódio (LUNARDI NETO et al., 2008) e traços de micronutrientes (ALMEIDA et al., 2007a). Devido a essa composição, o dregs pode interferir negativamente no crescimento das plantas (ALMEIDA et al., 2007b) e na qualidade física do solo (ALBUQUERQUE et al., 2002).

A alta relação Ca/Mg pode induzir à falta de magnésio às plantas se o dregs for adicionado em grandes quantidades em solos com baixa disponibilidade deste elemento (OLIVEIRA e PARRA, 2003; MIOTTO, 2009), devido à competição existente entre cálcio e magnésio pelos sítios de adsorção do solo e absorção das raízes (ORLANDO FILHO et al., 1996). Além disso, a adição de quantidades moderadas a altas de sódio no solo aumenta a

dispersão dos colóides, com conseqüente diminuição da estabilidade dos agregados e efeitos negativos na disponibilidade e no fluxo de água e de ar (ALBUQUERQUE et al., 2002).

Para identificar as possíveis limitações do uso do resíduo alcalino e a melhor forma de sua utilização, faz-se necessário a quantificação de doses apropriadas (ALBUQUERQUE et al., 2002) e o estudo de seu efeito no perfil do solo e no desenvolvimento de plantas (BELLOTE et al., 1998, ALMEIDA et al., 2007a).

Este trabalho objetivou avaliar a frente de alcalinização e o efeito residual da aplicação superficial de dregs como corretivo da acidez do solo, comparando-o com o calcário dolomítico, a partir dos atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico alítico, bem como da produtividade de cevada (*Hordeum vulgare* L.), soja (*Glycine max* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), e da distribuição do sistema radicular do feijoeiro.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), em Lages-SC, município localizado nas coordenadas 27°48'58" S e 50°19'34" W, com altitude média de 904 m. O município apresenta clima mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb), segundo a classificação de Köppen. As chuvas são bem distribuídas durante o ano e as médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.400 mm e 15,6 °C, respectivamente (SANTA CATARINA, 2011a).

O solo é um Cambissolo Húmico alítico (EMBRAPA, 2006) de textura franco argilosa. Seus principais atributos estão químicos descritos na Tabela 1. A área apresenta declividade média de 6 %, espessura média do horizonte A de 0,60 m e do horizonte B de 0,40 m. Anteriormente a área constituía-se de campo nativo, com predomínio de gramíneas em sistema de produção de gado de leite.

**Tabela 1** Composição química do Cambissolo Húmico alítico na camada de 0 a 20 cm. Lages-SC.

Camada	pH	Al	Ca	Mg	P	K	COT
		----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			-- mg kg <sup>-1</sup> --		g kg <sup>-1</sup>
0-20 cm	4,4	5,2	0,7	0,3	4	143	26

Legenda - pH: pH em água; Al: alumínio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; COT: carbono orgânico total.

O experimento foi implantado em junho de 2004 e constituiu-se da aplicação superficial de doses crescentes de dregs e calcário. O delineamento experimental foi em

blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas de dimensão 8 x 8 m. Os tratamentos constaram de níveis correspondentes a recomendação indicada pelo método SMP, visando atingir pH 6,0 na camada de 0-10 cm (CQFS RS-SC, 2004). Os tratamentos foram: sem corretivo; dregs nas doses de 3,25 (1/4 SMP), 6,5 (1/2 SMP) e 13 Mg ha<sup>-1</sup> (1 SMP); e calcário nas doses de 5,25 (1/2 SMP) e 10,5 Mg ha<sup>-1</sup> (1 SMP).

As doses foram determinadas a partir do índice SMP inicial do solo (4,3), realizando-se as correções para umidade e valor de neutralização total (VN) do dregs.

O dregs utilizado foi proveniente de uma indústria de papel e celulose, localizada no município de Correia Pinto-SC, apresentando VN de 80,3 %, pH 10,7, 300 g kg<sup>-1</sup> de Ca, 10 g kg<sup>-1</sup> de Mg e 34 g kg<sup>-1</sup> de Na. A composição química do dregs encontra-se no Apêndice 1. O calcário utilizado foi dolomítico do tipo filler, composto por 289 g kg<sup>-1</sup> de Ca, 118 g kg<sup>-1</sup> de Mg, 0,17 g kg<sup>-1</sup> de Na e PRNT de 90 %, determinados conforme Tedesco et al. (1995).

As doses dos corretivos foram divididas e distribuídas superficialmente no solo em duas épocas, sendo a primeira aplicada em junho de 2004, com manutenção do campo nativo; e a segunda aplicada em junho de 2006, com subsequente cultivo de culturas anuais em sistema de semeadura direta.

Na safra 2009, a área foi dessecada e cultivou-se cevada (*Hordeum vulgare* L.) cv. BRS Cauê, com densidade de 250 sementes m<sup>-2</sup> e espaçamento entre linhas de 0,20 m. Foi realizada adubação com 4 kg ha<sup>-1</sup> de N, 14 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 7 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na semeadura, e 18 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura aplicados 65 dias após a semeadura. Durante o ciclo da cultura foi realizado o controle de plantas daninhas com clodinafope-propargil (ácido ariloxifenoxipropiônico), herbicida sistêmico, na dose de 0,25 L ha<sup>-1</sup> de produto comercial (PC), mais óleo mineral na concentração de 0,5 %. O controle de doenças foi realizado com propiconazol (triazol), fungicida sistêmico, na dose de 750 L PC ha<sup>-1</sup>.

Na safra agrícola 2009/2010 cultivou-se soja (*Glycine Max* L.) cv. BMX Apolo RR, com densidade de 27 sementes m<sup>-2</sup> e espaçamento entre linhas de 0,50 m. As sementes foram tratadas com carbofurano (metilcarbamato de benzofuranila), inseticida sistêmico na dose de 2,0 L 100 kg<sup>-1</sup> de sementes e com carbendazim (benzimidazol) mais tiram (dimetilditiocarbamato), fungicida de contato e sistêmico na dose de 0,2 L PC 100 kg<sup>-1</sup> de sementes; e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, com adição de cobalto e molibdênio. Foi realizada adubação com 10 kg ha<sup>-1</sup> de N, 39 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na semeadura. Durante o ciclo da cultura foi realizado controle de plantas daninhas com glifosato (glicina substituída), herbicida não seletivo de ação sistêmica, na dose de 2 L PC ha<sup>-1</sup>. O

controle de doenças foi realizado com tebuconazol (triazol), fungicida sistêmico, na dose de 0,5 L PC ha<sup>-1</sup>.

No inverno de 2010 cultivou-se aveia preta (*Avena sativa* L.) para cobertura do solo, a qual foi dessecada em outubro de 2010 com glifosato na dose de 2,5 L PC ha<sup>-1</sup>.

Na safra 2010/2011 cultivou-se feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. IPR Tiziu, com densidade de 25 sementes m<sup>-2</sup> e espaçamento entre linhas de 0,50 m. A adubação foi realizada com base na análise de solo na camada de 0-20 cm conforme recomendação da CQFS RS-SC (2004) resultando nas doses de 27 kg ha<sup>-1</sup> de N, 112 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 112 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na semeadura e 90 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, aplicados 30 dias após a semeadura. O controle de pragas foi realizado com metamidafós (organofosforado), inseticida sistêmico, na dose de 0,8 L PC ha<sup>-1</sup>. O controle de doenças foi realizado com tiofanato-metílico (benzimidazol), fungicida sistêmico, na dose de 0,4 kg PC ha<sup>-1</sup>.

Nas quatro culturas, a semeadura foi realizada perpendicular ao declive, em sistema de semeadura direta com semeadora tracionada por trator. Para a quantificação da produtividade das culturas, coletou-se uma área de 9 m<sup>2</sup> em cada parcela, sendo a umidade dos grãos corrigida para 14 %.

Em dezembro de 2010, aos 65 dias após a semeadura do feijão – durante o florescimento da cultura – foi realizada a abertura de trincheiras para a observação do crescimento radicular da cultura do feijão. As trincheiras foram abertas no sentido perpendicular às linhas de plantio, com exposição radicular numa área de 0,30 m de profundidade por 0,50 m de largura. Foram feitas 18 trincheiras, uma por parcela, em três dos quatro blocos da área experimental. A avaliação do desenvolvimento radicular do feijoeiro foi realizada visualmente a partir de imagem digital.

Na mesma ocasião avaliou-se a resistência do solo à penetração até 30 cm de profundidade, com medidor eletrônico de compactação do solo Falker. A análise foi realizada em cinco pontos por parcela, com cone de 12,82 mm de diâmetro e velocidade de medição máxima de 50 mm s<sup>-1</sup>, controlada manualmente. Também foi realizada a coleta de amostras de solo nas camadas de 0-20 cm e 20-30 cm para determinação da umidade do solo no momento da medição.

Em dezembro de 2009 foram coletadas amostras de solo, com estrutura alterada e preservada, para análises químicas e físicas. As análises químicas foram realizadas nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-7,5; 7,5-10; 10-15; 15-20; 20-25 e 25-30 cm, sendo determinados ou calculados os seguintes atributos: pH em água, teores de K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis, P extraível, acidez potencial (H+Al), carbono orgânico total (COT), soma de bases

(SB), CTC efetiva ( $CTC_{efetiva}$ ), CTC a pH 7,0 ( $CTC_{pH7}$ ), saturação por bases (V), saturação por  $Al^{3+}$  (m) e saturação por  $Na^+$  (SatNa). As análises físicas foram realizadas em camadas distintas. Nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm foram determinados porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), capacidade de campo (CC), capacidade de aeração (CAR), água prontamente disponível (APD), densidade do solo (DS) e resistência do solo à penetração (RP); nas camadas de 0-5 e 5-10 cm determinou-se a granulometria e o grau de flocculação (GF); e na camada de 0-5 cm determinou-se a condutividade hidráulica saturada (CHS) e a estabilidade de agregados.

Para as análises químicas do solo, as amostras foram secas em estufa a  $60^{\circ}C$ , moídas e peneiradas em malha de 2,0 mm. A determinação do pH em água foi realizada na relação 1:1 com leitura em potenciômetro;  $Na^+$  e  $K^+$  trocáveis e P extraível foram extraídos pelo método do extrator duplo ácido (Mehlich-1) com solução ácida de HCl  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e  $H_2SO_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ , sendo  $Na^+$  e  $K^+$  quantificados por fotometria de chama e o P quantificado com leitura da absorbância em espectrofotômetro UV-VIS com comprimento de onda ajustado para 660 nm;  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$  trocáveis foram extraídos com solução salina neutra de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , sendo  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o  $Al^{3+}$  quantificado por titulometria ácido-base com NaOH  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  (TEDESCO et al., 1995). A acidez potencial não trocável foi extraída com solução de  $Ca(CH_3COO)_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  tamponada a pH 7,0 e quantificada por titulometria ácido-base com NaOH  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  (EMBRAPA, 2009). O carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley e Black modificado por Tedesco et al. (1995), por oxidação com  $K_2Cr_2O_7$   $1,25 \text{ mol L}^{-1}$  em meio ácido de  $H_2SO_4$  concentrado e titulação com  $FeSO_4$   $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ . A soma de bases (SB), a CTC efetiva ( $CTC_{efetiva}$ ), a CTC a pH 7,0 ( $CTC_{pH7}$ ), a saturação por bases (V), a saturação por Al (m) e a saturação por Na (SatNa) foram calculadas conforme Embrapa (1997).

Para análises físicas do solo, foram coletadas duas amostras com estrutura preservada em anéis metálicos com volume de  $141,4 \text{ cm}^3$  (5 cm de altura e 6 cm de diâmetro), por camada e parcela. Estas amostras foram saturadas e submetidas às tensões de 6 e 10 kPa em mesa de tensão de areia e a tensão de 100 kPa em câmara de Richards para determinação dos seguintes atributos: PT determinada pela diferença de umidade entre o solo saturado e o solo seco; Micro pela diferença de umidade entre o solo na tensão de 6 kPa e o solo seco; Macro através da diferença entre PT e Micro (Embrapa, 1997); CC pela diferença de umidade entre o solo na tensão de 10 kPa e o solo seco; CAR pela diferença entre PT e CC; e APD pela diferença de umidade entre as tensões de 10 e 100 kPa. Após a aplicação da tensão de

100 kPa, o solo foi novamente saturado para determinação da CHS em permeâmetro de carga variável (GUBIANI et al., 2008). Realizadas essas determinações, as amostras foram secas em estufa a 105 °C para obtenção da DS pelo método do anel volumétrico conforme Blake e Hartge (1986).

Amostras de solo com estrutura alterada foram coletadas para determinação dos seguintes atributos físicos do solo: granulometria do solo e grau de floculação pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986), através da dispersão em água e NaOH 1 M para determinação do teor de argila total, e em água para argila dispersa em água; estabilidade de agregados por agitação vertical úmida de subamostras compreendidas entre 4,76 e 8,00 mm de diâmetro segundo Kemper e Chepil (1965), sendo os resultados expressos pelo diâmetro médio geométrico (DMG); e densidade de partículas (DP) pelo método do balão volumétrico (GUBIANI et al., 2006). Na mesma ocasião da coleta das amostras de solo, foi realizada a medição da resistência do solo à penetração (RP), conforme metodologia descrita anteriormente.

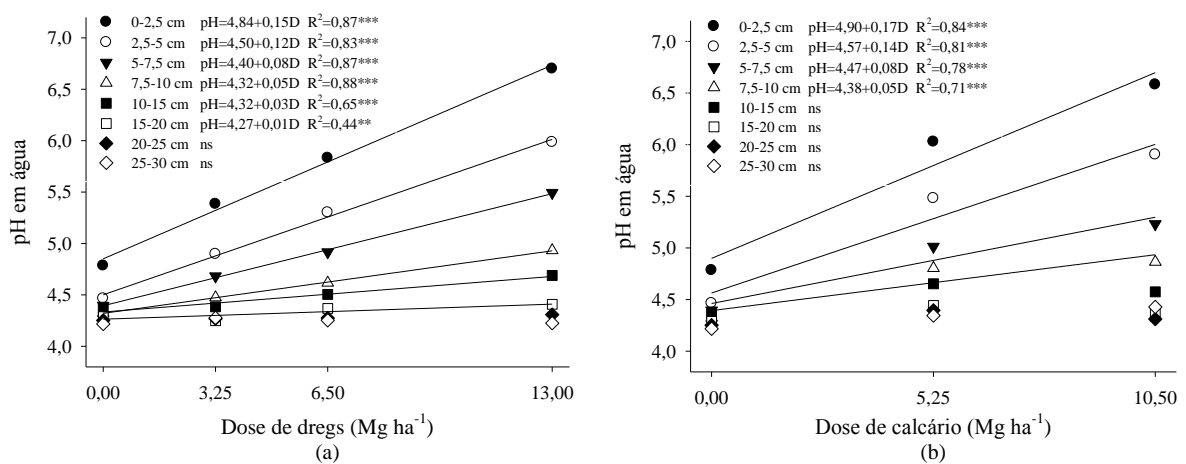
Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ). O fator quantitativo (dose de corretivo) foi analisado por camada de solo, com ajuste de equações de regressão linear ou quadrática para as doses de dregs e linear para as doses de calcário. A testemunha foi considerada como dose zero para ambos os corretivos. Diferenças entre corretivos para doses equivalentes (1/2 e 1 SMP) foram analisadas por contrastes lineares. Foram utilizados os modelos PROC REG e PROC GLM do programa estatístico SAS 9.1.3 (2007) para as regressões e contrastes, respectivamente.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Atributos químicos do solo

O efeito residual e a frente de alcalinização proporcionada pelos corretivos no solo pode ser observada através do aumento em profundidade do pH, da CTC<sub>efetiva</sub> e dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis, da diminuição da acidez do solo e de seus atributos relacionados, como a saturação por bases e por Al<sup>3+</sup>. Em muitos trabalhos, a frente de alcalinização tem sido relacionada não apenas ao aumento de pH, mas também do teor de Ca<sup>2+</sup> e redução de Al<sup>3+</sup> em camadas subsuperficiais, com a aplicação de corretivos na superfície.

As doses crescentes dos corretivos elevaram o pH do solo linearmente, tendo a correção pelo dregs alcançado a profundidade de 20 cm (Figura 2a), enquanto o calcário dolomítico elevou o pH até 10 cm (Figura 2b). A correção da acidez pelo dregs foi maior nas camadas superficiais, sendo que a maior dose elevou o pH para 6,7 de 0-2,5 cm, para 6,0 de 2,5-5 cm e para 5,5 na camada de 5-7,5 cm (Apêndice 2). A dose de calcário correspondente a 1 SMP elevou o pH para 6,6 até 2,5 cm de profundidade e para pH acima de 5,0 até 7,5 cm (Apêndice 2).



**Figura 2** pH em água por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

Neste mesmo estudo, três meses após a primeira aplicação (metade da dose), as maiores doses de dregs e calcário aumentaram o pH para 5,4 e 5,3 na camada de 0-5 cm, respectivamente (dados não publicados). Três meses após a segunda aplicação (metade da dose), o calcário elevou o pH para 6,0 com aumentos lineares até 10 cm, enquanto o dregs elevou o pH para 6,9, com aumentos até 15 cm (MEDEIROS et al., 2009).

A maior eficiência do dregs em corrigir a acidez em profundidade (Figura 2a) pôde ser constatada 39 meses após a avaliação de Medeiros et al. (2009), o que ocorre em função do dregs possuir CaOH, MgOH e Na<sub>2</sub>OH em sua composição (WOLFF, 2008), os quais liberam OH<sup>-</sup> na reação da dissociação, que por sua vez, possui maior solubilidade que o HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> liberado na reação do calcário (TEIXEIRA, 2003, ALMEIDA et al., 2007a; CORRÊA et al., 2007). A maioria das partículas de dregs estão abaixo de 0,075 mm (WOLFF, 2008), apresentando ação mais rápida que o calcário (TEIXEIRA, 2003). Entretanto, os resultados mostram que o dregs tem efeito residual semelhante ao calcário.



A calagem superficial com calcário é uma prática comum de correção da acidez do solo no sistema de semeadura direta no Sul do Brasil (AMARAL e ANGHINONI, 2001), tendo se mostrado eficaz na redução da acidez do solo e na disponibilidade de nutrientes (Ca e Mg), principalmente nas camadas superficiais, até 10 cm de profundidade (ALLEONI et al., 2005).

Com doses de dregs equivalentes a 1/2 SMP, Albuquerque et al. (2002) observaram aumento do pH para 6,8 e 7,3 na camada de 0-5 cm, respectivamente em um Latossolo Bruno e um Cambissolo Húmico incubados em colunas.

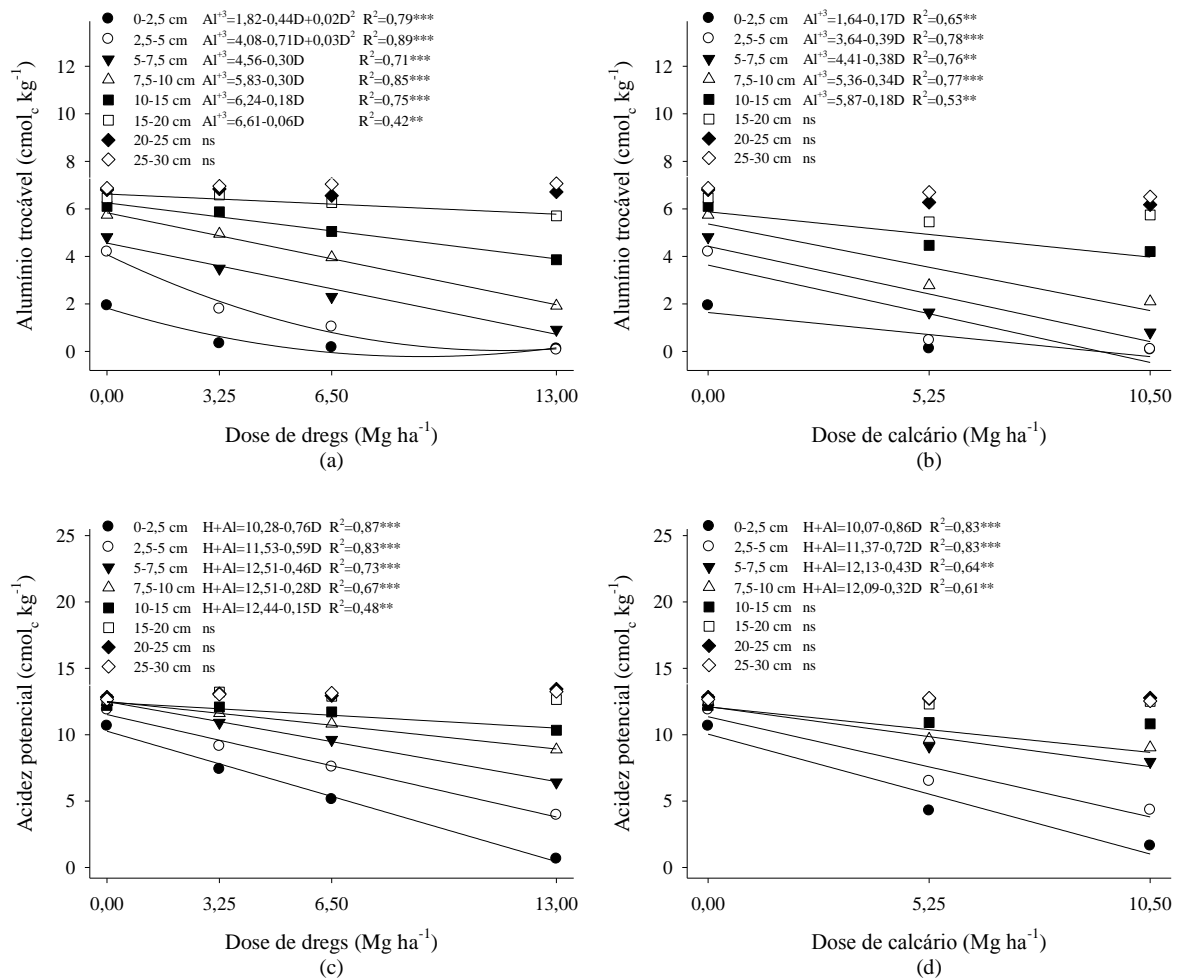
No trabalho de Pöttker e Ben (1998), com dois solos do Rio Grande do Sul, um com 380 g kg<sup>-1</sup> e outro com 580 g kg<sup>-1</sup> de argila, o pH aumentou somente na camada de 0-5 cm após 36 meses da aplicação superficial de calcário. Já Rheinheimer et al. (2000), com a aplicação de doses crescentes de calcário em um Argissolo Acinzentado, observaram aumento do pH para 5,2 com a metade da dose recomendada (8,5 Mg ha<sup>-1</sup>), diminuindo para menos de 5,0 aos 48 meses.

Quando não há incorporação do corretivo, ocorre uma frente de neutralização da acidez a partir da superfície do solo. Isto tem sido atribuído ao movimento descendente das partículas finas quando as características físicas do solo são favoráveis, ou ao movimento dos ânions básicos (OH<sup>-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) resultantes da dissolução do corretivo (AMARAL e ANGHINONI, 2001). Alta precipitação pluvial auxilia a dissolução das partículas, bem como a percolação de íons (AMARAL et al., 2004; FIDALSKI e TORMENA, 2005). Além disso, a semeadura mobiliza o solo na linha, o que pode incorporar parte do corretivo até aproximadamente 10 cm de profundidade.

Com o aumento da dose aplicada, o dregs diminuiu o teor de Al<sup>3+</sup> trocável até a profundidade de 20 cm e o calcário até 15 cm (Figuras 3a e 3b), sendo que as maiores doses de ambos os corretivos reduziram os teores abaixo de 1,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> até 7,5 cm de profundidade (Apêndice 2). O mesmo comportamento foi observado para a acidez potencial (H+Al), diminuindo linearmente até 15 cm com o aumento da dose de dregs e até 10 cm com o calcário (Figuras 3c e 3d).

No mesmo experimento, Medeiros et al. (2009) encontrou redução linear do H+Al apenas na camada superficial do solo para ambos os corretivos, após três meses da segunda aplicação em superfície. No trabalho de Albuquerque et al. (2002), com aplicação superficial de dregs na dose correspondente a 1/4 SMP, o teor de Al<sup>3+</sup> trocável diminuiu para aproximadamente zero cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de 0 a 5 cm após dois meses.

Após 12 meses, Caires et al. (1998) observaram que a aplicação de calcário na superfície aumentou o pH e reduziu o  $Al^{3+}$  trocável até 10 cm de profundidade num Latossolo Vermelho-Escuro. No trabalho de Pöttker e Ben (1998) com dois solos argilosos, também foram observadas alterações no teor de  $Al^{3+}$  trocável até 10 cm nos tratamentos com 1/4, 1/2 e 1 SMP aplicados na superfície.



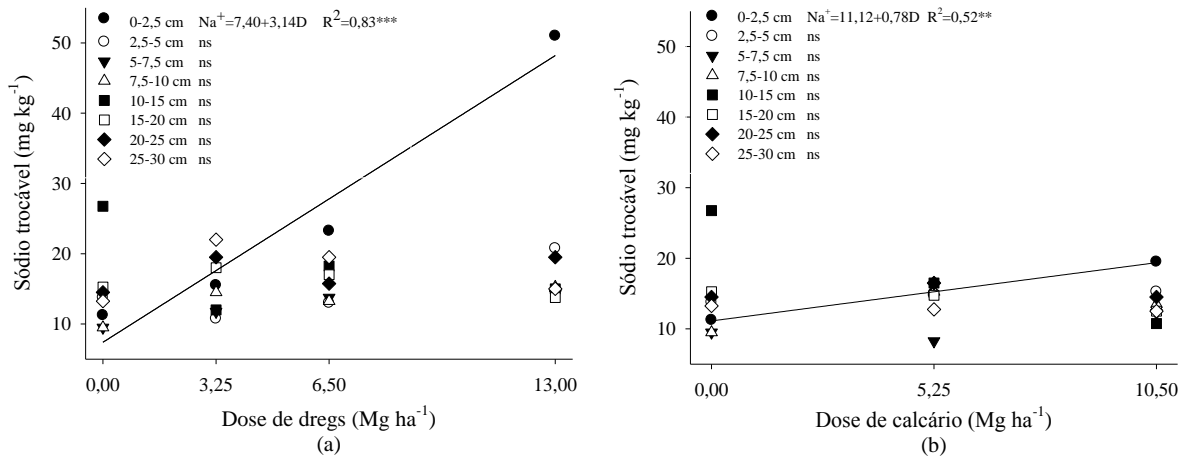
**Figura 3** Alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) e acidez potencial (H+Al) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

Rheinheimer et al. (2000) concluíram que não ocorre migração dos efeitos da calagem no perfil do solo quando a quantidade aplicada em superfície foi menor do que a necessidade para neutralizar o  $Al^{3+}$  trocável das camadas superficiais. Enquanto existirem cátions ácidos, a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial.

Houve aumento linear do teor de  $Na^{+}$  trocável com o aumento das doses de dregs e calcário até 2,5 cm de profundidade (Figura 4a e 4b).

Com as concentrações de  $34 \text{ g kg}^{-1}$  e  $0,017 \text{ g kg}^{-1}$  de Na no dregs e no calcário, respectivamente, adicionou-se  $442 \text{ kg ha}^{-1}$  de Na com a dose de  $13,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de dregs e  $1,8 \text{ kg ha}^{-1}$  de Na com a dose de  $10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário.



**Figura 4** Sódio trocável ( $\text{Na}^+$ ) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009. (\*, \*\*, \*\*\* e ns: significativo a 5 %, 1 %, 0,1 % e não significativo, respectivamente).

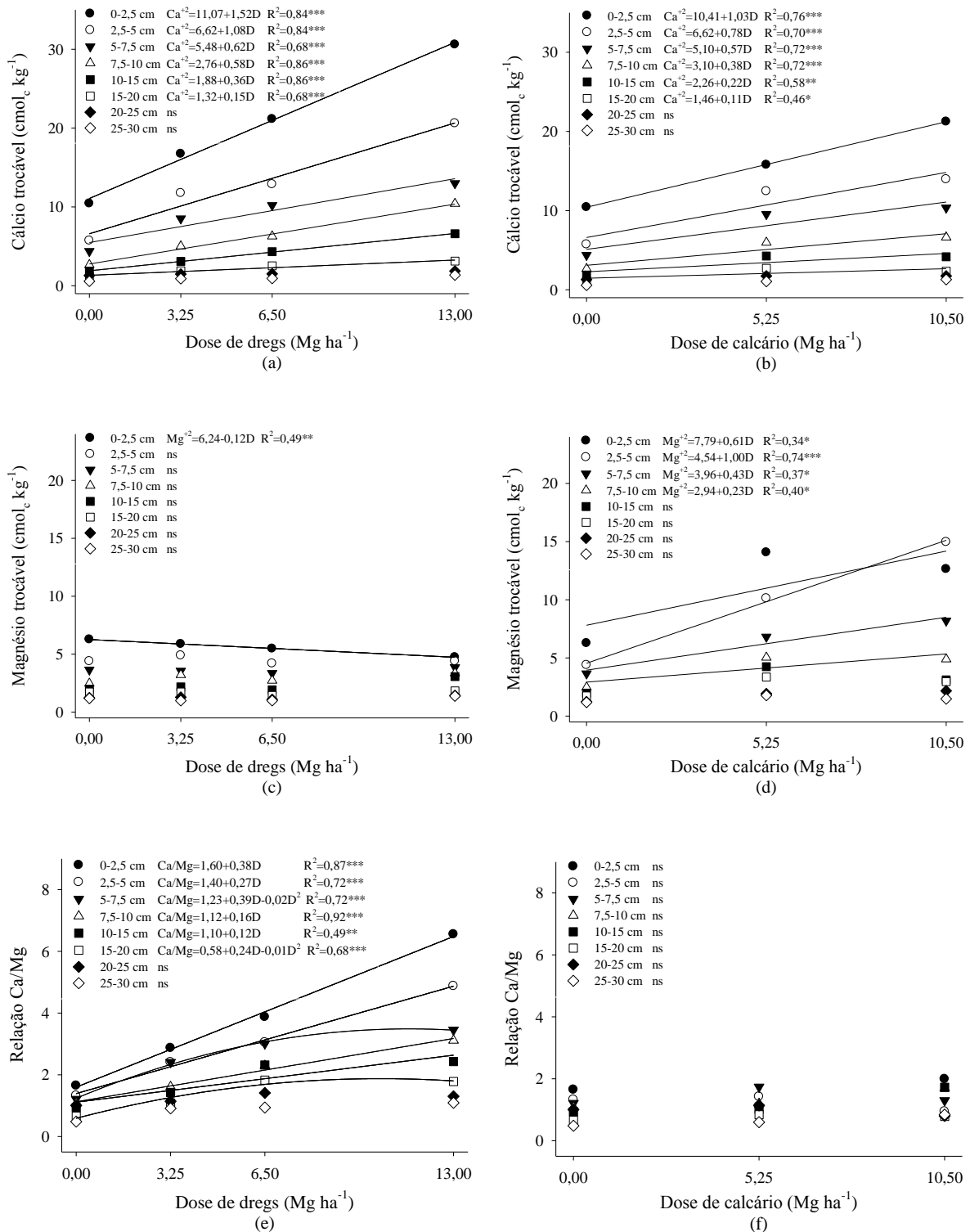
O  $\text{Na}^+$  pode ser facilmente lixiviado pela baixa adsorção às partículas devido a seu grande raio hidratado. No entanto, a elevação do pH e a criação de cargas proporcionada pelos corretivos, aumenta a adsorção do  $\text{Na}^+$  às cargas, diminuindo sua descida no perfil do solo.

Após três meses da aplicação da primeira metade da dose de 1 SMP de dregs, o  $\text{Na}^+$  trocável aumentou para  $92 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada de 0-5 cm, com aumentos significativos até 20 cm (dados não publicados). Segundo Medeiros et al. (2009), após três meses da aplicação da segunda metade da mesma dose de dregs, os teores de  $\text{Na}^+$  trocável aumentaram de forma linear até 15 cm, variando de  $12 \text{ mg kg}^{-1}$  até  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ . Valores próximos a estes foram encontrados nesta nova avaliação (Figura 4a; Apêndice 2), além de saturação por  $\text{Na}^+$  inferior a 0,5 % em todos os tratamentos e camadas avaliadas (Tabela 2).

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  trocável aumentaram linearmente com o aumento das doses dos corretivos. Dregs e calcário elevaram o  $\text{Ca}^{2+}$  até a profundidade de 20 cm (Figuras 5a e 5b; Apêndice 2). Os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  aumentaram apenas com o uso do calcário dolomítico, com aumentos lineares até 10 cm de profundidade (Figura 5d). O calcário é composto por  $118 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg, o que proporcionou a adição de  $1.239 \text{ kg ha}^{-1}$  de Mg na dose de  $10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

A relação Ca/Mg não foi alterada com a aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico, alcançando um máximo de 2/1 (Figura 5f). Entretanto, o uso do dregs aumentou a

relação Ca/Mg até 20 cm de profundidade (Figura 5e), chegando a quase 7/1 na camada superficial com a maior dose.



**Figura 5** Cálcio e magnésio trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) e relação Ca/Mg por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c, e) e calcário (b, d, f), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

Segundo a CQFS RS-SC (2004), a maior parte das culturas não é afetada por relações Ca/Mg variando de 0,5/1 até mais de 10/1, desde que nenhum dos dois nutrientes esteja em deficiência no solo. Teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis iguais ou menores que 2,0 e 0,5  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente, são considerados deficientes.

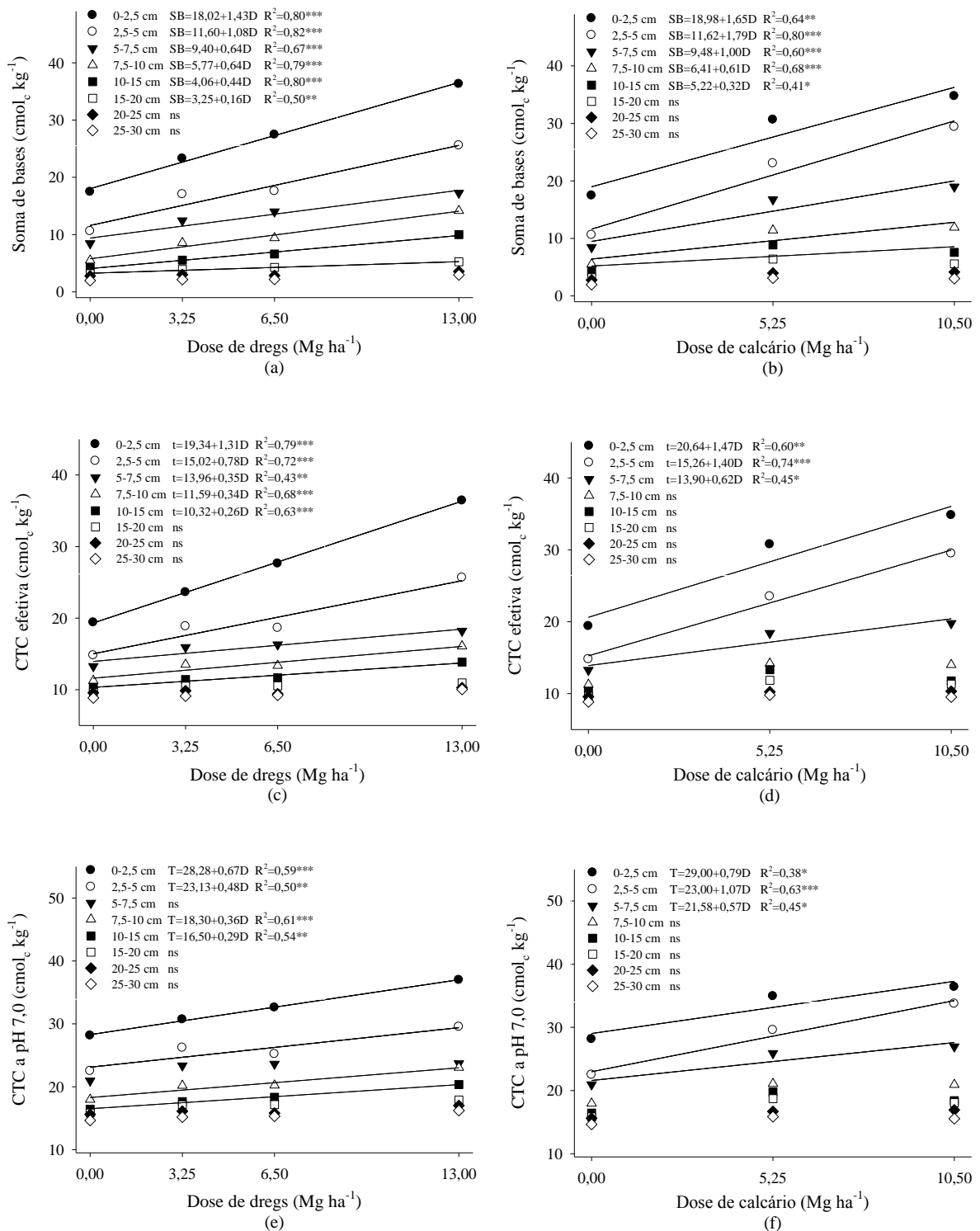
Na análise de Medeiros et al. (2009), a elevação dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  teve aumento linear até 15 cm de profundidade com as doses crescentes de dregs, e até 10 cm com o calcário. Já os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  aumentaram na camada de 0-5 cm com a adição de calcário e até 15 cm com o dregs. Esses resultados discordam dos resultados obtidos após 42 meses da aplicação da segunda meia dose dos corretivos (Figura 5).

No trabalho de Caires et al. (1998), a calagem superficial aumentou os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis até 10 cm após 28 meses e houve aumento do  $\text{Mg}^{2+}$  abaixo dos 20 cm de profundidade. Rheinheimer et al. (2000) encontraram aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  até os 36 meses da aplicação superficial de 8,5  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário, diminuindo aos 48 meses e com pouca alteração abaixo de 10 cm de profundidade. Fidalski e Tormena (2005) aplicaram doses de até 7,2  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário em um Latossolo Vermelho, encontrando a máxima resposta da calagem aos 36 meses com a evolução dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  até 10 cm de profundidade e de  $\text{Mg}^{2+}$  até 60 cm.

A frente de alcalinização dificulta o deslocamento de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  pela adsorção as cargas negativas geradas com a elevação do pH (TEIXEIRA, 2003). A mobilidade dos cátions básicos no perfil do solo pode ser favorecida pela formação de pares iônicos com compostos inorgânicos dos produtos da dissolução do corretivo ou de ânions liberados pela exudação radicular na rizosfera ou provenientes da mineralização de adubos ou da decomposição de resíduos vegetais (OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al., 2000; RHEINHEIMER et al., 2000; ROSOLEM et al., 2003).

A adição de cátions básicos com os corretivos elevou a soma de bases (SB) linearmente com o aumento das doses. O dregs aumentou a SB até 20 cm de profundidade, enquanto o calcário até 15 cm (Figuras 6a e 6b). A  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$  e a  $\text{CTC}_{\text{pH7}}$  também aumentaram linearmente até 15 cm com a aplicação superficial de dregs (Figuras 6c e 6e) e até 7,5 cm com a aplicação superficial de calcário (Figuras 6d e 6f). Na camada de 0-2,5 cm, a  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$  aumentou de 19  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para 36 e 35  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  nas maiores doses de dregs e calcário, respectivamente (Apêndice 2).

No trabalho de Albuquerque et al. (2002), houve aumento da  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ , na camada de 0-5 cm, de 9 para 12  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  em um Latossolo e de 6 para 12  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  em um Cambissolo com a aplicação superficial de dregs na dose de 1/2 SMP.



**Figura 6** Soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e CTC a pH 7,0 (T) em camadas de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c, e) e calcário (b, d, f), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

A CTC<sub>efetiva</sub> é função principalmente da acidez potencial, que por sua vez é dependente da mineralogia, granulometria e teor de matéria orgânica do solo. A calagem aumenta a

CTC<sub>efetiva</sub> em solos ácidos com predomínio de carga variável (ALBUQUERQUE et al., 2000), como é o caso da maioria dos solos do Sul do Brasil. O aumento da CTC<sub>efetiva</sub> é consequência da desprotonação dos colóides, com adsorção química de hidroxilas na superfície dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, nas arestas quebradas da caulinita, e da ionização de grupamentos funcionais da matéria orgânica, especialmente os carboxílicos (STEVENSON, 1994). Conforme o pH do solo aumenta o Al<sup>3+</sup> sofre hidrólise deixando vago sítios de troca de cátions, ou ainda, ocasiona a dissociação do hidrogênio (CAMARGO et al., 1997).

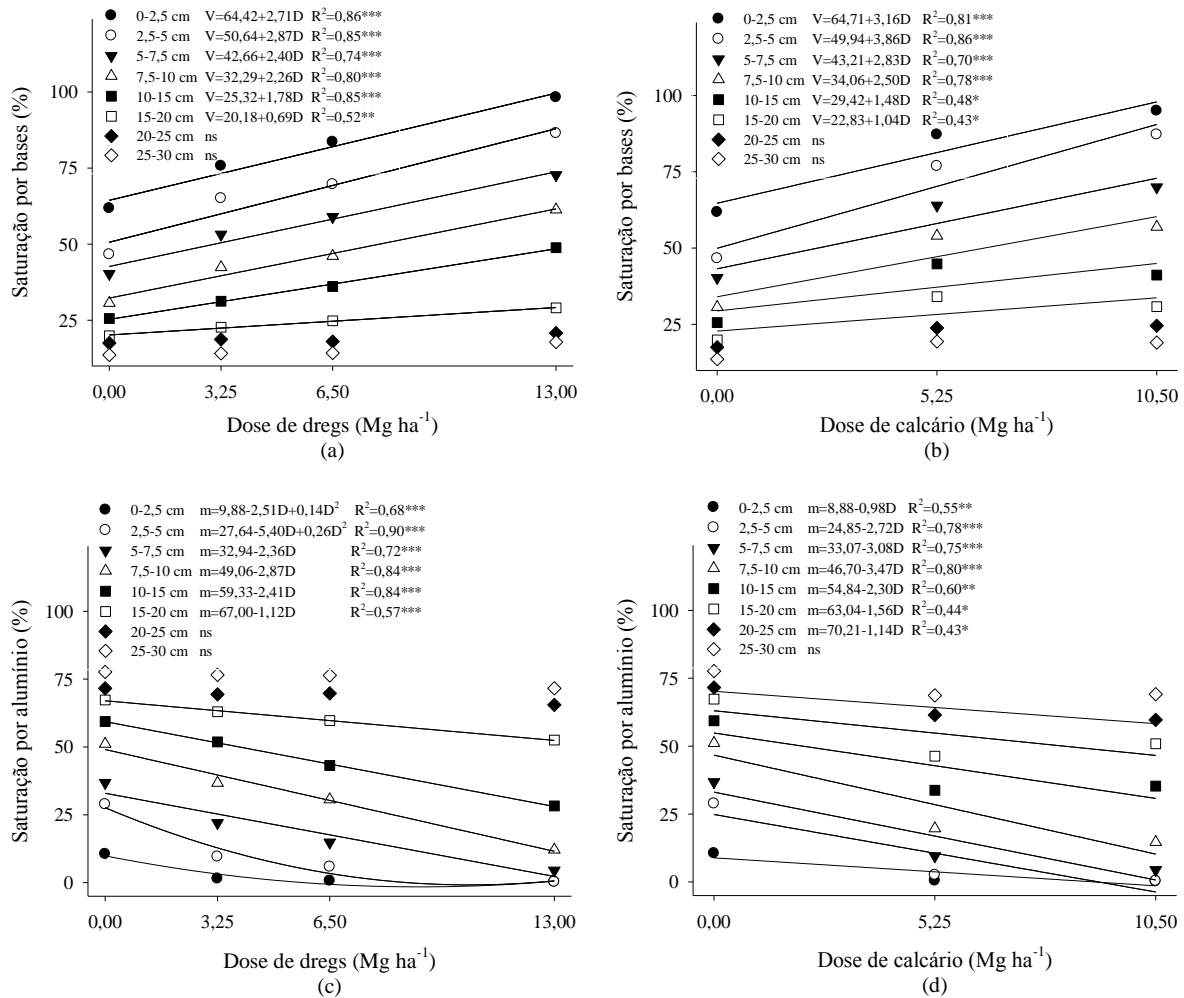
Os resultados de CTC<sub>pH7</sub> concordam com o estudo de Alleoni et al. (2005), onde 30 meses após a aplicação de calcário em um Latossolo Vermelho distrófico, a calagem na superfície aumentou a CTC<sub>pH7</sub> do solo até 10 cm de profundidade. Não é comum o aumento da CTC<sub>pH7</sub> com a aplicação de calcário (MORELLI et al., 1971). Portanto, os dados observados podem ser devido a metodologia de cálculo utilizada, onde a CTC<sub>pH7</sub> é a soma entre SB e H+Al. O valor da SB pode ter sido superestimado nos tratamentos que receberam dregs e calcário em função da detecção de carbonatos que não reagiram no solo, do maior teor de cátions na solução do solo e da possibilidade de dissociação de polímeros de alumínio das entrecamadas de argilominerais na determinação da acidez potencial, aumentando o teor de H+Al.

A saturação por bases (V) aumentou com as doses, sendo este aumento significativo até a profundidade de 20 cm para ambos os corretivos (Figuras 7a e 7b). Nas maiores doses de dregs e calcário, a V alcançou uma média de 90 % de 0 a 5 cm (Apêndice 2). Os resultados corroboram com Ciotta et al. (2004), onde a calagem aumentou a V de 0 a 20 cm. O aumento da V em subsuperfície com a aplicação de calcário sobre o solo decorre da diminuição dos teores de Al<sup>3+</sup> trocável e do aumento de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. Segundo a CQFS RS-SC (2004), V acima de 65 % é interpretada como ‘média’, sendo suficiente para o bom desenvolvimento da maioria das culturas.

A saturação por Al<sup>3+</sup> (m) seguiu o padrão de decréscimo dos teores de Al<sup>3+</sup> trocável, conforme o aumento das doses dos corretivos. Valores muito próximos a uma saturação de zero ocorreram até 2,5 cm de profundidade, com saturação menor do que 10 % até 7,5 cm, tanto para o dregs como para o calcário (Figuras 7c e 7d), ficando na faixa de interpretação ‘baixo’ (CQFS RS-SC, 2004).

Esses resultados concordam com Kaminski et al. (2005), onde a calagem superficial com a dose de 1/2 SMP (8,5 Mg ha<sup>-1</sup>) manteve a saturação por Al<sup>3+</sup> próxima a zero nos primeiros 5 cm e menor do que 10 % até 7,5 cm de profundidade. No trabalho realizado por

Rheinheimer et al. (2000) foram necessários 48 meses para que a saturação por alumínio atingisse nível próximo de zero até 10 cm de profundidade com  $17 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário.



**Figura 7** Saturação por bases (V) e por alumínio (m) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

Os teores de P extraível,  $K^+$  trocável, saturação por sódio (SatNa) e carbono orgânico total (COT) não diferiram entre os tratamentos. As médias por camada estão na Tabela 2.

O aumento dos teores de  $Na^+$  trocável no solo não elevaram a SatNa, que se manteve entre 0,2 e 0,5 % até os 30 cm de profundidade (Tabela 2). O aumento da CTC<sub>efetiva</sub> do solo com a calagem diminui a percentagem de sódio nas cargas.

A SatNa avaliada no estudo de Albuquerque et al. (2002), em colunas e ambiente controlado, aumentou significativamente na camada de 0-5 cm, alcançando 3,8 % no Latossolo e 5,9 % no Cambissolo após dois meses de aplicação da maior dose de dregs. No



campo, a lixiviação de  $\text{Na}^+$  é favorecida por eventos de chuva intensa, o que diminui a saturação nas camadas superficiais.

Autores citam os limites de 5 % (ALBUQUERQUE et al., 2002; MALTZ et al., 1999) e 15 % (SPARKS, 1995) como críticos para a saturação por  $\text{Na}^+$  influenciar a dispersão dos colóides do solo.

Os teores de P e  $\text{K}^+$  trocável são considerados ‘altos’ até 20 cm de profundidade (CQFS RS-SC, 2004), com médias de 19 e 153  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 2).

O teor de COT não foi alterado com os tratamentos em análise realizada em 2005 por Medeiros et al. (2009), com média de 25  $\text{g kg}^{-1}$ . A mesma média para COT foi encontrada nesta nova análise. Os altos teores naturais de matéria orgânica, a baixa atividade microbiana pelas baixas temperaturas da região e o não revolvimento do solo, mantêm alto o teor de COT no solo.

**Tabela 2** Média de atributos químicos por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

Tratamentos	Camada	P ----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----	K	SatNa %	COT $\text{g kg}^{-1}$
	0-2,5 cm	48 <sup>1</sup>	282	0,3	50
	2,5-5 cm	24	171	0,2	33
	5-7,5 cm	20	144	0,2	28
Média	7,5-10 cm	12	129	0,3	28
	10-15 cm	9	103	0,4	26
	15-20 cm	5	89	0,4	25
	20-25 cm	3	75	0,4	23
	25-30 cm	3	69	0,5	22

Legenda – P: fósforo extraível; K: potássio trocável; SatNa: saturação por sódio; COT: carbono orgânico total.

<sup>1</sup>Média de 24 observações.

Considerando a adição de calcário em superfície em sistemas de plantio direto, muitos trabalhos obtiveram resultados parecidos quanto à frente de alcalinização proporcionada em diferentes classes de solos. Caires et al. (2000), Fidalski e Tormena (2005), Alleoni et al. (2005), Kaminski et al. (2005) e Corrêa et al. (2007) encontraram grande ação da calagem nos aumentos de pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e SB, e na redução de  $\text{Al}^{3+}$  trocável e da acidez potencial até 10, 15 ou 20 cm, conforme o tempo e a dose de corretivo aplicada. Assim, os efeitos da calagem superficial com dregs e calcário, neste trabalho, foram concordantes com a maioria dos trabalhos publicados com solos do Sul do Brasil.

Considerando os teores de atributos químicos adequados ao crescimento das plantas, a calagem superficial com dregs e calcário após 66 e 42 meses, respectivamente, da primeira e segunda aplicação da meia dose recomendada, foi eficiente até a camada de 10 cm apenas nas doses mais altas. O movimento de alcalinidade parece ser dependente da dose e do tipo de

corretivo aplicado na superfície, das propriedades físicas do solo, do teor de matéria orgânica e do regime hídrico de cada região (CAIRES et al., 1998; RHEINHEIMER et al., 2000; AMARAL e ANGHINONI, 2001; MOREIRA et al., 2001; GATIBONI et al., 2003; AMARAL et al., 2004; ALLEONI et al., 2005).

A Tabela 3 mostra contrastes entre os corretivos para as doses correspondentes a 1/2 e 1 SMP.

**Tabela 3** Contrastes lineares entre tratamentos, para atributos químicos de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

Contrastes		pH	Al - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	H+Al	P - mg kg <sup>-1</sup>	K - mg kg <sup>-1</sup>	Na - mg kg <sup>-1</sup>	Ca - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Mg - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Ca/Mg	SB - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	CTC <sub>ef</sub> - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	CTC <sub>pH7</sub> - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	V - %	m - %	SatNa - %	COT - g kg <sup>-1</sup>
Camada 0-2,5 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,04	0,01	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa <sup>1</sup>	0,2	0,0	-0,9	-13	3,5	-8,3	-5,4	8,6	-2,7	3,2	3,1	2,3	3,6	-0,2	-0,1	0,1
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	0,01	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	ns
	Estimativa	-0,1	0,0	1,0	-9,0	12,0	-32	-9,4	7,9	-4,6	-1,6	-1,6	-0,6	-3,3	-0,1	-0,4	1,5
Camada 2,5-5 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	ns	ns	ns
	Estimativa	0,2	-0,6	-1,1	-0,5	-23	1,8	-0,4	5,9	-1,6	5,5	4,9	4,3	7,2	-3,3	0,0	2,6
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	0,01	ns	ns	0,04	ns	ns	0,01	ns
	Estimativa	-0,1	0,0	0,4	5,2	-21	-5,5	-6,7	10,6	-3,9	3,9	3,8	4,2	0,7	0,1	-0,2	-2,0
Camada 5-7,5 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,02	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,1	-0,6	-0,5	1,7	-1,5	-5,5	-0,7	3,4	-1,3	2,8	2,1	2,3	5,0	-5,4	-0,1	3,2
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	ns	ns	0,05	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,3	-0,1	1,5	4,4	1,5	-2,0	-2,6	4,4	-2,2	1,7	1,6	3,3	-2,8	-0,1	-0,1	1,3
Camada 7,5-10 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	0,03	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	ns	ns	ns	0,03	0,02	ns	ns
	Estimativa	0,2	-1,2	-1,2	-1,8	-8,0	2,0	-0,3	2,3	-1,1	2,0	0,9	0,9	7,9	-11	0,0	2,5
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,00	ns	0,00	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,1	0,2	0,2	-1,3	-4,0	-1,8	-3,8	1,5	-1,4	-2,3	-2,1	-2,1	-4,5	2,6	0,0	-0,6
Camada 10-15 cm																	
C50 x D50	Pr > F	0,03	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,03	0,02	ns	ns	0,01	0,02	ns	ns
	Estimativa	0,2	-0,6	-0,8	-1,9	0,8	-1,8	-0,1	2,3	-1,3	2,3	1,6	1,5	8,8	-9,4	-0,1	-0,2
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	ns	ns	0,01	0,03	ns	0,01	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,1	0,4	0,5	0,8	-12	-4,3	-2,4	0,0	-0,7	-2,4	-2,1	-1,9	-7,7	7,0	-0,1	-0,2
Camada 15-20 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	0,01	0,04	ns	0,01	0,01	ns	ns
	Estimativa	0,1	-0,8	-0,6	0,1	15,5	-2,3	0,2	1,9	-1,0	2,2	1,3	1,6	9,3	-13	-0,1	0,5
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,04	0,01	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,1	0,0	-0,1	1,1	-9,3	-1,3	-0,8	1,2	-1,0	0,3	0,4	0,2	1,7	-1,6	-0,1	-0,7
Camada 20-25 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,03	ns	ns	0,03	0,03	ns	ns
	Estimativa	0,1	-0,3	-0,2	0,7	18,0	0,8	0,2	0,9	-0,3	1,2	0,9	0,9	5,8	-8,3	0,0	1,3
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,02	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,0	-0,5	-0,7	0,1	-3,5	-5,0	-0,1	0,8	-0,5	0,6	0,1	-0,1	3,8	-5,9	-0,1	0,7
Camada 25-30 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,1	-0,4	-0,4	0,3	15,3	-6,8	0,1	0,8	-0,4	0,9	0,6	0,5	5,1	-7,7	-0,2	2,6
C100 x D100	Pr > F	ns	0,02	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,2	-0,6	-0,8	0,7	7,3	-2,5	-0,1	0,1	-0,2	0,0	-0,5	-0,7	1,2	-2,5	-0,1	1,6

Legenda – C50: calcário na dose de 1/2 SMP; C100: calcário na dose de 1 SMP; D50: dregs na dose de 1/2 SMP; D100: dregs na dose de 1 SMP; pH: pH em água; Al: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; Na: sódio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; Ca/Mg: relação Ca/Mg; SB: soma de bases; CTC<sub>ef</sub>: CTC efetiva; CTC<sub>pH7</sub>: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; SatNa: saturação por sódio; COT: carbono orgânico total; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Diferença absoluta no valor do atributo entre os tratamentos. Valor positivo indica que o primeiro tratamento tem maior valor.

O contraste entre os tratamentos C50 e D50 foi significativo para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Ca/Mg, SB,  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ ,  $\text{CTC}_{\text{pH7}}$ , V e m (Tabela 3). O dregs adicionou mais  $\text{Ca}^{2+}$  trocável que o calcário na camada de 0-2,5 cm e aumentou a relação Ca/Mg no perfil. Entretanto, o calcário aumentou, mais que o dregs, o teor de  $\text{Mg}^{2+}$  trocável, a SB, a V, a  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ , e a  $\text{CTC}_{\text{pH7}}$ , e diminuiu o teor de  $\text{Al}^{3+}$  trocável e sua saturação. As diferenças alcançaram até 30 cm de profundidade.

Nos contrastes entre C100 e D100, houve diferenças para os teores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis, Ca/Mg e SatNa (Tabela 3). A aplicação de calcário na dose de 1 SMP adicionou mais  $\text{Mg}^{2+}$  até 25 cm de profundidade, enquanto o dregs adicionou mais  $\text{Ca}^{2+}$  até 20 cm, além de aumentar o teor e a saturação de  $\text{Na}^+$ .

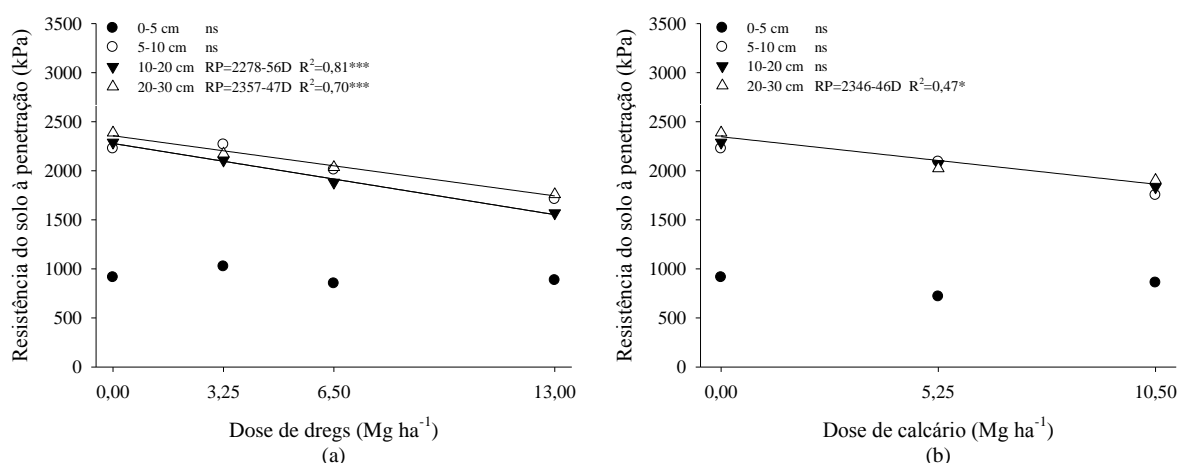
A comparação entre os corretivos para as mudanças nos atributos químicos do solo mostrou certa desuniformidade quanto à ação em profundidade e sem grandes diferenças que anulem o efeito corretivo proporcionado. No entanto, pode-se observar uma maior eficiência do calcário com a meia dose recomendada (1/2 SMP) e do dregs na dose integral (1 SMP), à exceção do  $\text{Mg}^{2+}$ , apenas adicionado com o calcário dolomítico. Esses resultados demonstram a viabilidade técnica da aplicação de dregs em solos cultivados em sistema de semeadura direta.

O dregs utilizado neste experimento tem pH de 10,7 e valor de neutralização (VN) de 80,3 %. Este VN é muito semelhante ao dos calcários de boa qualidade utilizados na agricultura. Almeida et al. (2007b) analisaram o mesmo lote de dregs e concluíram que sua composição química inorgânica indica que este produto pode ser utilizado como corretivo da acidez dos solos agrícolas e também como fonte de  $\text{Ca}^{2+}$  e de alguns micronutrientes às plantas, sem riscos de contaminação em curto e médio prazos.

#### 3.4.2 Atributos físicos do solo

O Cambissolo Húmico alítico possui textura franco argilosa, com 393 g  $\text{kg}^{-1}$  de areia, 317 g  $\text{kg}^{-1}$  de silte, 290 g  $\text{kg}^{-1}$  de argila e densidade de partículas de 2,58  $\text{Mg m}^{-3}$ .

Entre os atributos físicos do solo, apenas a resistência do solo à penetração (RP) diferiu com o aumento das doses dos corretivos (Figura 8). A RP diminuiu linearmente de 10 a 30 cm de profundidade com o incremento das doses de dregs e na camada de 20-30 cm com o calcário. A umidade do solo no dia da determinação da RP era de 0,31  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na camada de 0-20 cm e de 0,35  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na camada de 20-30 cm.



**Figura 8** Resistência do solo à penetração (RP) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009. (\*, \*\*, \*\*\* e ns: significativo a 5 %, 1 %, 0,1 % e não significativo, respectivamente).

Os demais atributos físicos do solo avaliados não diferiram em função das doses dos corretivos, sendo as médias por camada, apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4** Média de atributos físicos, por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

Tratamentos	Camada	DS Mg m <sup>-3</sup>	PT	Macro		Micro		CC	CAR	APD	GF %	DMG mm	CHS mm h <sup>-1</sup>
				----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----									
Média	0-5 cm	1,23 <sup>1</sup>	0,51	0,09	0,42	0,40	0,11	0,03	53	6,1	29	.	
	5-10 cm	1,29	0,50	0,07	0,43	0,41	0,09	0,03	57	.	.	.	
	10-20 cm	1,29	0,49	0,06	0,43	0,42	0,07	0,03	.	.	.	.	
	20-30 cm	1,31	0,49	0,06	0,43	0,42	0,07	0,03	.	.	.	.	

Legenda – DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; CC: capacidade de campo; CAR: capacidade de aeração; APD: água prontamente disponível; GF: grau de floclulação; DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados; CHS: condutividade hidráulica saturada.

<sup>1</sup> Média de 24 observações.

A densidade do solo (DS) variou de 1,23 Mg m<sup>-3</sup> na camada de 0-5 cm a 1,31 Mg m<sup>-3</sup> de 20-30 cm (Tabela 4; Apêndice 3), ficando abaixo do limite crítico para solos de textura franco argilosa, que segundo Reichert et al. (2003) é entre 1,4 e 1,5 Mg m<sup>-3</sup>. Em análise deste experimento três meses após a aplicação da segunda meia dose dos corretivos, Medeiros et al. (2009) encontraram diferença para DS entre os tratamentos na primeira camada para ambos os corretivos aplicados, variando de 1,19 a 1,30 Mg m<sup>-3</sup>. O maior desenvolvimento radicular das culturas nos tratamentos com corretivos poderia reduzir a DS e aumentar a macroporosidade (Macro), o que não foi observado 66 e 42 meses, respectivamente, após a primeira e segunda aplicação da meia dose dos corretivos.

A média da capacidade de aeração (CAR) ficou abaixo do limite crítico de porosidade com ar, que é 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (JONG VAN LIER et al., 2010). Este indicador contradiz o

resultado observado para DS que estaria adequado segundo Reichert et al. (2003). Assim, estudos mais detalhados sobre estes indicadores físicos devem ser conduzidos para os solos do Planalto Catarinense, os quais diferem de outros em função do elevado teor de matéria orgânica.

A média do diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) na camada de 0-5 cm foi 6,1 mm (Tabela 4), sem diferenças entre tratamentos, discordando de Medeiros et al. (2009), cujo DMG dos agregados na camada de 0-5 cm foi alterado após três meses da adição de dregs, predominando o efeito dispersante dos elementos químicos. Deve ser considerado que o efeito dos corretivos neste indicador é mais intenso logo após a aplicação do corretivo e de sua dissolução.

Para o grau de floculação (GF), a média das camadas analisadas foi de 55 % (Tabela 4). Albuquerque et al. (2002) encontraram efeito do  $\text{Na}^+$  na diminuição do GF na camada de 0-5 cm com a aplicação superficial de dregs em um Cambissolo.

Três meses após a aplicação da segunda metade das doses dos corretivos, o GF reduziu linearmente na camada de 0-5 cm, de 77 para 63 % com o uso do dregs e para 71 % com o calcário (MEDEIROS et al., 2009). Percebe-se que o GF reduziu com o tempo do experimento, no entanto, não houve diferença entre a aplicação dos corretivos e o tratamento sem corretivo (Apêndice 3). Tais diferenças com as análises mais recentes podem ser devidas ao diferente sistema radicular das espécies que compunham o campo nativo em relação ao sistema radicular das espécies cultivadas nos últimos anos, além do efeito da época de coleta.

A concentração de aproximadamente  $34 \text{ g kg}^{-1}$  de Na no dregs utilizado não influenciou significativamente a dispersão dos colóides do solo e a estabilidade dos agregados após o tempo da aplicação, mantendo sua qualidade estrutural. O efeito de dispersão causado pelo  $\text{Na}^+$  é temporário devido sua lixiviação pela fraca adsorção as cargas negativas do solo (ALMEIDA et al., 2008).

Os contrastes entre doses equivalentes dos corretivos sobre os atributos físicos do solo encontram-se na Tabela 5, sendo que não houve diferença entre a adição de dregs ou calcário nos atributos avaliados. Esse resultado indica a viabilidade de uso do dregs no solo como corretivo da acidez, sem prejuízo a qualidade física do solo.

**Tabela 5** Contrastes lineares entre tratamentos, para atributos físicos de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

Contrastes		DS Mg m <sup>-3</sup>	PT	Macro	Micro m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	CC	CAR	APD	GF %	RP kPa	DMG mm	CHS mm h <sup>-1</sup>
Camada 0-5 cm												
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa <sup>1</sup>	-0,04	0,01	0,02	-0,02	-0,01	0,02	0,00	-1	-123	-0,8	30
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2	-25	0,0	-4
Camada 5-10 cm												
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	.	.
	Estimativa	-0,02	0,00	0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,00	1	82	.	.
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	.	.
	Estimativa	0,02	-0,02	-0,02	0,00	-0,01	-0,02	0,00	0	42	.	.
Camada 10-20 cm												
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	.	ns	.	.
	Estimativa	-0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	.	188	.	.
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	.	ns	.	.
	Estimativa	-0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	.	265	.	.
Camada 20-30 cm												
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	.	ns	.	.
	Estimativa	-0,02	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	.	-12	.	.
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	.	ns	.	.
	Estimativa	0,00	-0,01	-0,02	0,01	0,01	-0,02	0,00	.	145	.	.

Legenda – C50: calcário na dose de 1/2 SMP; C100: calcário na dose de 1 SMP; D50: dregs na dose de 1/2 SMP; D100: dregs na dose de 1 SMP; DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; CC: capacidade de campo; CAR: capacidade de aeração; APD: água prontamente disponível; GF: grau de flocculação; RP: resistência do solo à penetração; DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados; CHS: condutividade hidráulica saturada; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Diferença absoluta no valor do atributo entre os tratamentos. Valor positivo indica que o primeiro tratamento tem maior valor.

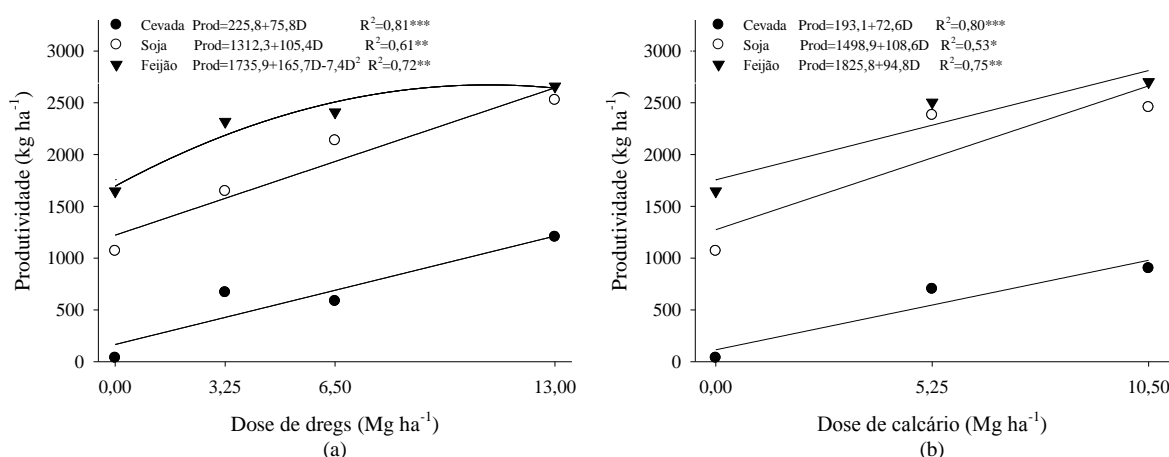
### 3.4.3 Produtividade das culturas

A partir da melhoria da qualidade química do solo proporcionada pelos corretivos, a produtividade das culturas estudadas aumentou (Figura 9).

No cultivo de cevada na safra 2009, o aumento foi linear (Figura 9). Entretanto, a produtividade média da cevada foi baixa devido à forte competição com plantas daninhas, especialmente nos tratamentos onde a acidez é mais elevada e a cevada não consegue se desenvolver suficientemente para suprimir o crescimento das plantas daninhas.

A produtividade de soja na safra 2009/2010 aumentou linearmente com a dose integral de dregs (Figura 9). Medeiros et al. (2009) obtiveram aumento na produtividade do trigo (safra 2006) de 1.750 kg ha<sup>-1</sup> para 3.000 kg ha<sup>-1</sup> nos tratamentos com a dose de 1 SMP de ambos os corretivos.

Para a produtividade de feijão na safra 2010/2011, o aumento foi quadrático com a aplicação de doses crescentes de dregs e linear para a aplicação de calcário. As maiores doses de dregs e calcário aumentaram a produtividade de 1.650 kg ha<sup>-1</sup> para 2.660 e 2.700 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 9** Produtividade de cevada, soja e feijão em um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009. (\*, \*\*, \*\*\* e ns: significativo a 5 %, 1 %, 0,1 % e não significativo, respectivamente).

Pöttker e Ben (1998) encontraram respostas de cevada e soja à aplicação superficial de calcário em dois solos argilosos. Os maiores rendimentos de cevada foram observados na dose de calcário correspondente a 1 SMP, confirmando a alta sensibilidade da cultura à acidez do solo; enquanto a produtividade da soja não diferiu entre as doses de 1/4, 1/2 e 1 SMP de calcário. Fageria (2001), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Escuro com aplicação de doses de calcário e incorporação, encontrou aumento de 21 % na produtividade de feijão com aplicação de 5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e de 31 % para a soja, com a aplicação de 9 Mg ha<sup>-1</sup>. Entretanto, Caires et al. (1998) observaram ausência de resposta ao calcário aplicado em superfície em dois cultivos de soja, e concluíram ser possível obter elevada produção dessa cultura mesmo em solo com pH de 4,5, desde que os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> estejam em disponibilidade suficiente. Entretanto, em solos ácidos, a disponibilidade de P para as plantas é menor, em função de restrições no crescimento radicular (ERNANI, 2008) e da maior adsorção de ânions fosfato no solo (NOVAIS et al., 2007).

A comparação entre os corretivos para a produtividade das culturas avaliadas encontra-se na Tabela 6.

**Tabela 6** Contrastes lineares para produtividade de culturas em um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

Contrastes		Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )		
		Cevada	Soja	Feijão
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns
	Estimativa <sup>1</sup>	118	245	95
C100 x D100	Pr > F	0,01	ns	ns
	Estimativa	-304	-69	42

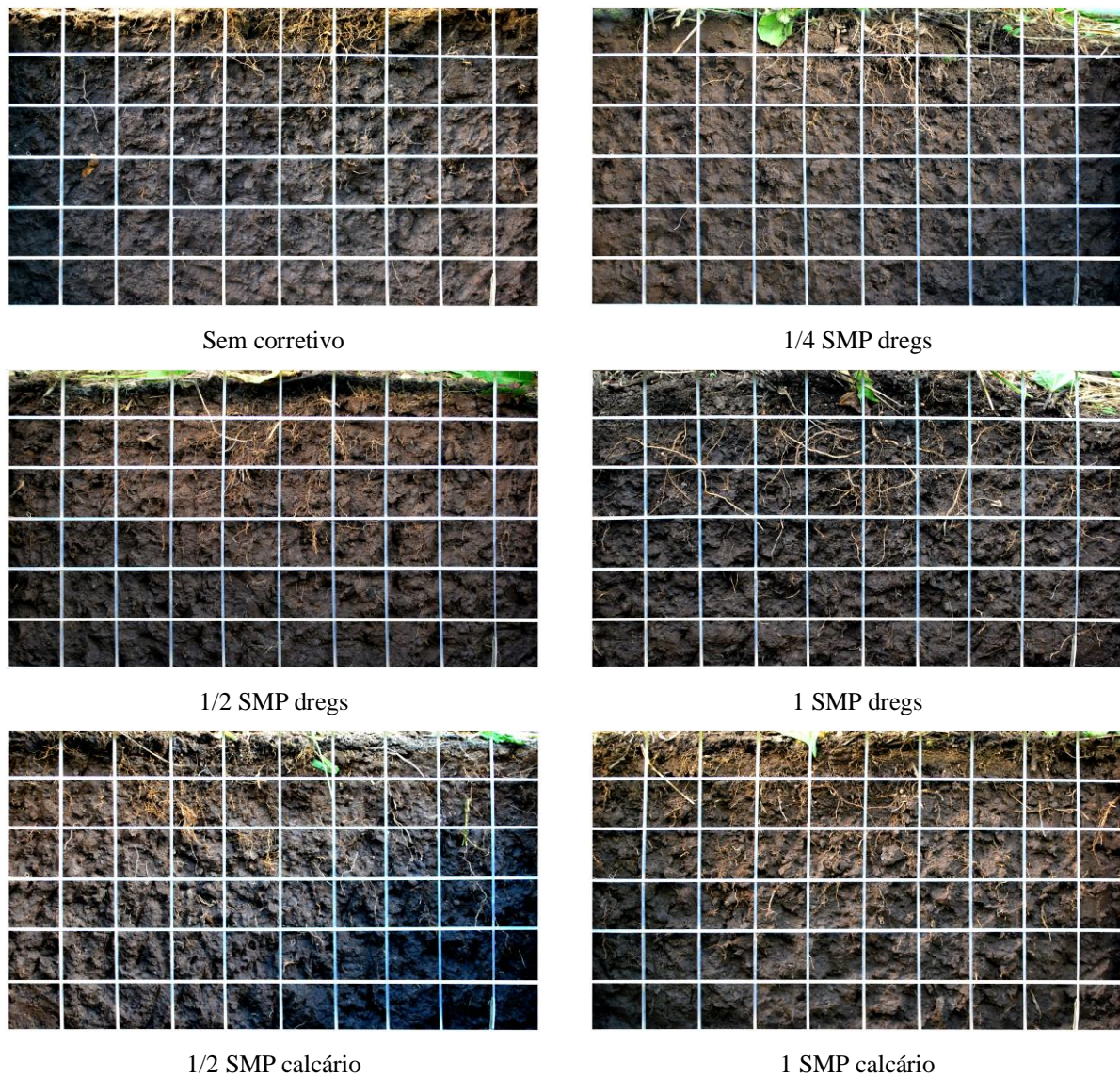
Legenda – C50: calcário na dose de 1/2 SMP; C100: calcário na dose de 1 SMP; D50: dregs na dose de 1/2 SMP; D100: dregs na dose de 1 SMP; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Diferença absoluta no valor do atributo entre os tratamentos. Valor positivo indica que o primeiro tratamento tem maior valor.

Houve diferença entre os tratamentos C100 e D100 para a produtividade de cevada, que aumentou  $304 \text{ kg ha}^{-1}$  a mais com a aplicação de dregs em comparação ao calcário. Tal resultado aponta a aplicação desse resíduo no solo não apenas como uma forma segura de descarte, mas também como insumo para a produção agrícola.

#### 3.4.4 Distribuição radicular do feijoeiro

O crescimento radicular do feijoeiro pode ser observado na Figura 10.



**Figura 10** Crescimento radicular de *Phaseolus vulgaris* L. em um Cambissolo Húmico alítico submetido aos tratamentos: sem corretivo, dregs nas doses de 1/4, 1/2 e 1 SMP, e calcário nas doses de 1/2 e 1 SMP. Perfil com 50 cm de largura e 30 cm de profundidade, com marcações espaçadas em 5 cm.



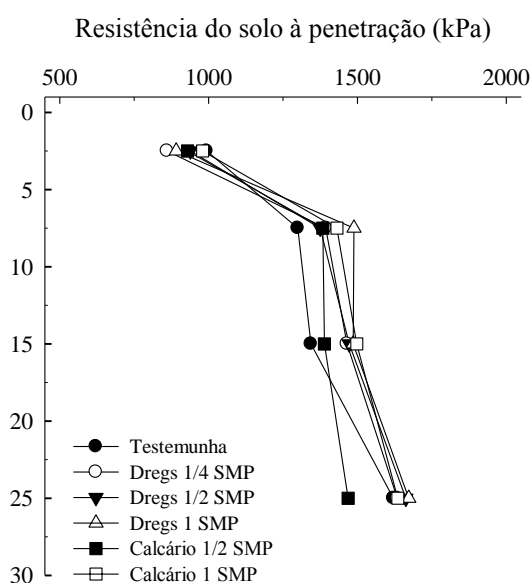
A partir da análise visual do sistema radicular do feijoeiro, observa-se um desenvolvimento de raízes mais superficial no tratamento sem adição de corretivos de acidez do solo, com raízes esporádicas abaixo de 10 cm de profundidade (Figura 10).

Com a adição de dregs na dose correspondente a 1/4 SMP, já se constata um desenvolvimento radicular alcançando 15 cm de profundidade. Nos tratamentos com dregs e calcário nas doses de 1/2 e 1 SMP, o crescimento radicular alcança a profundidade de 20 cm, com maior quantidade de raízes no perfil com a dose de 1 SMP de ambos os corretivos (Figura 10).

Devido à adição superficial dos corretivos, é importante observar que as raízes desenvolvem-se onde não há toxidez por  $Al^{3+}$  trocável, havendo sua presença até onde o efeito residual e a frente de alcalinização do dregs e do calcário alcançaram.

Silva et al. (2004) também encontraram aumento do sistema radicular de feijão com a calagem, com máximo crescimento radicular das cultivares em saturação por bases ao redor de 43 %.

A resistência do solo à penetração (RP) no dia da análise radicular do feijoeiro é mostrada na Figura 11. A umidade do solo era de  $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de 0 a 20 cm e de  $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de 20 a 30 cm. Não houve diferença entre os tratamentos para a RP, observando-se apenas uma menor compactação na camada de 0-5 cm, onde há maior concentração de raízes em todos os tratamentos.



**Figura 11** Resistência do solo à penetração de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses crescentes de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2010.

O aumento da resistência do solo a partir de 5-7 cm é comum em áreas de plantio direto, devido à semeadura revolver o solo apenas superficialmente. O gradiente de resistência caracteriza uma situação de restrição ao desenvolvimento radicular. Em termos generalizados, assume-se o valor de 2000 kPa, como limite, a partir do qual a RP afeta o crescimento de plantas, com reduções severas na produtividade (JONG VAN LIER et al., 2010).

### 3.5 CONCLUSÕES

A frente de alcalinização proporcionada pela aplicação superficial de dregs e de calcário foi observada pela melhora da qualidade química do solo principalmente até os 10 cm de profundidade, com mudanças discretas em camadas subsuperficiais.

O dregs elevou o pH do solo, o teor de cálcio, a saturação de bases e a CTC efetiva, e diminui o teor e a saturação de alumínio e a acidez potencial de forma semelhante ao calcário. Entretanto, o dregs elevou o teor de sódio e a relação Ca/Mg e não elevou o teor de magnésio.

As alterações proporcionadas no solo pela aplicação de dregs não modificaram a maioria dos atributos físicos do solo analisados, havendo apenas diminuição da resistência do solo à penetração em subsuperfície.

O dregs aumentou a produtividade de cevada, soja e feijão, e o crescimento radicular do feijoeiro de forma tão eficiente como o calcário.

A aplicação de dregs em solos agrícolas, considerando a dose de 1/2 SMP na camada arável, pode ser considerada uma alternativa de correção do solo para agricultores do Planalto Catarinense.

## 4 CAPÍTULO II: APLICAÇÃO DE RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE EM CAMBISSOLO HÚMICO SOB SISTEMA DE PRODUÇÃO DE PINUS

### 4.1 RESUMO

No Brasil existem extensas áreas com plantio de pinus para a produção de papel e celulose, processo que gera resíduos sólidos alcalinos potencialmente poluidores, dentre eles o dregs. O uso desse resíduo em solos florestais é uma alternativa para correção da acidez do solo, fornecimento de nutrientes às plantas e descarte do resíduo. Objetivou-se avaliar o efeito residual da aplicação superficial de dregs, comparando-o com o calcário, nos atributos físicos e químicos de um solo ácido e no desenvolvimento de pinus. O experimento foi implantado em 2004 em Bocaina do Sul-SC, em um Cambissolo Húmico alítico, constituindo-se da aplicação superficial de doses crescentes de dregs e calcário dolomítico, em uma área de produção de *Pinus taeda* L. recém implantada. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com dimensão de 10 x 10 m. Os tratamentos constaram de níveis correspondentes a recomendação indicada pelo método SMP, visando atingir pH 5,5 na camada de 0-20 cm; sendo: sem corretivo; dregs nas doses de 5,08 (1/4 SMP), 10,15 (1/2 SMP) e 20,3 Mg ha<sup>-1</sup> (1 SMP); e calcário nas doses de 8,35 (1/2 SMP) e 16,7 Mg ha<sup>-1</sup> (1 SMP). Amostras de solo em camadas foram coletadas em 2010 para análise de atributos químicos e físicos do solo. Foi avaliado o diâmetro à altura do peito do pinus. A aplicação superficial de dregs melhora a fertilidade química do solo com diminuição da acidez e aumento da saturação por bases de forma semelhante ao calcário, principalmente nas camadas superficiais. O dregs, assim como o calcário, diminui o grau de flocculação da argila, mas não prejudica a qualidade física do solo. A aplicação de dregs em solos florestais na dose de 1 SMP é uma alternativa para o setor florestal do Planalto Catarinense, como forma de descarte do resíduo e aumento da fertilidade do solo, entretanto não influencia o crescimento em diâmetro do pinus.

**Palavras-chave:** Dregs. Calcário. Fertilidade. Frente de alcalinização. Qualidade física do solo. DAP. *Pinus taeda*.

## 4.2 INTRODUÇÃO

Santa Catarina é um dos maiores produtores de papel e celulose do Brasil, com 169 mil hectares de florestas plantadas em 2009, sendo 90 % dessas áreas cultivadas com pinus (ABRAF, 2010). As condições de adaptação a solos ácidos, que constituem a grande maioria dos solos dos planaltos do Sul do país, permitiram a implantação de extensas áreas tornando essa espécie uma importante fonte de matéria-prima (KRONKA et al., 2005).

Esta forte aptidão florestal constitui a base de importante pólo industrial de papel e celulose do Estado. Entretanto, as fábricas deparam-se com problemas de ordem ambiental, devido à grande quantidade de resíduos gerados (RODRIGUES, 2004), provenientes da recuperação incompleta dos reagentes químicos utilizados na digestão das fibras da madeira (COHN e RIBEIRO, 2002). Uma alternativa de disposição desses resíduos é a aplicação no solo (GUERRA, 2007). O solo, por suas características físicas, químicas e biológicas, torna-se um meio para depuração desses resíduos (BELOTTE et al., 1998).

Dentre os resíduos gerados pela indústria de papel e celulose está o dregs (BELLOTE et al., 1998), formado por ocasião da remoção de impurezas como carbono, partículas de lama, hidróxidos e sulfetos de metais, sais de ferro, sílica, cálcio e alumínio (GROSSI et al., 2000; COHN e RIBEIRO, 2002). O dregs apresenta potencial de uso como corretivo do solo em plantios florestais (NOLASCO et al., 2000; ALMEIDA et al., 2007a), pois eleva o pH e aumenta a disponibilidade de nutrientes (BELLOTE et al., 1998). Tais fatores são importantes para os solos do Sul do Brasil, que com raras exceções, são de baixa fertilidade, mesmo para a atividade florestal. Além disso, resíduos da indústria de papel e celulose têm preço menor do que os calcários comerciais, quando utilizados na mesma região das unidades geradoras (ALMEIDA et al., 2008).

Devido ao dregs apresentar, contrariamente ao calcário dolomítico, baixos teores de magnésio e elevados teores de sódio, seu uso pode interferir negativamente no crescimento das plantas (ALMEIDA et al., 2007a). A alta relação Ca/Mg pode induzir à falta de magnésio às plantas se o dregs for adicionado em grandes quantidades em solos com baixa disponibilidade deste elemento (OLIVEIRA e PARRA, 2003; MIOTTO, 2009), devido à competição existente entre cálcio e magnésio pelos sítios de adsorção do solo e absorção das raízes (ORLANDO FILHO et al., 1996). Já a adição de grande quantidade de sódio ao solo, pode aumentar a dispersão da argila e colóides orgânicos (ALBUQUERQUE et al., 2002), com prejuízos em alguns atributos físicos, como a redução da macroporosidade e o incremento do selamento superficial dos agregados (REICHERT e NORTON, 1994). O sódio

tem um grande raio hidratado, o que dificulta sua aproximação às superfícies sólidas carregadas negativamente (SPOSITO, 1989, ALMEIDA et al., 2008).

Apesar de o pinus ser considerado pouco exigente quanto à fertilidade do solo (FERREIRA et al., 2004), níveis diferenciados de produtividade têm sido observados quando se plantam espécies em condições edáficas distintas (BALLONI, 1984; FERREIRA et al., 2004; MORALES et al., 2010). Além do mais, por não serem destinadas à alimentação humana, as plantações florestais têm vantagens na aplicação e uso de resíduos.

Até o momento, as pesquisas realizadas com resíduos gerados pela indústria de papel e celulose, mostram potencial de uso para aumento da produtividade de espécies vegetais, em consequência da melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. No entanto, ainda falta consolidar os estudos sobre doses economicamente viáveis e a análise a longo prazo dos efeitos desses resíduos no perfil do solo (BELLOTE et al., 1998) e no desenvolvimento de florestas plantadas.

Este trabalho objetivou avaliar o efeito residual da aplicação superficial de dregs como corretivo da acidez do solo, comparando-o com o calcário dolomítico, a partir das alterações nos atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico alítico e no crescimento de *Pinus taeda* L.

#### 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Bocaina do Sul-SC, município localizado nas coordenadas 27°44'40" S e 49°56'40" W, com altitude média de 860 m. O município apresenta clima mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb), segundo a classificação de Köppen. As chuvas são bem distribuídas durante o ano e as médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.500 mm e 15,6 °C, respectivamente (SANTA CATARINA, 2011b).

O solo é um Cambissolo Húmico alítico (EMBRAPA, 2006) de textura franco argilosa, em área anteriormente de campo nativo, sem correção prévia da acidez ou adubação. Os principais atributos químicos do solo estão descritos na Tabela 7.

**Tabela 7** Composição química do Cambissolo Húmico alítico na camada de 0 a 20 cm. Bocaina do Sul/SC.

Camada	pH	Al	Ca	Mg	P	K	COT
		----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			-- mg kg <sup>-1</sup> --		g kg <sup>-1</sup>
0-20 cm	4,7	6,0	1,8	1,5	2,4	204	46

Legenda – pH: pH em água; Al: alumínio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; COT: carbono orgânico total.

O experimento foi implantado em novembro de 2004 e constituiu-se da aplicação superficial de doses crescentes de dregs e calcário, em um sistema de produção de *Pinus taeda* L. com plantas de seis meses de idade espaçadas de 2,0 x 2,5 m. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com dimensão de 10 x 10 m. Os tratamentos constaram de níveis correspondentes a recomendação indicada pelo método SMP, visando atingir pH 5,5 na camada de 0-20 cm (CQFS RS-SC, 2004). Os tratamentos foram: sem corretivo; dregs nas doses de 5,08 (1/4 SMP), 10,15 (1/2 SMP) e 20,3 Mg ha<sup>-1</sup> (1 SMP); e calcário nas doses de 8,35 (1/2 SMP) e 16,7 Mg ha<sup>-1</sup> (1 SMP). A aplicação dos corretivos foi realizada manualmente em área total.

As doses de corretivos foram determinadas a partir do índice SMP inicial do solo (4,3), resultando na necessidade de 15 Mg ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 100 %. Foi utilizado calcário dolomítico filler com PRNT de 90 % e dregs proveniente de uma indústria de papel e celulose, localizada no município de Correia Pinto, com valor de neutralização (VN) de 80,3 % e umidade de 22 %. A composição do dregs utilizado encontra-se no Apêndice 1.

Durante o primeiro ano da implantação do experimento, o controle de plantas daninhas foi feito com roçada mecânica.

Os tratamentos foram reaplicados em outubro de 2006, conforme recomendação do método SMP para elevar o pH da camada de 0-20 cm para 5,5 (CQFS RS-SC, 2004) a partir do índice SMP de cada tratamento, analisado em fevereiro de 2006. Foram aplicados 10,4, 7,2 e 6,5 Mg ha<sup>-1</sup> de dregs, respectivamente, nos tratamentos correspondentes a 1/4, 1/2 e 1 SMP de dregs; e 6,7 e 6,7 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, nos tratamentos correspondentes a 1/2 e 1 SMP de calcário. A reaplicação superficial dos corretivos também foi realizada manualmente em área total.

Em outubro de 2010 foram coletadas amostras de solo com estrutura alterada e preservada para análises químicas e físicas. As análises químicas foram realizadas nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, sendo determinados e calculados os seguintes atributos: pH em água, teores de K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis, P extraível, acidez potencial (H+Al), carbono orgânico total (COT), soma de bases (SB), CTC efetiva (CTC<sub>efetiva</sub>), CTC a pH 7,0 (CTC<sub>pH7</sub>), saturação por bases (V), saturação por Al<sup>3+</sup> (m) e saturação por Na<sup>+</sup> (SatNa). As análises físicas foram realizadas nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-20 cm, sendo determinados: porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), capacidade de campo (CC), capacidade de aeração (CAR), água prontamente disponível (APD), densidade do solo (DS), granulometria, grau de flocculação

(GF), estabilidade de agregados – através do diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG), condutividade hidráulica saturada (CHS) e resistência do solo à penetração (RP). As metodologias utilizadas para determinação de cada atributo do solo encontram-se descritas no item 3.3, Capítulo I.

Na mesma ocasião da coleta de solo foi determinado o diâmetro à altura do peito (DAP), com suta florestal, de seis plantas por parcela. A altura aproximada do pinus era de 9 m, impossibilitando sua medição dentro da área pela pequena distância entre as mesmas.

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ). O fator quantitativo (dose de corretivo) foi analisado por camada de solo, com ajuste de equações de regressão linear ou quadrática para as doses de dregs e linear para as doses de calcário. A testemunha foi considerada como dose zero para ambos os corretivos. Diferenças entre corretivos para doses equivalentes foram analisadas por contrastes lineares. Foram utilizados os modelos PROC REG e PROC GLM do programa estatístico SAS 9.1.3 (2007) para as regressões e contrastes, respectivamente.

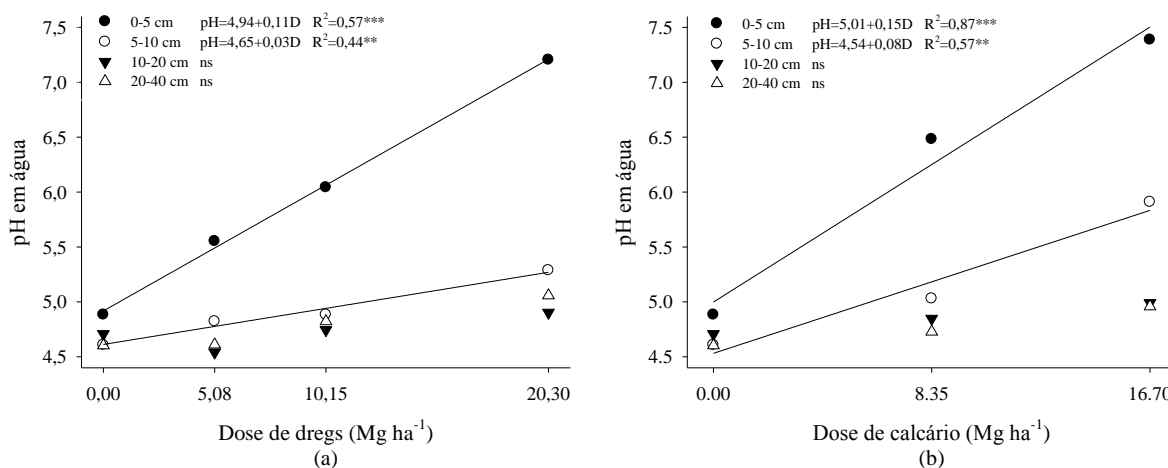
## 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.4.1 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos foram influenciados pela aplicação superficial de dregs e calcário. As diferenças foram observadas no aumento do pH, do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis, da relação Ca/Mg da soma e saturação de bases, da  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$  e  $\text{CTC}_{\text{pH7}}$ , e na diminuição do teor e saturação de  $\text{Al}^{3+}$ , com efeitos mais intensos nas maiores doses dos corretivos.

As doses crescentes dos corretivos elevaram o pH do solo linearmente. A correção pelo dregs e pelo calcário alcançou a camada de 5-10 cm (Figura 12). A maior dose de dregs elevou o pH do solo para 7,2 na camada de 0-2,5 cm e para 5,3 de 5-10 cm (Apêndice 4). A elevação do pH foi muito superior a recomendação, possivelmente devido a reaplicação dos corretivos em doses superiores a real necessidade.

Os resultados mostram que o dregs apresentou efeito residual semelhante ao calcário, embora a maioria de suas partículas estejam abaixo de 0,075 mm (WOLFF, 2008), apresentando ação mais rápida que o calcário (TEIXEIRA, 2003).



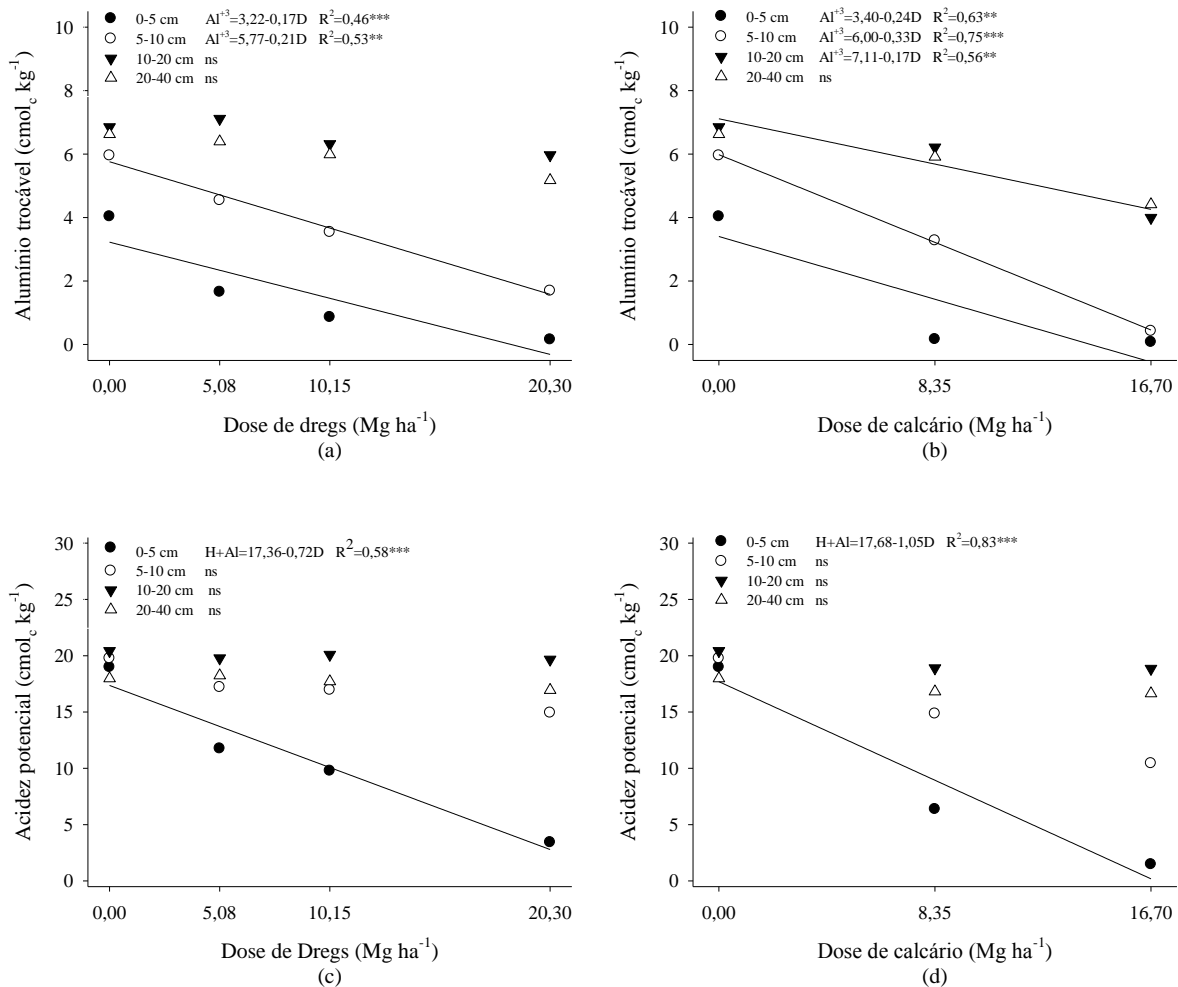
**Figura 12** pH em água por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.  
(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

Quando não há incorporação do corretivo, ocorre uma frente de neutralização da acidez a partir da superfície do solo. Isso tem sido atribuído ao movimento descendente das partículas finas, quando as características físicas do solo são favoráveis ao movimento dos ânions básicos ( $\text{OH}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ ) resultantes da dissolução do corretivo (AMARAL e ANGHINONI, 2001). Adequados volumes de precipitação também auxiliam a dissolução das partículas dos corretivos, bem como a lixiviação de íons (AMARAL et al., 2004; FIDALSKI e TORMENA, 2005). Em florestas, a interceptação foliar diminui a precipitação que efetivamente alcança a superfície do solo. Entretanto, a preservação da estrutura do solo favorece a formação de macroporos, os quais contribuem para a percolação da água e a incorporação de componentes dos corretivos.

Em trabalho com aplicação superficial de  $17 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário em um Argissolo Acinzentado, Rheinheimer et al. (2000) observaram aumento do pH para aproximadamente 5,5 até 15 cm de profundidade, 48 meses após a aplicação. Já Pöttker e Ben (1998), encontraram aumento no pH somente na camada de 0-5 cm após 36 meses da aplicação superficial de calcário em dois solos do Rio Grande do Sul, um com  $380 \text{ g kg}^{-1}$  e outro com  $580 \text{ g kg}^{-1}$  de argila. O movimento de alcalinidade é dependente da dose e do tipo de corretivo aplicado na superfície, das propriedades físicas do solo, do teor de matéria orgânica, do regime hídrico de cada região (CAIRES et al., 1998; RHEINHEIMER et al., 2000; MOREIRA et al., 2001; AMARAL et al., 2004; ALLEONI et al., 2005) e do sistema de cultivo.



Com o aumento da dose aplicada, o dregs diminuiu linearmente o teor de  $\text{Al}^{3+}$  trocável até 10 cm de profundidade (Figura 13a), enquanto com o calcário, o efeito foi observado até 20 cm (Figura 13b). As maiores doses reduziram para teores próximos a zero  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  o  $\text{Al}^{3+}$  trocável na camada superficial (Apêndice 4). A acidez potencial (H+Al) também diminuiu linearmente com o aumento das doses dos corretivos na camada de 0-5 cm (Figuras 13c e 13d).



**Figura 13** Alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) e acidez potencial (H+Al) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

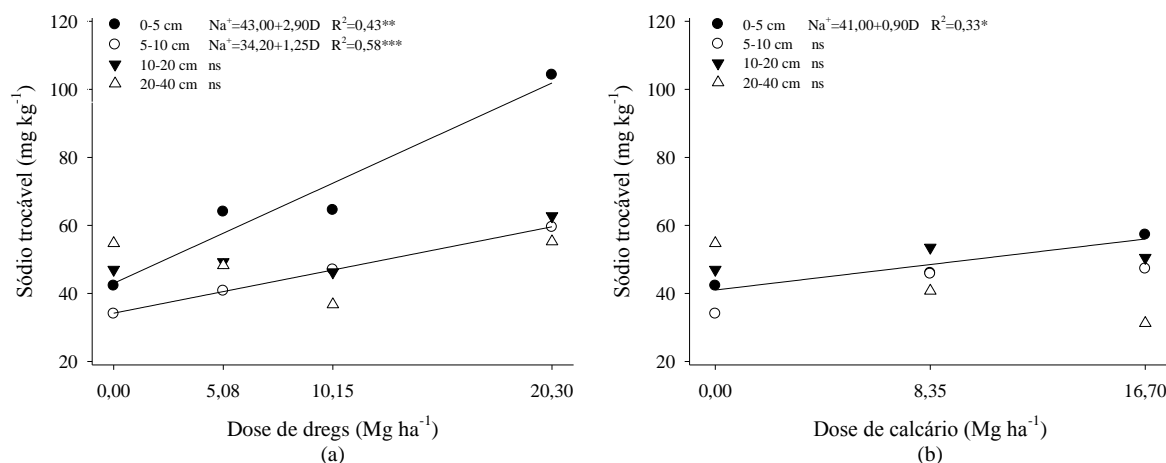
Muitos trabalhos com aplicação superficial de calcário tiveram resultados semelhantes. Caires et al. (1998), após doze meses da aplicação, observou aumento do pH e redução do  $\text{Al}^{3+}$  até 10 cm de profundidade em um Latossolo Vermelho-Escuro. No trabalho de Pöttker e Ben (1998) com dois solos argilosos, alterações no teor de  $\text{Al}^{3+}$  até 10 cm de profundidade

foram observadas nos tratamentos com 1/4, 1/2 e 1 SMP. Rheinheimer et al. (2000) obtiveram diminuição gradativa dos teores de  $\text{Al}^{3+}$ , passando para  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  dos 6 aos 36 meses após a aplicação de  $8,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário.

Albuquerque et al. (2002), estudando a aplicação superficial de doses crescentes de dregs, observaram que o  $\text{Al}^{3+}$  reduziu para próximo de zero de 0-5 cm com as doses equivalentes a 1/8 SMP em um Latossolo e a 1/4 SMP em um Cambissolo em colunas.

A diminuição da acidez do solo está relacionada com a precipitação do  $\text{Al}^{3+}$  e a dissociação do  $\text{H}^+$  de grupos funcionais orgânicos e inorgânicos dos componentes sólidos do solo com o aumento do pH (ERNANI, 2008), diminuindo o  $\text{Al}^{3+}$  na solução e a acidez potencial do solo. Rheinheimer et al. (2000) concluíram que não ocorre migração dos efeitos da calagem no perfil do solo quando a quantidade aplicada em superfície for menor do que a necessidade para neutralizar o  $\text{Al}^{3+}$  das camadas superficiais.

Houve aumento linear significativo do teor de  $\text{Na}^+$  trocável nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm com o aumento das doses de dregs (Figura 14a). A maior dose de dregs elevou o teor de  $\text{Na}^+$  na camada de 0-5 cm para  $104 \text{ mg kg}^{-1}$  (Apêndice 4). O calcário também elevou linearmente o teor de  $\text{Na}^+$  na camada de 0-5 cm com o aumento da dose (Figura 14b), com um teor máximo de  $57 \text{ mg kg}^{-1}$  (Apêndice 4).



**Figura 14** Sódio trocável ( $\text{Na}^+$ ) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a) e calcário (b), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010. (\*, \*\*, \*\*\* e ns: significativo a 5 %, 1 %, 0,1 % e não significativo, respectivamente).

No trabalho de Albuquerque et al. (2002), o teor de  $\text{Na}^+$  na camada de 0-5 cm aumentou para 108 e  $170 \text{ mg kg}^{-1}$  com a adição de uma dose equivalente a 1/2 SMP de dregs em um Latossolo e um Cambissolo, respectivamente, após dois meses da aplicação em superfície. Com a mesma dose, o  $\text{Na}^+$  também aumentou na camada de 5-10 cm para

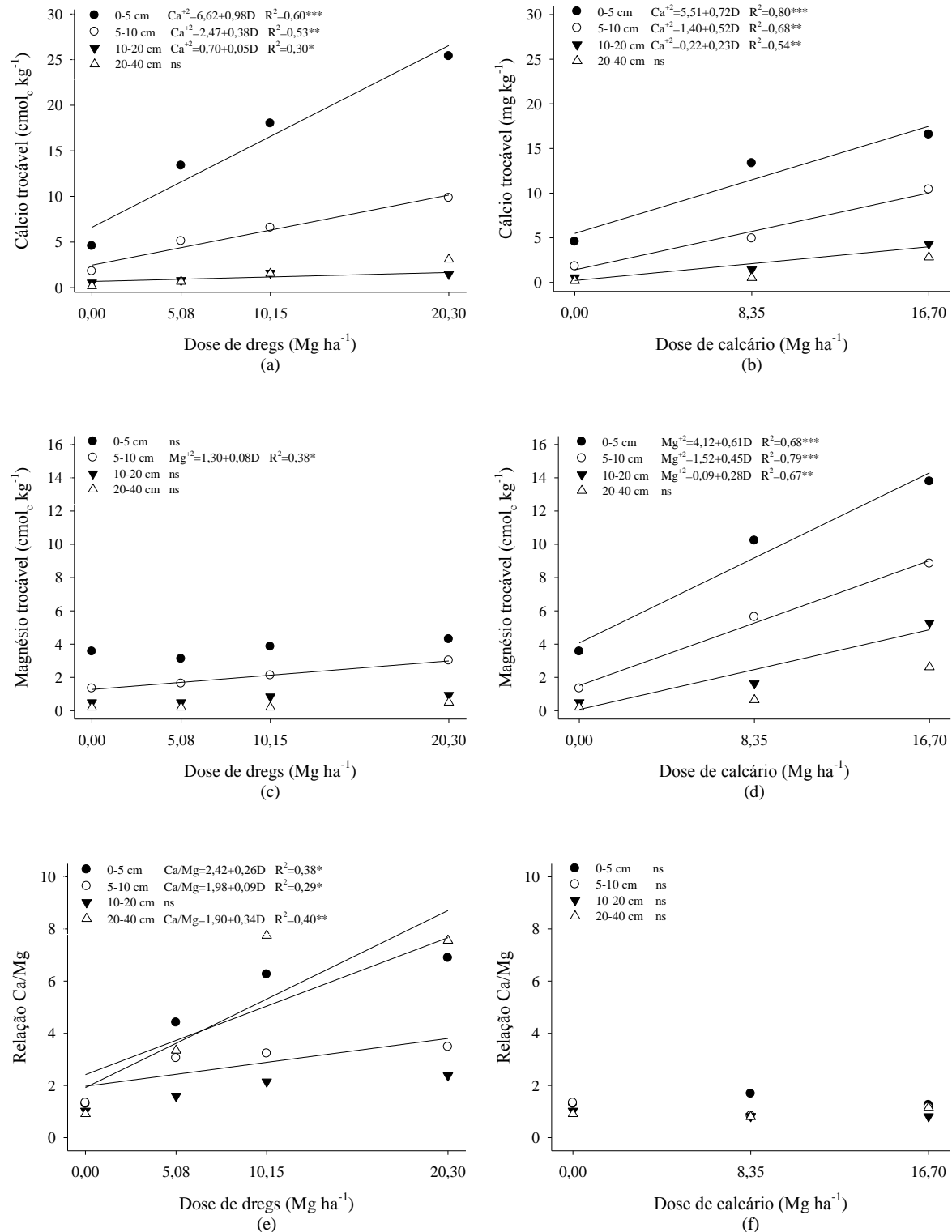
16 mg kg<sup>-1</sup> no Latossolo e 21 mg kg<sup>-1</sup> no Cambissolo. O Na<sup>+</sup> pode ser facilmente lixiviado devido ao seu grande raio hidratado. No entanto, o aumento do pH e a criação de cargas proporcionada pelos corretivos aumenta a adsorção dos cátions às cargas, diminuindo a descida de Na<sup>+</sup> no perfil do solo.

Os teores de Ca<sup>2+</sup> trocável aumentaram linearmente até a camada de 10-20 cm com as doses crescentes dos corretivos (Figuras 15a e 15b). O calcário também aumentou o teor de Mg<sup>2+</sup> trocável até 20 cm de profundidade (Figura 15d). O dregs, com apenas 0,1 g kg<sup>-1</sup> de Mg, aumentou o teor de Mg<sup>2+</sup> trocável na camada de 5-10 cm, entretanto, aumentos em seu teor no solo não são esperados com sua aplicação devido ao baixo teor desse elemento no resíduo.

A relação Ca/Mg não foi alterada com a aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico, permanecendo numa média de 1/1 em todas as camadas (Figura 15f). Entretanto, o dregs aumentou a relação Ca/Mg até a camada de 20-40 cm (Figura 15e), chegando próximo de 7/1 na camada superficial com a maior dose aplicada. Segundo a CQFS RS-SC (2004), a maior parte das culturas não é afetada por relações Ca/Mg variando de 0,5/1 até mais de 10/1, desde que nenhum dos dois nutrientes esteja em deficiência no solo. Teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis iguais a 2,0 e 0,5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente, são considerados deficientes.

Em Latossolo Bruno alumínico, Ciotta et al. (2004) concluíram que a reaplicação de calcário nas doses de 4,5 e 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> (em duas safras agrícolas distintas) elevou o pH e os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> até 15 cm de profundidade após 12 anos. Já Rheinheimer et al. (2000) encontraram aumentos de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> apenas até 10 cm de profundidade após 48 meses da aplicação de 8,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. No trabalho de Fidalski e Tormena (2005), em um Latossolo Vermelho distrófico sob um pomar de laranja, o aumento de Mg<sup>2+</sup> alcançou 60 cm após 36 meses da aplicação de calcário distribuído sobre resíduos de *Brachiaria decumbens*.

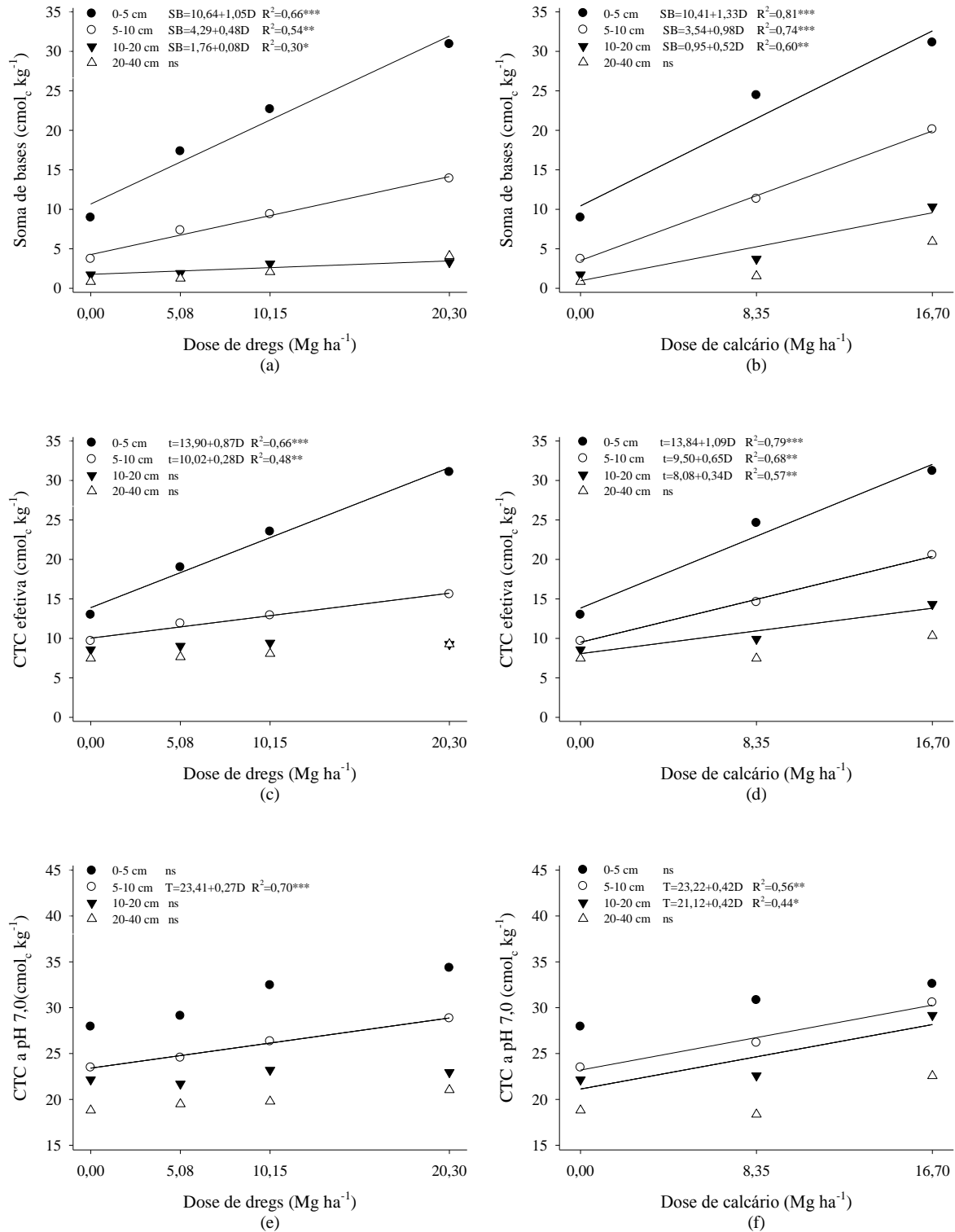
A aplicação de corretivos na superfície do solo cria uma frente de alcalinização, onde a adsorção de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> aumenta devido a criação de cargas negativas variáveis geradas com a elevação do pH (TEIXEIRA, 2003). Porém, a mobilidade dos cátions básicos no perfil do solo pode ser favorecida pela formação de pares iônicos com compostos inorgânicos dos produtos da dissolução do corretivo ou de ânions liberados pela exudação radicular na rizosfera ou provenientes da mineralização de adubos ou da decomposição de resíduos vegetais (OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al., 2000; RHEINHEIMER et al., 2000; ROSOLEM et al., 2003).



**Figura 15** Cálcio e magnésio trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) e relação Ca/Mg por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c, e) e calcário (b, d, f), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010. (\*, \*\*, \*\*\* e ns: significativo a 5 %, 1 %, 0,1 % e não significativo, respectivamente).

O aumento das doses de dregs e calcário elevaram linearmente a soma de bases (SB) no solo até a camada de 10-20 cm (Figuras 16a e 16b). A  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$  e a  $\text{CTC}_{\text{pH7}}$  também

aumentaram linearmente, com efeito até 10 cm de profundidade com a aplicação de dregs (Figura 16c e 16e) e até 20 cm com a aplicação de calcário (Figura 16d e 16f).



**Figura 16** Soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e CTC a pH 7,0 (T) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c, e) e calcário (b, d, f), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

Na camada de 0-5 cm, a  $CTC_{efetiva}$  do solo aumentou de 13 para 31  $cmol_c kg^{-1}$  nas maiores doses dos corretivos (Apêndice 4). Albuquerque et al. (2002) também encontraram aumento da  $CTC_{efetiva}$  na camada de 0-5 cm após dois meses da adição superficial de dregs em Latossolo e Cambissolo incubados. A calagem aumenta a  $CTC_{efetiva}$  em solos ácidos com predomínio de carga variável (ALBUQUERQUE et al., 2000), como é o caso da maioria dos solos do Sul do Brasil. Conforme o pH do solo aumenta, o  $Al^{3+}$  sofre hidrólise deixando vagos sítios de troca de cátions, ou ainda ocasiona a dissociação do hidrogênio de compostos orgânicos (CAMARGO et al., 1997).

Já o aumento da  $CTC_{pH7}$  com a aplicação de calcário não é esperado (MORELLI et al., 1971). Entretanto, os resultados concordam com o estudo de Alleoni et al. (2005), onde 30 meses após a aplicação de calcário em um Latossolo Vermelho distrófico, a calagem na superfície aumentou a  $CTC_{pH7}$  do solo até 10 cm de profundidade. Parte deste aumento pode ser explicado por uma superestimativa do valor da  $CTC_{pH7}$ , o qual é obtido pela soma das bases trocáveis e da acidez potencial, graças à concentração de Ca e Mg dos corretivos na superfície do solo. Dessa forma, é provável que o método da determinação direta da CTC seja mais adequado para amostras de solos que receberam corretivos (ALLEONI et al., 2005).

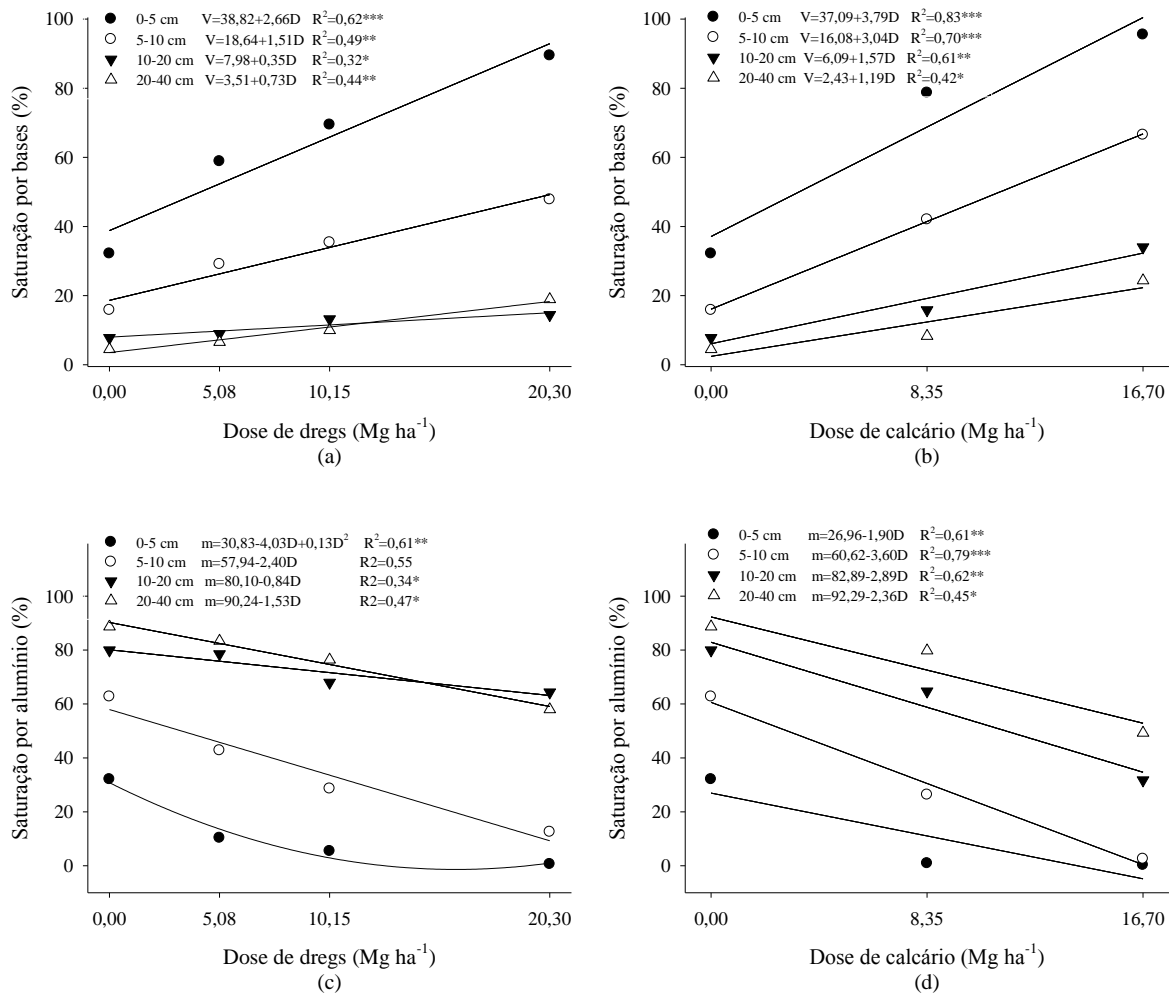
Conforme o incremento de cátions básicos no solo, a saturação por bases (V) aumentou com as doses, com aumentos lineares até a profundidade de 40 cm para ambos os corretivos (Figuras 17a e 17b). Nas maiores doses de dregs e calcário, a V alcançou valores de 89 e 96% na camada superficial, respectivamente (Apêndice 4).

Os resultados corroboram com Ciotta et al. (2004), onde a aplicação de calcário em superfície aumentou a V de 0 a 20 cm em um Latossolo Bruno alumínico após 21 anos. O aumento da V decorre da diminuição dos teores de  $Al^{3+}$  trocável e do aumento de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  no solo. Segundo a CQFS RS-SC (2004), V acima de 65 % é interpretada como 'média', sendo suficiente para o bom desenvolvimento da maioria das culturas.

A saturação por alumínio (m) também diminuiu até a camada de 20-40 cm com o aumento das doses de ambos os corretivos (Figuras 17c e 17d). Saturação menor que 10 % de  $Al^{3+}$  ocorreu até 5 cm de profundidade com a aplicação das doses correspondentes a 1/2 e 1 SMP de dregs e de calcário, e até 10 cm apenas para a maior dose de calcário (Apêndice 4). Acima de 20 %, o valor de m é considerado 'alto' pela CQFS RS-SC (2004).

Esses resultados concordam com Kaminski et al. (2005), onde a calagem superficial com a dose de 1/2 SMP manteve a saturação por  $Al^{3+}$  próxima a zero % nos primeiros 5 cm de profundidade e menor do que 10 % até 7,5 cm. Para Rheinheimer et al. (2000) em um Argissolo Acinzentado, foram necessários 48 meses para que a saturação por alumínio

atingisse nível próximo de zero até 10 cm de profundidade com a aplicação superficial de 17 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário.



**Figura 17** Saturação por bases (V) e por alumínio (m) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2009.

(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

O aumento dos teores de Na<sup>+</sup> no solo não elevou a saturação por sódio (SatNa), mantendo-se entre 1,2 e 2,4 % até 40 cm de profundidade (Tabela 8). Isso ocorreu porque após 71 meses da primeira aplicação e 48 meses da reaplicação dos corretivos, houve aumento importante da CTC<sub>efetiva</sub> do solo e lixiviação de grande parte do Na<sup>+</sup> para camadas abaixo das avaliadas. Autores citam os limites de 5 % (ALBUQUERQUE et al., 2002; MALTZ et al., 1999) como crítico para a SatNa influenciar a dispersão de colóides do solo.

Os teores de P, K<sup>+</sup> e carbono orgânico total (COT) também não diferiram entre os tratamentos, sendo seus teores médios por camada apresentados na Tabela 8. Os teores

médios de P e  $K^+$  na camada de 0-20 cm foram de 2,0 e 210  $mg\ kg^{-1}$ , respectivamente. Para as características do solo estudado, esse teor de P é considerado ‘muito baixo’ e o de  $K^+$  ‘muito alto’ (CQFS RS-SC, 2004). Devido ao fato de nenhuma adubação ter sido realizada na área, o solo apresenta um elevado teor natural para  $K^+$ .

Os maiores teores de COT estão nas camadas superficiais (Tabela 8), o que é comum em sistemas com nenhum ou baixo grau de mobilização do solo.

**Tabela 8** Média de atributos químicos por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

Tratamentos	Camada	P -- -mg kg <sup>-1</sup> - - -	K	SatNa %	COT g kg <sup>-1</sup>
Média	0-5 cm	4,7 <sup>1</sup>	245	1,2	54
	5-10 cm	2,1	221	1,5	50
	10-20 cm	0,7	188	2,3	41
	20-40 cm	0,0	93	2,4	27

Legenda – P: fósforo extraível; K: potássio trocável; SatNa: saturação por sódio; COT: carbono orgânico total.

<sup>1</sup> Média de 24 observações.

Os efeitos da calagem superficial com dregs e calcário foram concordantes com a maioria dos trabalhos publicados com solos do Sul do Brasil. Caires et al. (2000), Fidalski e Tormena, (2005) e Kaminski et al. (2005) encontraram ação da calagem no aumento de pH,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e SB, e na redução de  $Al^{3+}$  trocável e da acidez potencial até 10, 15 ou 20 cm de profundidade, conforme o tempo e a dose de corretivo aplicada.

Considerando os teores de atributos químicos adequados ao crescimento das plantas, a calagem superficial após 48 meses da reaplicação dos corretivos foi eficiente até 5 cm para a maior dose de dregs (20,3  $Mg\ ha^{-1}$ ) e até 10 cm apenas na dose mais alta de calcário (16,7  $Mg\ ha^{-1}$ ). O efeito da calagem em solos altamente tamponados normalmente se restringe a poucos centímetros (ERNANI, 2008), além do mais, a precipitação pluvial sobre solos florestais é diminuída pela interceptação foliar.

Contrastes lineares entre doses correspondentes de dregs e calcário são apresentados na Tabela 9. As denominações utilizadas são: C50 e C100 (calcário nas doses de 1/2 e 1 SMP, respectivamente) e D50 e D100 (dregs nas dose de 1/2 e 1 SMP, respectivamente). Os valores de pH, H+Al,  $K^+$ , P, SatNa e COT não diferiram entre dregs e calcário.

Entre os tratamentos C50 e D50, diferenças ocorreram apenas para teor de  $Mg^{2+}$  nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, com aumento devido a aplicação de calcário, e para a relação Ca/Mg em todas as camadas, devido a adição apenas de Ca com o dregs (Tabela 9).

Entretanto, para as doses maiores (C100 e D100), demais atributos diferiram entre os corretivos. O dregs aumentou o  $Na^+$  e a relação Ca/Mg até a camada de 20-40 cm e  $Ca^{2+}$  na



camada de 0-5 cm. Já o calcário, elevou os teores de  $Mg^{2+}$  em todo o perfil e  $Ca^{2+}$ , SB, V,  $CTC_{efetiva}$  e  $CTC_{pH7}$  na camada de 10-20 cm, além da menor saturação por  $Al^{3+}$ .

**Tabela 9** Contrastes lineares entre tratamentos para atributos químicos de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

Contrastes		pH	Al - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	H+Al kg <sup>-1</sup>	P - mg kg <sup>-1</sup>	K - mg kg <sup>-1</sup>	Na - mg kg <sup>-1</sup>	Ca - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Mg - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Ca/Mg	SB - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	$CTC_{ef}$ - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	$CTC_{pH7}$ - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	V - %	m - %	SatNa - %	COT g kg <sup>-1</sup>
Camada 0-5 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,02	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa <sup>1</sup>	0,4	-0,7	-3,4	-0,7	55,5	-18,5	-4,6	6,4	-4,6	1,8	1,1	-1,7	9,2	-4,6	-0,3	3,7
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,05	0,01	0,02	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,2	-0,1	-2,0	-4,4	-98,8	-47,0	-8,8	9,5	-5,6	0,2	0,2	-1,8	6,0	-0,3	-0,6	3,7
Camada 5-10 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,1	-0,3	-2,1	-0,1	36,0	-1,3	-1,7	3,5	-2,4	1,9	1,7	-0,1	6,6	-2,3	-0,1	-1,5
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,6	-1,3	-4,5	-0,1	-47,5	-12,3	0,6	5,8	-2,3	6,2	5,0	1,7	18,7	-10,0	-0,8	4,4
Camada 10-20 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,1	-0,1	-1,2	0,2	-17,3	7,3	-0,2	0,8	-1,3	0,6	0,5	-0,6	2,7	-3,3	0,2	-3,6
C100 x D100	Pr > F	ns	0,03	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	ns	ns
	Estimativa	0,1	-2,0	-0,8	0,5	-35,8	-12,3	2,9	4,3	-1,6	7,1	5,1	6,3	19,6	-32,6	-1,3	6,9
Camada 20-40 cm																	
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,02	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,1	-0,1	-0,9	0,0	12,8	4,0	-1,0	0,5	-7,0	-0,5	-0,6	-1,4	-1,7	3,4	0,4	-2,4
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	ns	0,01	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,1	-0,8	-0,3	0,0	28,8	-24,0	-0,3	2,1	-6,4	1,8	1,1	1,6	5,4	-8,8	-1,3	0,7

Legenda – C50: calcário na dose de 1/2 SMP; C100: calcário na dose de 1 SMP; D50: dregs na dose de 1/2 SMP; D100: dregs na dose de 1 SMP; pH: pH em água; Al: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; Na: sódio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; Ca/Mg: relação Ca/Mg; SB: soma de bases;  $CTC_{ef}$ :  $CTC$  efetiva;  $CTC_{pH7}$ :  $CTC$  a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; SatNa: saturação por sódio; COT: carbono orgânico total; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Diferença absoluta no valor do atributo entre os tratamentos. Valor positivo indica que o primeiro tratamento tem maior valor.

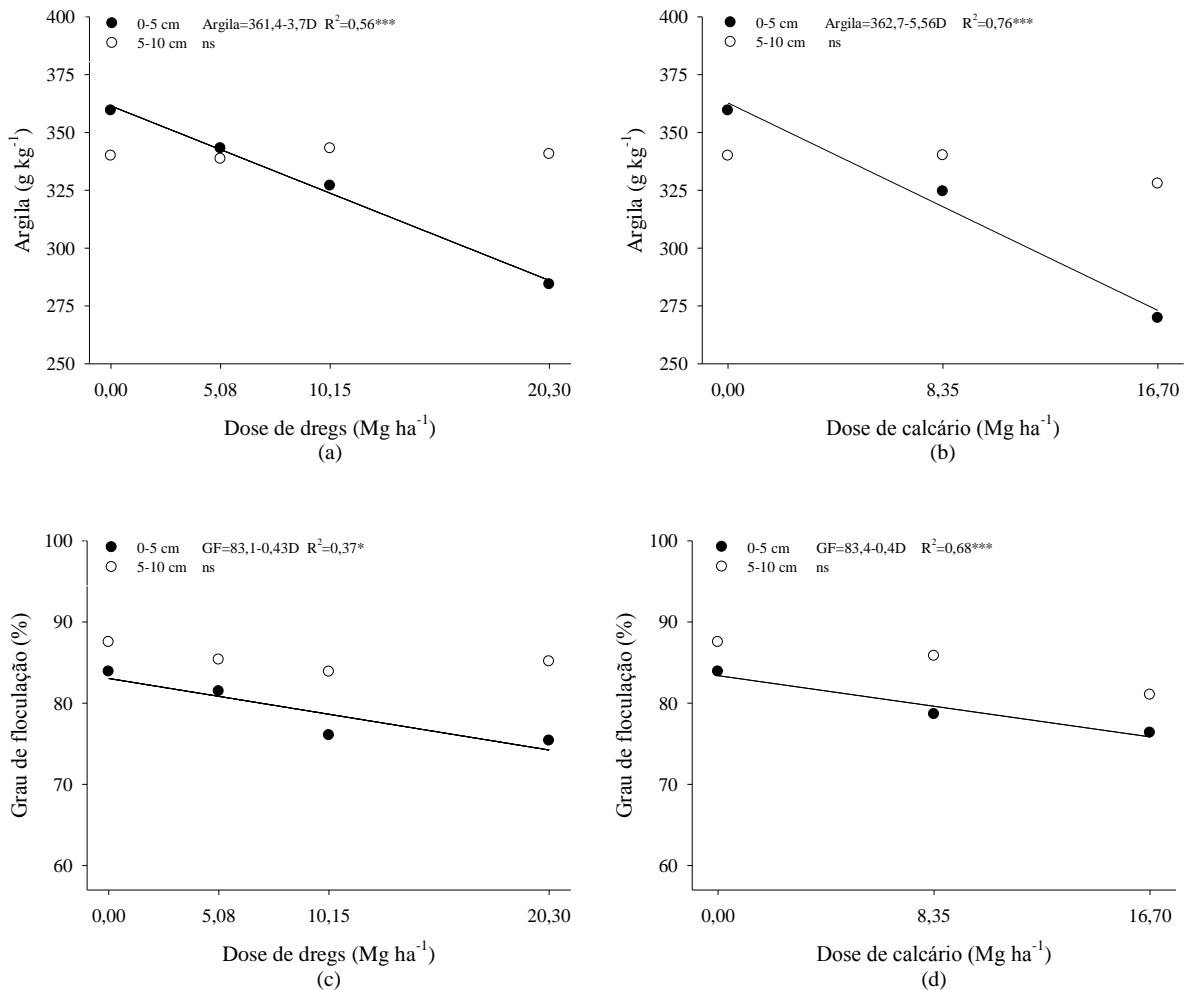
A comparação entre os corretivos para as mudanças nos atributos químicos do solo mostra uma eficiência semelhante entre ambos, com prejuízo da aplicação de dregs na relação Ca/Mg e nos teores de  $Mg^{2+}$  e  $Na^+$ .

O valor de neutralização (VN) do dregs utilizado (80,3 %) é semelhante ao dos calcários de boa qualidade utilizados na agricultura. Almeida et al. (2007b) analisaram a composição química inorgânica do dregs e concluíram que este resíduo pode ser utilizado como corretivo da acidez dos solos agrícolas e também como fonte de Ca e de alguns micronutrientes às plantas, sem riscos de contaminação a curto e médio prazo.

#### 4.4.2 Atributos físicos do solo

O Cambissolo Húmico alítico possui textura franco argilosa, com média de 409 g kg<sup>-1</sup> de areia, 241 g kg<sup>-1</sup> de silte, 350 g kg<sup>-1</sup> de argila e densidade de partículas de 2,46 Mg m<sup>-3</sup>.

Entre os atributos físicos analisados, teor de argila e grau de flocculação (GF) diminuíram linearmente na camada de 0-5 cm com a aplicação superficial de doses crescentes de dregs e calcário no solo (Figura 18). Na camada superficial, o teor de argila diminuiu de 359 g kg<sup>-1</sup> para uma média de 277 g kg<sup>-1</sup> e o GF diminuiu de 84 % para 75 % com as maiores doses dos corretivos (Apêndice 5). Esses resultados podem indicar dispersão da argila.



**Figura 18** Argila e grau de flocculação (GF) por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses (D) de dregs (a, c) e calcário (b, d), aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

(\* , \*\* , \*\*\* e ns: significativo a 5 % , 1 % , 0,1 % e não significativo, respectivamente).

No trabalho de Medeiros (2008) em um Cambissolo Húmico, o GF diminuiu de forma linear de 75 para 55 % com a aplicação da dose correspondente a 1 SMP de calcário, enquanto a dose de 1 SMP de dregs reduziu o GF para 20 % após três meses da aplicação em superfície. Albuquerque et al. (2002), em trabalho com aplicação superficial de dregs em

Cambissolo Húmico em colunas e ambiente controlado, obtiveram menor GF na camada de 0-5 cm após dois meses, porém também sem alteração na estabilidade dos agregados.

A concentração de Na no dregs utilizado foi de 34 g kg<sup>-1</sup>. Embora o teor de Na<sup>+</sup> trocável nos tratamentos com dregs seja alto, sua saturação encontra-se abaixo do teor crítico. O efeito de dispersão causado pelo Na<sup>+</sup> é temporário devido sua lixiviação pela fraca adsorção as cargas negativas do solo (ALMEIDA et al., 2008). Dispersão da argila e diminuição do GF com o aumento do pH têm sido observados em solos do Planalto Catarinense (ALBUQUERQUE et al., 2000; MEDEIROS et al., 2009), o que pode ser decorrente da maior repulsão entre partículas do solo pelo aumento da carga líquida negativa e da espessura da dupla camada elétrica difusa, ocasionada pela substituição do Al<sup>3+</sup> pelo Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (FONTES et al., 1995).

Os demais atributos físicos do solo não diferiram em função das doses dos corretivos, sendo as médias por camada apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10** Média de atributos físicos por camada de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

Tratamentos	Camada	DS	PT	Macro	Micro	CC	CAR	APD	DMG	CHS	RP
		Mg m <sup>-3</sup>			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			mm	mm h <sup>-1</sup>	kPa
Média	0-5 cm	0,88 <sup>1</sup>	0,70	0,23	0,47	0,45	0,25	0,05	4,3	228	366
	5-10 cm	0,92	0,67	0,19	0,48	0,46	0,21	0,06	5,2	128	704
	10-20 cm	0,91	0,68	0,19	0,48	0,46	0,22	0,05	4,7	121	819

Legenda – DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; CC: capacidade de campo; CAR: capacidade de aeração; APD: água prontamente disponível; DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados; CHS: condutividade hidráulica saturada; RP: resistência do solo à penetração.

<sup>1</sup> Média de 24 observações.

O alto teor de carbono orgânico total (COT) do solo faz com que a densidade do solo (DS) seja baixa, com média de 0,9 Mg m<sup>-3</sup> (Tabela 10). Segundo Reichert et al. (2003), o limite crítico de DS para solos de textura franco argilosa é entre 1,4 e 1,5 Mg m<sup>-3</sup>. Esses dados conferem com a média da capacidade de aeração (CAR), que foi de 0,23 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Tabela 10), estando acima do limite para o bom desenvolvimento da maioria das culturas, que é de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (HILLEL, 1998).

O diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) foi de 4,7 mm na média das camadas (Tabela 10). Estabilidade de agregados elevada também foi relatada por Bertol et al. (2000) e Albuquerque et al. (2003) em solos do Planalto Catarinense, atribuído aos teores médios de argila e altos de matéria orgânica.

A condutividade hidráulica saturada (CHS) foi alta, com média de 159 mm h<sup>-1</sup> (Tabela 10), característica de solos florestais, com nenhuma mobilização por implementos agrícolas durante muitos anos consecutivos.

A resistência do solo à penetração (RP) teve média de 630 kPa (Tabela 10), valor coincidentes com a baixa DS. A umidade do solo no momento da determinação da RP foi de  $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na camada de 0 a 20 cm e de  $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na camada de 20 a 40 cm (dados não mostrados).

Os contrastes entre doses equivalentes dos corretivos sobre os atributos físicos do solo encontram-se na Tabela 11. Houve diferença apenas para a RP com a aplicação de dregs ou calcário. A adição de dregs diminuiu a RP em maior intensidade que de calcário até 20 cm de profundidade, para ambas as doses (1/2 e 1 SMP).

**Tabela 11** Contrastes lineares entre tratamentos para atributos físicos de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

Contrastes		DS Mg m <sup>-3</sup>	PT	Macro	Micro	CC	CAR	APD	Argila g kg <sup>-1</sup>	GF %	DMG mm	CHS mm h <sup>-1</sup>	RP kPa
Camada 0-5 cm													
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01
	Estimativa <sup>1</sup>	0,01	0,00	0,00	-0,00	0,01	-0,01	0,00	-2	2	0,2	-91	118
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01
	Estimativa	-0,02	0,02	-0,01	0,03	0,02	-0,01	0,01	-14	1	-1,1	-181	400
Camada 5-10 cm													
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,01	-3	2	0,1	-49	78
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01
	Estimativa	0,01	-0,00	-0,02	0,02	0,01	-0,02	-0,01	-12	-4	-0,3	-11	374
Camada 10-20 cm													
C50 x D50	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	.	.	ns	ns	0,01
	Estimativa	-0,06	0,01	0,02	-0,02	-0,02	0,03	-0,01	.	.	-0,1	73	489
C100 x D100	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	.	.	ns	ns	0,01
	Estimativa	-0,00	0,01	-0,02	0,02	0,00	-0,01	0,01	.	.	0,3	-96	370

Legenda – C50: calcário na dose de 1/2 SMP; C100: calcário na dose de 1 SMP; D50: dregs na dose de 1/2 SMP; D100: dregs na dose de 1 SMP; DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; CC: capacidade de campo; CAR: capacidade de aeração; APD: água prontamente disponível; GF: grau de flocculação; DMG: diâmetro médio geométrico de agregados; CHS: condutividade hidráulica saturada; RP: resistência do solo à penetração; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Diferença absoluta no valor do atributo entre os tratamentos. Valor positivo indica que o primeiro tratamento tem maior valor.

Esses resultados mostram que a aplicação superficial de doses correspondentes de dregs e calcário não influenciaram de forma muito distinta a qualidade física do solo após seis anos do início do experimento. Apenas para a RP a diferença entre os corretivos ficou evidente, resultando em menor impedimento físico às raízes com a aplicação de dregs.

#### 4.4.3 Crescimento de *Pinus taeda*

A determinação do crescimento do pinus com idade de 77 meses foi realizada pela medição do diâmetro à altura do peito (DAP) das plantas. Não houve diferença no DAP com a aplicação dos corretivos, sendo a média entre os tratamentos de 16,6 cm.

A comparação entre os corretivos para o DAP encontra-se na Tabela 12. Também não houve diferença entre doses correspondentes de dregs e calcário.

**Tabela 12** Contrastes lineares entre tratamentos para diâmetro à altura do peito (DAP) de *Pinus taeda* L. em um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

Contrastes		DAP (cm)
C50 x D50	Pr > F	ns
	Estimativa <sup>1</sup>	-0,1
C100 x D100	Pr > F	ns
	Estimativa	-0,6

Legenda – C50: calcário na dose de 1/2 SMP; C100:calcário na dose de 1 SMP; D50: dregs na dose de 1/2 SMP; D100: dregs na dose de 1 SMP; DAP: diâmetro à altura do peito; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Diferença absoluta no valor do atributo entre os tratamentos. Valor positivo indica que o primeiro tratamento tem maior valor.

A produtividade de pinus não depende de um atributo isolado, mas da interação entre eles (MORALES et al., 2010). No caso deste estudo, o solo não apresenta impedimentos físicos para o desenvolvimento das raízes, o que possibilita a absorção de água e nutrientes em um maior volume de solo, e conseqüentemente o desenvolvimento ótimo das plantas. Diversos autores concordam que as propriedades físicas do solo estão intimamente ligadas ao desenvolvimento do pinus, principalmente no que se refere à capacidade de retenção de água no solo (MELO, 1994; RODRIGUES, 2004).

Segundo Gonçalves (1995), o pinus é pouco sensível à acidez do solo e tolera altos níveis de alumínio e manganês. Em seu estudo, embora o solo fosse pobre em nutrientes essenciais às plantas, o *Pinus taeda* foi capaz de se desenvolver nessa condição, concordando com os dados obtidos.

Embora o pinus seja considerado de baixa exigência nutricional, Melo (1994) constatou que os níveis de pH, matéria orgânica, bases trocáveis e nitrogênio, apresentaram correlações positivas com o crescimento das árvores. No trabalho de Morales et al. (2010), potássio, cálcio e soma de bases tiveram relação positiva com a produtividade, evidenciando a importância dos nutrientes para o crescimento do pinus. Rigatto (2002) também concluiu que a produtividade de pinus é afetada pelas alterações geradas nos atributos físicos e químicos do solo.

#### 4.5 CONCLUSÕES

A aplicação superficial de dregs em solo ácido melhora sua fertilidade química com diminuição da acidez do solo e aumento da saturação por bases de forma semelhante ao

calcário, principalmente nas camadas superficiais. Entretanto, o dregs aumenta o teor de sódio e a relação Ca/Mg.

O dregs, assim como o calcário, diminui o grau de flocculação da argila pelo aumento do pH, mas não prejudica a estabilidade de agregados e os demais atributos físicos do solo.

A aplicação de dregs em solos florestais na dose de 1 SMP é uma alternativa para o setor florestal do Planalto Catarinense, como forma de descarte do resíduo e aumento da fertilidade do solo, entretanto, não influencia o crescimento em diâmetro do pinus.

## 5 CAPÍTULO III: RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO COM CALCÁRIO, RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E REVEGETAÇÃO

### 5.1 RESUMO

Santa Catarina é um importante Estado produtor de carvão mineral do Brasil. No entanto, a degradação das áreas após mineração se torna um grave problema. Objetivou-se avaliar o efeito residual do uso de dregs, calcário, adubação orgânica e cobertura verde do solo em área reconstruída após a mineração de carvão, nos atributos químicos e físicos do solo e no crescimento de pinus e eucalipto. O experimento foi implantado em 2001 em Lauro Müller-SC, em um solo reconstruído, constituindo-se de métodos de recuperação do solo e revegetação com *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus saligna* Sm. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições e parcelas com dimensão de 12,5 x 9,0 m. Os tratamentos foram: testemunha; calcário; calcário+braquiária; calcário+braquiária+cama de aviário; e dregs. Em 2010 foram coletadas amostras de solo em camadas, para análise de atributos químicos e físicos. Foi avaliado o diâmetro à altura do peito e a altura das plantas. Dregs e calcário, aplicados em área reconstruída após a mineração de carvão, melhoram a fertilidade química do solo, diminuem o grau de flocculação da argila, mas não modificam os demais atributos físicos do solo e o crescimento de eucalipto, porém reduzem o crescimento de pinus. Cama de aviário e braquiária não influenciam as alterações químicas e físicas no solo reconstruído.

**Palavras-chave:** Dregs. Acidez. Fertilidade. Qualidade física do solo. Adubação orgânica. Braqui. Pinus. Eucalipto.

## 5.2 INTRODUÇÃO

A mineração de carvão tem papel importante na economia do Brasil, sendo uma alternativa de fonte de energia. As reservas de carvão brasileiras somam mais de 32 bilhões de toneladas, quase todas na região Sul do Brasil. Em 2009, o país produziu 5,7 milhões de toneladas de carvão mineral, sendo 2,5 milhões de toneladas produzidas em Santa Catarina (EPE, 2010).

Apesar de sua importância, a extração desse recurso é uma atividade potencialmente poluidora pela produção e acúmulo desordenado de grandes volumes de rejeitos, constituídos basicamente por materiais carbonosos e minerais (GAIVIZZO et al., 2000). Estes resíduos representam elevado risco ambiental, como a alteração da paisagem e contaminação do solo, do ar e dos recursos hídricos (GAIVIZZO et al., 2002; COSTA e ZOCHE, 2009).

Em Santa Catarina, a exploração de carvão mineral é realizada em minas subterrâneas e a céu aberto (COSTA e ZOCHE, 2009). Na mineração a céu aberto é necessário remover o solo e os materiais que se encontram sobre o carvão, para recolocá-los ao lugar original após a mineração (CAMPOS et al., 2003).

A legislação brasileira preconiza há muito tempo a obrigatoriedade da recuperação de áreas degradadas pela extração de recursos naturais. Essa recuperação passa pela recomposição topográfica e paisagística, assim como pela reconstrução do solo, a fim do restabelecimento do equilíbrio ecológico (COSTA e ZOCHE, 2009). Entretanto, os diferentes processos de lavra utilizados pelas empresas mineradoras, aliados às dificuldades na fiscalização, conduzem a deficiências no processo de reconstrução, resultando normalmente em solos com restrições físicas, como baixa porosidade, redução na infiltração de água, sinais de escoamento superficial, erosão, pedregosidade (LUNARDI NETO, 2006) e na contaminação das camadas superficiais com resíduos do carvão (CAMPOS et al., 2003), como a pirita ( $\text{FeS}_2$ ). A pirita provoca intensa acidificação do solo, acelera a intemperização de minerais, eleva os teores de alumínio e manganês, aumenta a lixiviação de bases (CAMPOS et al., 2003), além de dificultar a atividade biológica (LUNARDI NETO, 2006).

O estabelecimento e a manutenção da comunidade de plantas após a recomposição topográfica pode minimizar alguns impactos da reconstrução do solo (GAIVIZZO et al., 2002), como o solo desnudo e a erosão (CAMPOS et al., 2003). Entretanto, os vegetais têm dificuldades para explorar camadas mais profundas devido às restrições químicas e físicas desses solos (LUNARDI NETO, 2006).



A utilização de corretivos de acidez do solo, adubação mineral e orgânica e a semeadura de espécies adaptadas a solos ácidos são opções para a reabilitação química e física dessas áreas reconstruídas após a mineração.

Resíduos alcalinos da indústria de celulose, produzidos em grandes quantidades no Estado, também podem ser uma alternativa para a correção da acidez desses solos e fornecimento de nutrientes às plantas (RODRIGUES, 2004; LUNARDI NETO, 2006), além de ser uma forma de descarte dos mesmos (TRIGUEIRO, 2006).

Entre os principais resíduos sólidos alcalinos gerados no processo de fabricação da celulose está o dregs (BELLOTE et al., 1998). O dregs apresenta conteúdos elevados de óxidos de cálcio e de sódio e carbonatos (LUNARDI NETO, 2006; ALMEIDA et al., 2007a), sendo similar ao calcário calcítico. Entretanto, a aplicação de dregs no solo pode aumentar a saturação por sódio, dispersar a argila e prejudicar a estrutura do solo. Além disso, a alta relação Ca/Mg do dregs pode desbalancear esses nutrientes no solo (ALBUQUERQUE et al., 2002).

Até o momento, as pesquisas realizadas com resíduos gerados pela indústria de celulose, mostram grande potencial na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. No entanto, ainda faltam estudos complementares sobre doses seguras e análises dos efeitos desses resíduos no perfil do solo (BELLOTE et al., 1998) a longo prazo e no desenvolvimento de espécies florestais em solos degradados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual do uso de dregs, calcário, adubação orgânica e cobertura verde com *Brachiaria brizantha* em área reconstruída após a mineração de carvão, nos atributos químicos e físicos do solo e no crescimento de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus saligna* Sm.

### 5.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na localidade denominada Mina do Apertado, no distrito de Guatá-SC, município de Lauro Müller-SC, localizado nas coordenadas 28° 20' S e 49° 20' W, com altitude média de 220 m. O município apresenta clima mesotérmico úmido com verão quente (Cfa) segundo a classificação de Köppen, com médias anuais de precipitação e temperatura de 1.400 mm e 19 °C, respectivamente (Santa Catarina, 1986).

A área do experimento foi minerada em 1992 e o solo reconstruído em 1995/1996, através do decapeamento do solo de um morro vizinho à área. Seus principais atributos estão

descritos na Tabela 13. Campos et al. (2003), classificaram um solo adjacente à área minerada como Argissolo Vermelho-Amarelo alítico típico (EMBRAPA, 2006).

**Tabela 13** Composição química do solo reconstruído, na camada de 0 a 20 cm. Lauro Müller-SC. Fonte: Campos et al., 2003.

Camada	pH	Al	Ca	Mg	K
		----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			mg kg <sup>-1</sup>
0-20 cm	4,1	8,5	1,0	1,2	78

Legenda - pH: pH em água; Al: alumínio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; K: potássio trocável.

A implantação do experimento iniciou em novembro de 2001, com escarificação, remoção manual de pedras da área e adubação da área com 66 kg ha<sup>-1</sup> de N, 110 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, segundo recomendação da CQFS RS-SC (1999). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições e parcelas com dimensão de 12,5 x 9,0 m. Os tratamentos foram: 1. testemunha; 2. calcário; 3. calcário+braquiária; 4. calcário+braquiária+cama de aviário.

A testemunha não recebeu calcário nem adubação orgânica. A aplicação do calcário foi na dose de 25 Mg ha<sup>-1</sup> (PRNT de 100 %), determinada para elevar o pH do solo a 6,0 na camada de 0-20 cm, segundo o método SMP (CQFS RS-SC, 1994). A cama de aviário foi aplicada na dose de 6 Mg ha<sup>-1</sup> em base seca, sendo considerados os teores de nutrientes médios segundo a CQFS RS-SC (1994). O calcário e a cama de aviário foram incorporados ao solo com gradagem. A braquiária (*Brachiaria brizantha*) foi semeada a lanço com 6 kg ha<sup>-1</sup>. Após a aplicação dos tratamentos, foram transplantadas mudas de *Eucalyptus saligna* em espaçamento de 1,5 x 2,5 m, com adição de 40 g de calcário por cova de plantio de 0,2 x 0,2 x 0,2 m, representando uma dose de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário.

Devido as mudas de eucalipto e a braquiária não apresentarem crescimento adequado, comparadamente a áreas não mineradas, além da diminuição do pH devido a quantidade elevada de pirita na camada superficial, as mudas de eucalipto foram arrancadas e os tratamentos reaplicados em agosto de 2004 com introdução de um tratamento adicional, a aplicação de dregs como corretivo da acidez do solo. As parcelas com os tratamentos que receberam calcário continuaram com os mesmos tratamentos, e uma das parcelas testemunha passou a receber o tratamento dregs, sendo instaladas mais três parcelas adjacentes ao experimento original – duas recebendo dregs e uma como testemunha. Nessa segunda etapa, o delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições e parcelas com dimensão de 12,5 x 9,0 m. Os tratamentos foram: 1. testemunha; 2. calcário; 3. calcário+braquiária; 4. calcário+braquiária+cama de aviário; e 5. dregs.

Na reaplicação dos tratamentos, a dose dos corretivos foi determinada para elevar o pH do solo a 6,0 na camada de 0-20 cm, segundo o método SMP (CQFS RS-SC, 1994), sendo de 13 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (PRNT de 100 %) e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de dregs (umidade de 24% e valor de neutralização de 80,3 %). A composição do dregs utilizado encontra-se no Apêndice 1. A dose de cama de aviário foi de 9 Mg ha<sup>-1</sup> em base seca. Os corretivos e a cama de aviário foram incorporados ao solo com gradagem. Nos tratamentos com braquiária, a semeadura foi realizada com 6 kg ha<sup>-1</sup>, a lanço e sem incorporação. Na mesma ocasião, exceto na testemunha, todos os tratamentos receberam 66 kg ha<sup>-1</sup> de N, 110 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, a lanço e sem incorporação.

Em outubro de 2004 foram transplantadas, em todos os tratamentos, 15 mudas de *Pinus taeda* e 15 de *Eucalyptus saligna* em cada parcela, com espaçamento de 1,5 x 2,5 m. Em cada cova de 0,2 x 0,2 x 0,2 m foram adicionados 44 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 44 g de K<sub>2</sub>O e 20 g de N, correspondentes a 11 Mg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 11 Mg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 5 Mg ha<sup>-1</sup> de N. Nas parcelas com calcário e na testemunha foram adicionadas, na cova de plantio, 72 g de calcário (18 Mg ha<sup>-1</sup>) e nas parcelas com dregs, adicionou-se 108 g de dregs (27 Mg ha<sup>-1</sup>). Em todas as covas houve a homogeneização do adubo e do corretivo com o solo.

Em dezembro de 2004 foi realizado o coroamento nas mudas, corte da parte aérea da braquiária e aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura.

Em outubro de 2010 foram coletadas amostras de solo com estrutura alterada e preservada, entre as linhas de plantio, para análises químicas e físicas do solo. Para análises físicas do solo foram coletadas duas amostras com estrutura preservada em anéis metálicos com volume de 99,9 cm<sup>3</sup> (5,3 cm de altura e 4,9 cm de diâmetro), por camada e parcela. Na mesma ocasião, avaliou-se a resistência do solo à penetração até 10 cm de profundidade, com medidor eletrônico de compactação do solo Falker. A análise foi realizada em cinco pontos por parcela, com cone de 12,82 mm de diâmetro e velocidade máxima de medição no solo de 50 mm s<sup>-1</sup>, controlada manualmente.

As análises foram realizadas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, sendo determinados os seguintes atributos do solo: pH em água, teores de K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis, P extraível, acidez potencial (H+Al), carbono orgânico total (COT), soma de bases (SB), CTC efetiva (CTC<sub>efetiva</sub>), CTC a pH 7,0 (CTC<sub>pH7</sub>), saturação por bases (V), saturação por Al<sup>3+</sup> (m), saturação por Na<sup>+</sup> (SatNa), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), capacidade de campo (CC), capacidade de aeração (CAR), água prontamente disponível (APD), densidade do solo (DS), resistência do solo à penetração (RP), granulometria, grau de floculação (GF) e estabilidade de agregados, através do diâmetro

médio geométrico (DMG). As metodologias utilizadas para determinação de cada atributo do solo encontram-se descritas no item 3.3, Capítulo I. Não foram coletadas amostras em camadas mais profundas, pois o solo é raso, encontrando-se fragmentos de rocha aos 10 cm de profundidade em algumas parcelas.

Na mesma ocasião da coleta de solo, foi determinado o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura de dez plantas de pinus e dez de eucalipto em cada parcela. As medições foram realizadas com suta florestal e régua com extensão de 6 m.

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Para avaliação de efeitos individuais entre tratamentos, utilizou-se contrastes lineares. Foi utilizado o modelo PROC GLM do programa estatístico SAS 9.1.3 (2007).

## 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

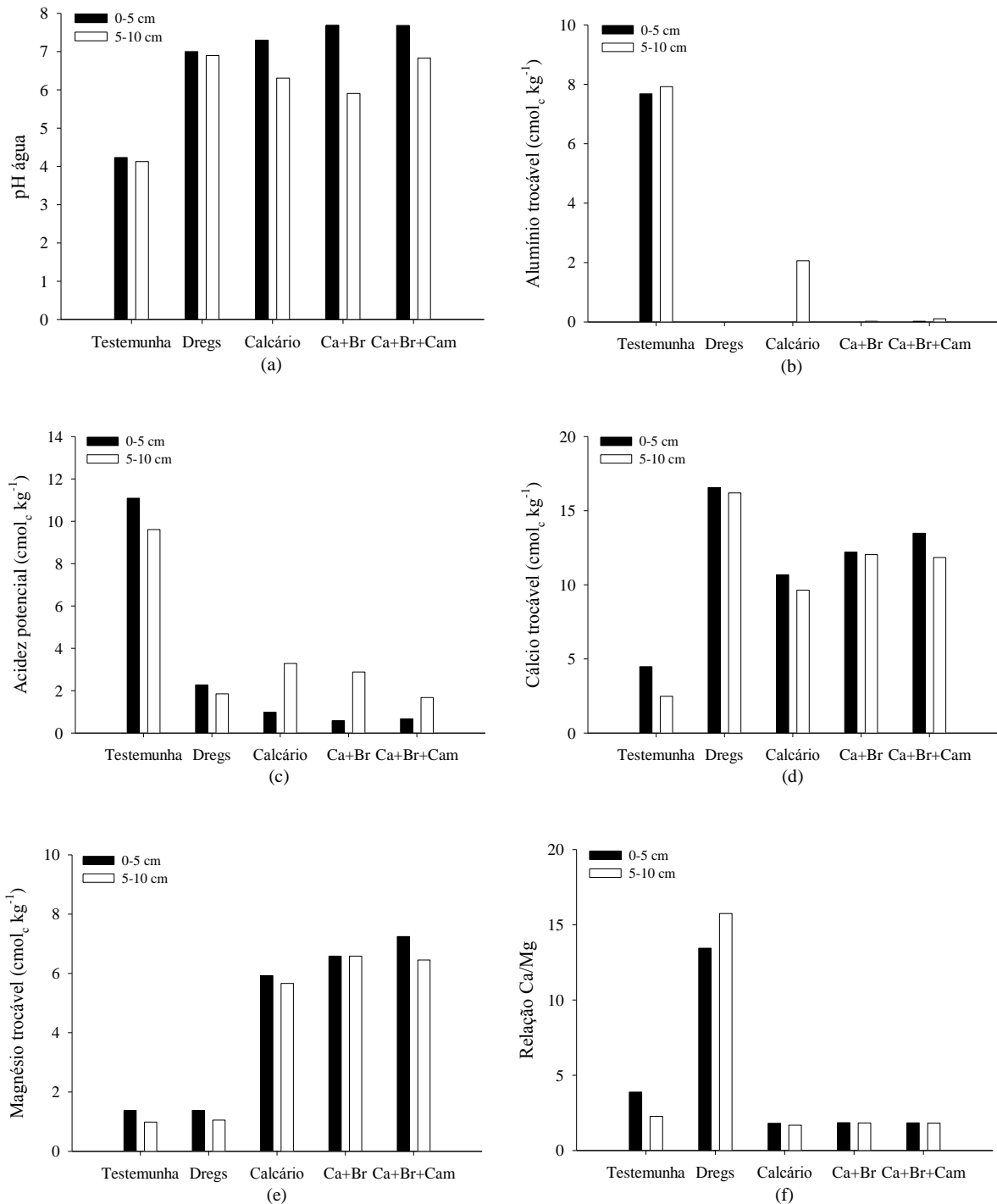
### 5.4.1 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo submetido aos tratamentos para recuperação da qualidade química, física e biológica, foram avaliados por contrastes lineares entre tratamentos (Tabela 14). As Figuras 19 e 20 mostram as médias dos atributos químicos que diferiram entre os tratamentos.

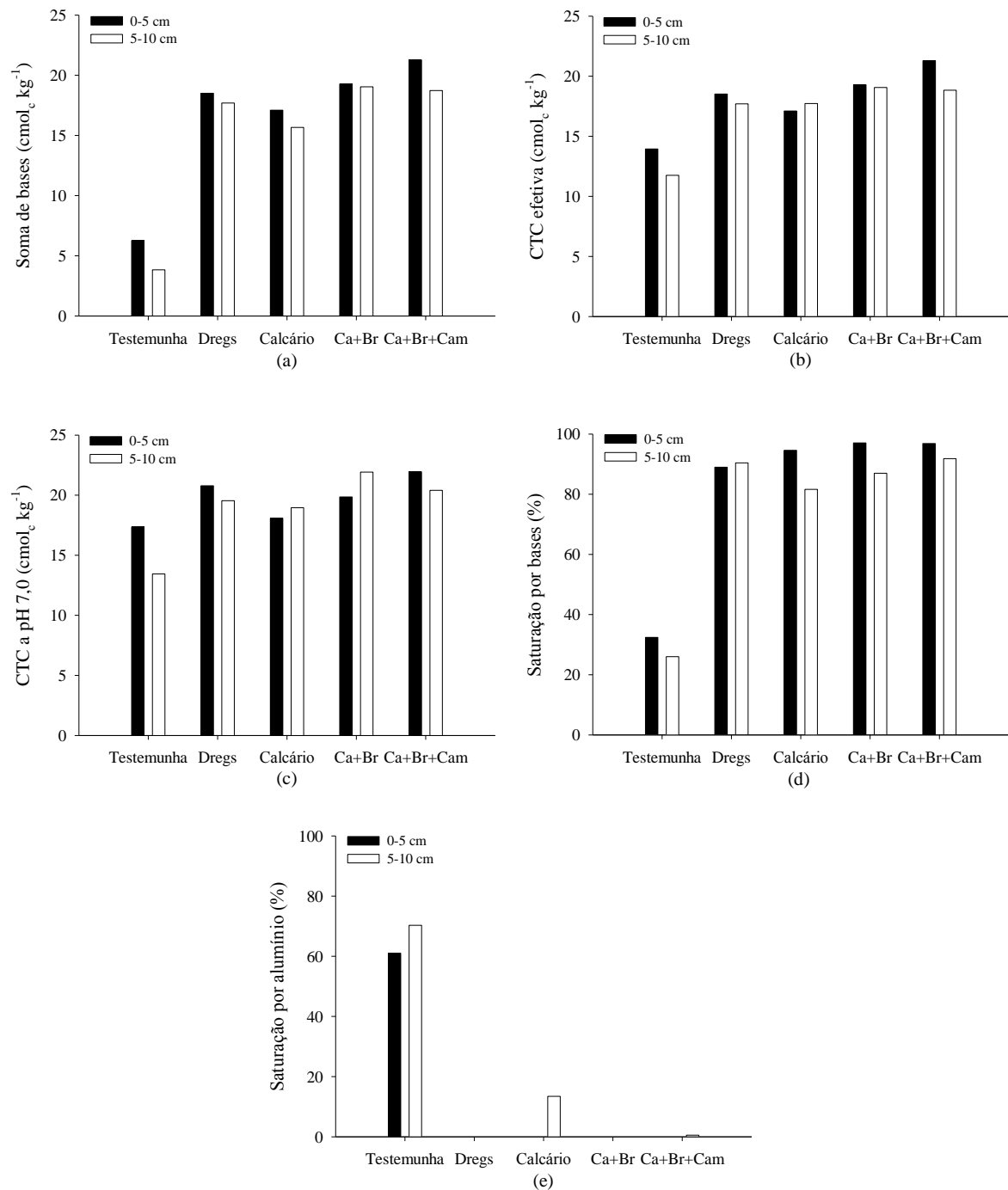
Nove anos após a instalação do experimento e seis anos após sua reformulação, a adição de calcário aumentou o pH, o teor de  $Mg^{2+}$  e a saturação por bases (V), e diminuiu os teores de  $Al^{3+}$  e acidez potencial (H+Al) na camada de 0-5 cm em comparação com a testemunha. O mesmo foi observado na camada de 5-10 cm, além do maior teor de  $Ca^{2+}$ , soma de bases (SB),  $CTC_{efetiva}$  e  $CTC_{pH7}$  no tratamento calcário (Tabela 14).

Nos contrastes entre a testemunha e a correção com dregs, houve aumento do pH, do teor de  $Ca^{2+}$ , da relação Ca/Mg, da soma e saturação por bases, e diminuição dos teores de  $Al^{3+}$  e H+Al e da saturação por  $Al^{3+}$  (m) na camada de 0-5 cm com o dregs. Na camada de 5-10 cm, o dregs também aumentou a  $CTC_{efetiva}$  e a  $CTC_{pH7}$  (Tabela 14).

Na comparação entre dregs e calcário na primeira camada, o teor de  $Mg^{2+}$  foi menor, e assim, a relação Ca/Mg foi maior com o uso do dregs em relação ao calcário. O mesmo foi observado na segunda camada, além do maior teor de  $Ca^{2+}$  com o dregs (Tabela 14). Todos os demais atributos não diferiram entre os tratamentos dregs e calcário.



**Figura 19** pH em água (a), alumínio trocável (b), acidez potencial (c), cálcio trocável (d), magnésio trocável (e) e relação Ca/Mg (f), por camada de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.  
(Ca+Br: calcário+braquiária; Ca+Br+Cam: calcário+braquiária+cama de aviário).



**Figura 20** Soma de bases (a), CTC efetiva (b), CTC a pH 7,0 (c), saturação por bases (d) e saturação por alumínio (e) por camada de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.

(Ca+Br: calcário+braquiária; Ca+Br+Cam: calcário+braquiária+cama de aviário).

Em relação ao tratamento com calcário, o tratamento calcário+braquiária não modificou os atributos químicos do solo, bem como o tratamento calcário+braquiária+cama de aviário em relação ao calcário+braquiária (Tabela 14).

**Tabela 14** Contrastes lineares entre tratamentos, para atributos químicos de um solo reconstruído com tratamentos para recuperação do solo, aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.

Contrastes	pH	Al	H+Al	P	K	Na	Ca	Mg	Ca/Mg	SB	CTC <sub>ef</sub>	CTC <sub>pH7</sub>	V	m	SatNa	COT	
		- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	- mg kg <sup>-1</sup> -	- mg kg <sup>-1</sup> -	- mg kg <sup>-1</sup> -	- mg kg <sup>-1</sup> -	- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	- % -	- % -	- g kg <sup>-1</sup> -	
Camada 0-5 cm																	
Calcário x Testemunha	Pr > F	0,01	0,01	0,01	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	ns	ns	ns	0,01	0,01	ns	ns
	Estimativa <sup>1</sup>	3,1	-7,7	-10,1	-7,5	18,7	10,7	6,2	4,5	-2,1	10,8	3,2	0,7	62	-61	0,0	-2,0
Dregs x Testemunha	Pr > F	0,01	0,01	0,02	ns	ns	ns	0,01	ns	0,01	0,01	ns	ns	0,01	0,01	ns	ns
	Estimativa	2,8	-7,7	-8,8	-4,5	39,0	15,0	12,1	0,0	9,6	12,2	4,6	3,4	57	-61	0,0	-3,3
Calcário x dregs	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,3	0,0	-1,3	-3,0	-20,3	-4,3	-5,9	4,5	-11,6	-1,4	-1,4	-2,7	6	0	0,0	1,3
Ca+Br x Calcário	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,4	0,0	-0,4	23,4	-3,7	1,3	1,5	0,7	0,0	2,2	2,2	1,8	2	0	-0,1	2,0
Ca+Br x Ca+Br+Cam	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,0	0,0	-0,1	7,2	-11,3	-6,7	-1,3	-0,7	0,0	-2,0	-2,0	-2,1	0	0	0,0	-6,0
Camada 5-10 cm																	
Calcário x Testemunha	Pr > F	0,02	0,02	0,01	ns	ns	ns	0,02	0,01	ns	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	ns	ns
	Estimativa	2,2	-5,9	-6,3	0,6	2,0	-0,7	7,2	4,7	-0,6	11,8	6,0	5,5	57	-57	-0,5	-1,3
Dregs x Testemunha	Pr > F	0,01	0,01	0,02	ns	ns	ns	0,01	ns	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	ns	ns
	Estimativa	2,8	-7,9	-7,8	0,5	6,0	12,7	13,7	0,1	13,5	13,9	5,9	6,1	64	-70	-0,1	1,0
Calcário x dregs	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,03	0,01	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,6	-2,0	1,4	0,1	-4,0	-13,3	-6,6	4,6	-14,1	-2,0	0,0	-0,6	-9	13	-0,3	-2,3
Ca+Br x Calcário	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,4	-2,0	-0,4	15,6	4,0	8,3	2,4	0,9	0,2	3,4	1,3	3,0	5	-13	0,1	4,7
Ca+Br x Ca+Br+Cam	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,9	-0,1	1,2	10,8	3,3	-6,7	0,2	0,1	0,0	0,3	0,2	1,5	-5	-0,3	-0,2	1,0

Legenda – Ca+Br: calcário+braquiária; Ca+Br+Cam: calcário+braquiária+cama de aviário; pH: pH em água; Al: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; Na: sódio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; Ca/Mg: relação Ca/Mg; SB: soma de bases; CTC<sub>ef</sub>: CTC efetiva; CTC<sub>pH7</sub>: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; SatNa: saturação por sódio; COT: carbono orgânico total; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Diferença absoluta no valor do atributo entre os tratamentos. Valor positivo indica que o primeiro tratamento tem maior valor.

O pH com o uso de calcário aumentou de 4,2 para 7,3 na camada de 0-5 cm e de 4,1 para 6,3 na camada de 5-10 cm, enquanto com o uso de dregs o aumento foi para 7,0 e 6,9 de 0-5 e de 5-10 cm, respectivamente (Figura 19a, Apêndice 6). Devido a coleta das amostras de solo ter sido realizada nas entrelinhas, o pH próximo às raízes das plantas pode ser ainda maior devido à aplicação adicional dos corretivos nas covas de plantio. Lunardi Neto et al. (2008) observaram que após seis meses da reformulação deste experimento, o pH do solo com dregs ficou em 6,6 na camada de 0-5 cm, inferior aos tratamentos com calcário, com média de 7,2.

O aumento do pH pela aplicação de corretivos em doses elevadas diminui o processo acidificante da pirita. Entretanto, os valores de pH entre 7,0 e 8,0 alcançados com as doses aplicadas, caracterizam uma supercalagem, o que diminui a disponibilidade de alguns micronutrientes, como Fe, Zn, Cu e Mn (NOVAIS et al., 2007). A redução da acidez diminui a concentração desses cátions na solução do solo pelo aumento de cargas negativas. Além disso, em pH maior que 7,0, ocorre a formação de fosfatos de cálcio, diminuindo a disponibilidade de P para as plantas (ERNANI, 2008).

Devido a elevação do pH acima de 5,5, o  $\text{Al}^{3+}$  trocável foi reduzido de  $7,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para zero  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  com os corretivos na camada de 0-5 cm (Figura 19b). A acidez potencial (H+Al) também diminuiu, de  $10,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na média das camadas da testemunha para menos de  $3,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  com o uso de dregs ou calcário (Figura 19c; Apêndice 6). A saturação por  $\text{Al}^{3+}$  (m) acompanhou os teores de  $\text{Al}^{3+}$  trocável (Figura 20e), com redução para próximo de zero % nos tratamentos com os corretivos. Valores de m acima de 20 % podem ser considerados tóxicos para a maioria das culturas comerciais (CQFS RS-SC, 2004).

Não houve diferença significativa no contraste entre calcário e dregs para pH,  $\text{Al}^{3+}$  e H+Al nas camadas avaliadas (Tabela 14), concluindo-se que o resíduo corrige a acidez do solo com a mesma eficiência que o calcário.

Na média das camadas, o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  aumentou de  $3,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na testemunha para aproximadamente  $12,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  nos demais tratamentos (Figura 19d). Os tratamentos compostos por calcário também aumentaram o teor de  $\text{Mg}^{2+}$  de  $1,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para uma média de  $6,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Figura 19e). A relação Ca/Mg acompanhou a adição de  $\text{Ca}^{2+}$  e/ou  $\text{Mg}^{2+}$  pelos corretivos. A testemunha teve uma relação Ca/Mg de 3/1 na média das camadas, enquanto os tratamentos com calcário diminuiriam essa relação para 2/1 e o dregs a elevou para 14/1 (Figura 19f). Isto se deve à constituição do calcário, contendo Ca e Mg e do dregs, que contém mais Ca e pequena quantidade de Mg.

Na análise de Lunardi Neto (2006) após seis meses da aplicação de dregs, a relação Ca/Mg foi de 50/1 de 0 a 10 cm de profundidade. A absorção de  $\text{Ca}^{2+}$  pelas plantas pode ser um dos motivos para a diminuição dessa relação para 14/1 após seis anos da aplicação de dregs, ou mesmo pela formação de par iônico e movimentação vertical de  $\text{Ca}^{2+}$  no perfil, processo que pode ser avaliado com a análise de solo em maiores profundidades. Segundo a CQFS RS-SC (2004), o desenvolvimento da maioria das culturas não é afetado por relações Ca/Mg entre 0,5/1 e 10/1, desde que nenhum dos dois nutrientes esteja em deficiência. A elevada relação Ca/Mg do solo com dregs é uma limitação ao uso isolado deste resíduo em solos com baixos níveis de Mg (MIOTTO, 2009).

A soma de bases (SB) aumentou com a aplicação dos tratamentos com corretivos, de  $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na testemunha para aproximadamente  $18 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Figura 20a). A saturação por bases (V) acompanhou este aumento e teve valores superiores a 80 %, enquanto na testemunha a V foi de aproximadamente 30 % (Figura 20d, Apêndice 6).

A  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$  na testemunha ficou abaixo de  $15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , e acima deste valor nos demais tratamentos (Figura 20b). Já a  $\text{CTC}_{\text{pH7}}$  foi de  $15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na média das camadas na testemunha, chegando próximo a  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  com os corretivos (Figura 20c). O valor de V e



a  $CTC_{pH7}$  aumentaram em comparação com a análise de Lunardi Neto (2006), o que se deve ao efeito residual de ambos os corretivos.

A ausência de diferença entre o tratamento calcário com o calcário+braquiária evidencia que a gramínea não influenciou nos atributos químicos avaliados. Já o contraste entre calcário+braquiária e calcário+braquiária+cama de aviário, ao não ser significativo, indica que a aplicação da adubação orgânica também não influenciou a qualidade química do solo após nove anos do início do experimento e seis anos após sua reformulação. Assim, as mudanças químicas observadas no solo por estes tratamentos foram, basicamente, devido à aplicação de calcário. Entretanto, o uso da braquiária é importante para a redução do escoamento e erosão hídrica nas áreas degradadas após a mineração de carvão.

Os teores de P,  $K^+$ ,  $Na^+$ , saturação por sódio (SatNa) e carbono orgânico total (COT) do solo não diferiram entre os tratamentos, sendo as médias por camada apresentadas na Tabela 15.

**Tabela 15** Média de atributos químicos de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.

Tratamentos	Camada	P	K	Na	SatNa	COT
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----			%	g kg <sup>-1</sup>
Média	0-5 cm	12 <sup>1</sup>	115	47	1,2	14
	5-10 cm	5	85	43	1,1	5

Legenda – P: fósforo extraível; K: potássio trocável; Na: sódio trocável; SatNa: saturação por sódio; COT: carbono orgânico total.

<sup>1</sup> Média de 15 observações.

Os nutrientes P e  $K^+$  foram incorporados ao solo com adubação mineral em todos os tratamentos na instalação do experimento e aplicados em superfície na sua reformulação.

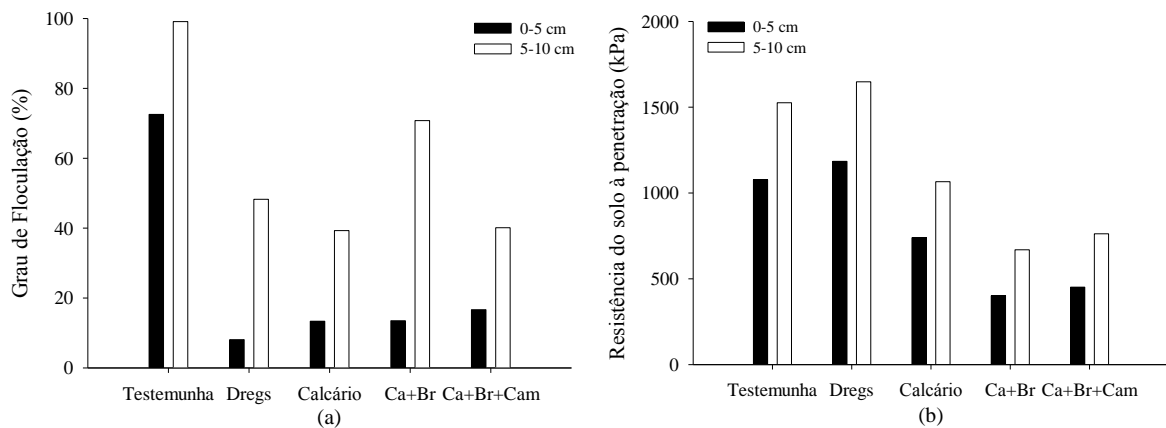
O teor de COT nos solos construídos é geralmente muito baixo e por não haverem diferenças significativas entre os tratamentos, conclui-se que a adição de cama de aviário e o cultivo de braquiária não foram eficientes em aumentar os teores de matéria orgânica do solo.

O teor e a saturação por  $Na^+$  também não foram afetados com o uso de dregs, conforme era esperado em função da composição do dregs por esse elemento. Em 2005, Lunardi Neto (2006) encontrou aumento no teor de  $Na^+$  com o dregs, que variou de 106 a 166 mg kg<sup>-1</sup> nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, além de uma saturação por  $Na^+$  próxima a 5 %. Os valores de  $Na^+$  encontrados nesta nova avaliação foram muito inferiores, podendo-se inferir que houve lixiviação de  $Na^+$  por sua alta mobilidade no solo.

#### 5.4.2 Atributos físicos do solo

O solo da área, embora seja um solo construído topograficamente, possui 267 g kg<sup>-1</sup> de argila, 373 g kg<sup>-1</sup> de silte, 360 g kg<sup>-1</sup> de areia e densidade de partículas de 2,64 Mg m<sup>-3</sup> na camada de 0-10 cm, resultados que concordam com a análise de Lunardi Neto et al. (2008).

A análise de atributos físicos do solo após seis anos da reformulação do experimento, indica diferença entre os tratamentos apenas para o grau de floculação (GF) e para a resistência do solo à penetração (RP). As médias para estas variáveis encontram-se na Figura 21 e os contrastes entre os tratamentos para os atributos físicos do solo são mostrados na Tabela 16.



**Figura 21** Grau de floculação (a) e resistência do solo à penetração (b), por camada, de um solo reconstruído corrigido com tratamentos aplicados em superfície em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010. (Ca+Br: calcário+braquiária; Ca+Br+Cam: calcário+braquiária+cama de aviário)

Na comparação entre testemunha e calcário houve diferença para GF e RP (Tabela 16). O calcário diminuiu o GF do solo de 73 para 13 % na camada de 0-5 cm, entretanto, também diminuiu a RP em ambas as camadas. Com a aplicação de dregs, o GF também diminuiu na camada de 0-5 cm em comparação com a testemunha, de 73 para 8 % (Figura 21<sup>a</sup>; Apêndice 7).

Nos contrastes entre os corretivos, houve diferença apenas para a RP em ambas as camadas, com diminuição da RP com a aplicação de calcário em relação ao dregs (Tabela 16).

Como não houve diferença para o GF entre os tratamentos com dregs e calcário, sua diminuição deve-se ao aumento do pH e conseqüentemente, do potencial elétrico negativo, que tende a afastar as partículas (Albuquerque et al., 2002).

**Tabela 16** Contrastes lineares entre tratamentos, para atributos físicos de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.

Contrastes		DS Mg m <sup>-3</sup>	PT	Macro	Micro m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	CC	CAR	APD	GF %	DMG mm	RP kPa
Camada 0-5 cm											
Calcário x Testemunha	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,03	ns	0,01
	Estimativa	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-59	1,0	-676
Dregs x Testemunha	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	ns	ns
	Estimativa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-59	0,7	108
Calcário x Dregs	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01
	Estimativa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	-783
Ca+Br x Calc	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	50
Ca+Br x Ca+Br+Cam	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3	-0,5	-288
Camada 5-10 cm											
Calcário x Testemunha	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01
	Estimativa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-60	-1,2	-856
Dregs x Testemunha	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-62	-0,1	122
Calcário x Dregs	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01
	Estimativa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	-0,3	-979
Ca+Br x Calc	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31	1,2	93
Ca+Br x Ca+Br+Cam	Pr > F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31	1,1	-304

Legenda – Ca+Br: calcário+braquiária; Ca+Br+Cam: calcário+braquiária+cama de aviário; DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; CC: capacidade de campo; CAR: capacidade de aeração; APD: água prontamente disponível; GF: grau de floculação; DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados; RP: resistência do solo à penetração; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Diferença absoluta no valor do atributo entre os tratamentos. Valor positivo indica que o primeiro tratamento tem maior valor.

Na análise de Lunardi Neto et al. (2008), o GF da testemunha com elevada acidez foi próximo de 100 %, pois o pH está próximo do ponto de carga zero e, assim, a floculação das partículas é favorecida. A adição de calcário reduziu para aproximadamente 30 % o GF na camada de 0 a 5 cm, enquanto a redução com o dregs não foi significativa. Tal diferença, não encontrada após seis anos da reaplicação dos tratamentos, deve-se ao tempo de reação dos corretivos. O dregs foi aplicado apenas quatro meses antes da análise realizada por Lunardi Neto et al. (2008), enquanto parte da dose do calcário já havia sido aplicado 39 meses antes, tendo reagido e elevado o pH do solo acima do aumento proporcionado pelo dregs.

Albuquerque et al. (2000) observaram que a adição de calcário reduziu o GF de um Latossolo Bruno quando o pH foi superior a 6,0. A diminuição do GF é especialmente danosa em solos degradados, pois a argila dispersa obstrui os poros, reduz a taxa de infiltração e favorece o escoamento superficial (REICHERT e NORTON, 1994).

A RP passou de 1.300 kPa na testemunha para 900 kPa no tratamento com calcário na média das camadas (Figura 21b). Entretanto, todos os tratamentos tiveram RP menor do que 2.000 kPa, valor acima do qual o crescimento radicular é dificultado (JONG VAN LIER et al., 2010).

Como não houve diferença entre contrastes do calcário com os tratamentos com braquiária e cama de aviário, considera-se a RP menor para todos os tratamentos com calcário.

Os demais atributos físicos do solo avaliados não diferiram em função dos tratamentos aplicados. As médias por camada estão na Tabela 17.

**Tabela 17** Média de atributos físicos de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.

Tratamentos	Camada	DS	PT	Macro	Micro	CC	CAR	APD	DMG
		Mg m <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>					mm
Média	0-5 cm	1,29 <sup>1</sup>	0,55	0,11	0,44	0,42	0,13	0,06	5,6
	5-10 cm	1,40	0,51	0,08	0,43	0,42	0,09	0,04	4,9

Legenda – DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; CC: capacidade de campo; CAR: capacidade de aeração; APD: água prontamente disponível; DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados.

<sup>1</sup> Média de 15 observações.

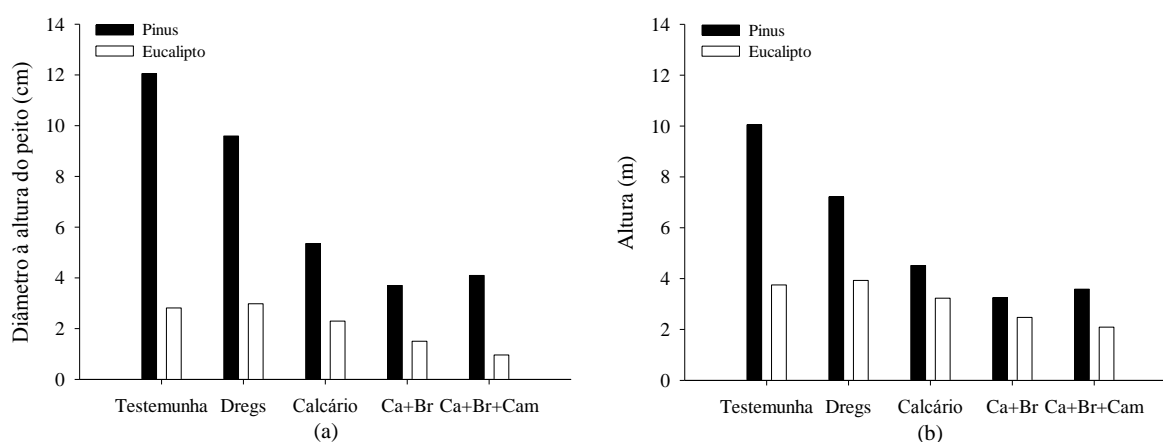
A densidade do solo (DS) variou de 1,29 Mg m<sup>-3</sup> na camada de 0-5 cm a 1,40 Mg m<sup>-3</sup> de 5-10 cm. A média da porosidade total (PT) e da macroporosidade (Macro) foram de 0,53 e 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente, sendo as médias maiores na camada superficial. Na camada de 5-10 cm, a média da Macro está abaixo do limite para o bom crescimento e desenvolvimento da maioria das culturas, considerado de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (HILLEL, 1998). Solos com poucos macroporos apresentam sérias restrições ao crescimento vegetal, às trocas gasosas e à infiltração de água (LUNARDI NETO et al., 2008).

Em 2005, quatro meses após a reformulação do experimento, os tratamentos também não haviam alterado a DS, a Macro e a PT (LUNARDI NETO et al., 2008). A introdução de adubação orgânica e plantas de cobertura adaptadas ao ambiente ácido foram estratégias para o aumento da porosidade do solo, porém não foram constatados efeitos após seis anos.

A média do diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) na camada de 0-5 cm foi de 5,6 mm, diminuindo para 4,9 mm na camada de 5-10 cm. A boa estruturação desse solo pode ser devida à presença de óxidos e hidróxidos de ferro. Em 2005, houve redução do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) no tratamento com calcário em relação à testemunha. Entretanto, nos tratamentos com calcário+braquiária a estabilidade dos agregados aumentou devido ao sistema radicular fasciculado e à deposição dos resíduos vegetais da parte aérea da braquiária (LUNARDI NETO et al., 2008). Tal benefício da braquiária não foi observado após nove anos de sua semeadura e seis anos da ressemeadura.

### 5.4.3 Crescimento de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna*

O crescimento do pinus e do eucalipto com seis anos foi determinado pela medição do diâmetro à altura do peito (DAP) e altura das plantas. A média dos tratamentos para estas variáveis e os contrastes entre os tratamentos encontram-se na Figura 22 e na Tabela 18, respectivamente.



**Figura 22** Diâmetro à altura do peito (a) e altura (b) de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna* em um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010. (Ca+Br: calcário+braquiária; Ca+Br+Cam: calcário+braquiária+cama de aviário).

**Tabela 18** Contrastes lineares entre tratamentos, para diâmetro a altura do peito (DAP) e altura de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna* em um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.

Contrastes		DAP (cm)		Altura (m)	
		Pinus	Eucalipto	Pinus	Eucalipto
Calcário x Testemunha	Pr > F	0,00	ns	0,00	ns
	Estimativa <sup>1</sup>	-6,7	-0,5	-5,5	-0,5
Dregs x Testemunha	Pr > F	ns	ns	0,04	ns
	Estimativa	-2,5	0,1	-2,8	0,2
Calcário x Dregs	Pr > F	0,01	ns	0,05	ns
	Estimativa	-4,2	-0,7	-2,7	-0,7
Ca+Br x Calc	Pr > F	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	1,6	-0,8	-1,3	-0,8
Ca+Br x Ca+Br+Cam	Pr > F	ns	ns	ns	ns
	Estimativa	-0,4	0,6	-0,3	0,4

Legenda – Ca+Br: calcário+braquiária; Ca+Br+Cam: calcário+braquiária+cama de aviário; DAP: diâmetro à altura do peito; ns: não significativo.

<sup>1</sup> Diferença absoluta no valor do atributo entre os tratamentos. Valor positivo indica que o primeiro tratamento tem maior valor.

Não houve diferença entre os tratamentos para o crescimento do eucalipto, mas observa-se que a espécie não apresentou crescimento adequado em toda a área. Para o pinus, tanto o DAP como a altura foram maiores na testemunha em comparação com o calcário e a altura em comparação com o dregs. Já no contraste entre os corretivos, as duas variáveis foram maiores com o dregs (Tabela 18). O maior desenvolvimento do pinus na testemunha

pode estar relacionado à associação da espécie com fungos micorrízicos em função da elevada acidez.

Devido a adaptação a solos ácidos, o pinus deve ter seu desenvolvimento prejudicado com a elevação do pH para valores próximos a neutralidade. O aumento do pH diminui a disponibilidade de alguns micronutrientes, como Fe, Zn, Cu e Mn (NOVAIS et al., 2007) e de Ca às plantas (ERNANI, 2008). Além disso, a diminuição do crescimento do pinus nos tratamentos com braquiária foi provavelmente devido à competição por nutrientes, especialmente pelo nitrogênio (N) com a gramínea. No tratamento com adição de cama de aviário, a competição por N ocorre também pela maravalha que compõe a cama e que necessita de N para decomposição, devido sua alta relação C/N. Entretanto, o processo de mineralização é intenso nos primeiros meses após a aplicação da cama, o que indica que a competição no início do desenvolvimento afetou em definitivo o crescimento nos anos subsequentes.

Segundo Gonçalves (1995), o pinus é pouco sensível à acidez do solo e tolera altos níveis de alumínio e manganês. Em seu estudo, embora o solo fosse pobre em nutrientes essenciais às plantas, o *Pinus taeda* foi capaz de se desenvolver nessa condição, concordando com os dados obtidos. Entretanto, embora o pinus seja considerado de baixa exigência nutricional (FERREIRA et al., 2004), estudos têm demonstrado que a elevação da fertilidade do solo proporciona aumentos na produtividade florestal (MELO, 1994 ; MORALES et al., 2010; RIGATTO, 2002).

O impedimento físico natural encontrado nesse solo, também pode ter prejudicado o desenvolvimento do pinus. Campos (2000) relatou algumas características físicas negativas na área, como camada superficial compactada, presença de fragmentos de rocha, baixa permeabilidade de água e erosão hídrica, que dificultam o estabelecimento da vegetação. Segundo Morales et al. (2010), solos rasos e compactados restringem o desenvolvimento da floresta, mesmo com níveis nutricionais no solo mais elevados. O teor de água disponível do solo é um dos fatores que mais determina o crescimento das árvores (MELO, 1994; RODRIGUES, 2004).

Quanto ao crescimento do eucalipto, embora o DAP e a altura não tenham diferido entre os tratamentos, seu desenvolvimento foi dificultado pelos mesmos problemas químicos e físicos citados para o pinus. Entretanto, o eucalipto é mais sensível à acidez do solo, não tendo se desenvolvido na testemunha igualmente aos demais tratamentos.

As florestas de eucalipto apresentam alta demanda por nutrientes (STAPPE e BALLONI, 1988). Trigueiro (2006) e Barreto (2008) encontraram aumentos no crescimento

de eucalipto com a aplicação de dregs no solo. Entretanto, Rocha et al. (2008) ao trabalhar com incorporação de calcário em sistema de produção de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, concluíram que a elevação da saturação por bases acima de 65% causa redução no crescimento do eucalipto. Já Dinardo et al. (1998), constataram que mudas de *Eucalyptus grandis* apresentaram redução na altura e diâmetro do caule quando cresceram com *Brachiaria decumbens*, podendo ser este, um motivo agravante do baixo desenvolvimento do eucalipto.

Mesmo com problemas em níveis diferentes, é importante afirmar que as plantas estão se desenvolvendo na área, e embora o pinus e o eucalipto não tenham um crescimento normal, estão, junto com a braquiária, proporcionando cobertura vegetal ao solo, importante para a redução da erosão. Além disso, devem contribuir para a gênese do solo com o tempo, conforme relatado no estudo de Kämpf et al. (1997) em solo reconstruído no Rio Grande do Sul.

## 5.5 CONCLUSÕES

Dregs e calcário aplicados em área reconstruída após a mineração de carvão, melhoram a fertilidade química do solo, diminuem o grau de flocculação da argila, mas não modificam os demais atributos físicos do solo e o crescimento de eucalipto, porém reduzem o crescimento de pinus.

Cama de aviário e braquiária não influenciaram as alterações químicas e físicas em solo reconstruído a longo prazo.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação de dregs melhora a fertilidade química do solo e a produtividade de culturas anuais, mas prejudica ou não interfere no crescimento de espécies florestais.

O dregs não favorece a correção da acidez em camadas mais profundas que o calcário a longo prazo.

O dregs dispersa a argila pelo aumento do pH, mas não diminui a estabilidade de agregados ou a distribuição de poros do solo.

O efeito residual da aplicação de dregs no solo é semelhante ao da aplicação de calcário, sendo o dregs uma alternativa para a correção da acidez, desde que em doses adequadas para cada solo.



## 7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os estudos a curto e a longo prazo têm concluído como vantajoso o uso de dregs em relação à produtividade de culturas, além de corrigir a acidez do solo e aumentar a fertilidade de forma eficiente. Entretanto, seu uso deve ser feito com restrições devido à supercalagem em aplicações superficiais ou em doses acima das recomendadas, ao aumento da relação Ca/Mg em solos com baixo teor de magnésio e ao aumento da dispersão da argila.

Portanto, a aplicação de dregs no solo deve ser precedida da análise da composição química e poder de neutralização do resíduo, e da análise química, física e mineralógica do solo.

Além disso, estudos sobre possível contaminação do lençol freático e composição orgânica do resíduo são necessários para a segura utilização do dregs como corretivo do solo:

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2010**: ano base 2009. Brasília: ABRAF, 2010.140p.

AGASSI, M.; SHAINBERG, I. e MORIN, J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 45, p. 848-851, 1981.

ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R; MAFRA, A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 799-806, 2003.

ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E.C.; COSTA, F.S.; RECH, T.D. 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.

ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 295-300, 2000.

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 923-934, 2005.

ALMEIDA, H.C.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; MACABÔ JUNIOR, J.; ALMEIDA, D. Influência da adição de um resíduo alcalino da Indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1775-1784, 2008.

ALMEIDA, H.C.; ERNANI, P.R.; MARIN, H.H.; ESCAPINI, E.H.; MACABÔ JUNIOR, J. 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. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.6, p. 104-113, 2007a.

ALMEIDA, H.C.; SILVEIRA, C.B. da; CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). **Química Nova**, São Paulo, v. 30, p. 1669-1672, 2007b.

ALMEIDA, J.A.; ERNANI, P.R.; MAÇANEIRO, K.C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v 29, p. 651-656, 1999.

AMARAL, A.S. e ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 695-702, 2001.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 359-367. 2004.

BALLONI, E.A. **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento de Pinus caribea Morelet var. bahamensis (Griseb) Barret et Golfari em solo de cerrado do Estado de São Paulo**. 1984. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1984.

BARREIRA, L.P.; PHILIPPI JUNIOR, A.; RODRIGUES, M.S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, 2006.

BARRETTO, V.C. de M. **Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto. Jaboticabal**. 64 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2008.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. da; FERREIRA, C.A.; ANDRADE, G.C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, 1998.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n. 1047-1054. 2000.

BLAKE, G.R. e HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, p. 363-375, 1986.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Relatório Anual 2009/2010**. [Online]:<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2009.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2011.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. e FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 161-169, 2000.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, 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**, Viçosa, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAMARGO, O.A. de; CASTRO, O.M. de; VIEIRA, S.R.; QUAGGIO, J.A. Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um latossolo e um podzólico com a calagem. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 1-8, 1997.

CAMPOS, M.L. **Caracterização de três áreas de solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, SC**. 2000. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2000.

CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, J.A.; SOUZA, L.S. Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1123-1137, 2003.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, 2004.

COHN, P.E. e RIBEIRO, R.N. **Medição "on line" do alcali total nos licores branco e verde empregando tecnologia FT-NIR**. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 25., São Paulo, 2002. Trabalhos Técnicos... São Paulo, 2002. p.1-10.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2004. 400p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 4ª ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 1994.

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1307-1317, 2007.

COSTA, S. e ZOCHE, J.J. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na região sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, p. 665-674, 2009.

DINARDO, W.; TOLEDO, R.E.B.; ALVES, P.L.C.A.; GALLI, A.J.B. Interferência da palhada de capim-braquiária sobre o crescimento inicial de eucalipto. **Planta Daninha**, Londrina, v. 16, p. 13-23, 1998.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília: DF. 2009. 627 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2010: Ano base 2009**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2010. 276 p.

ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O Autor, 2008. 230 p.

ERNANI, P.R. e ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 139-143, 1986.

FAGERIA, N.K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1419-1424, 2001.

FERREIRA, C.A.; DA SILVA, H.D.; BELLOTE, A.F.J. Pesquisa sobre nutrição de pinus no sul do Brasil. **Revista da Madeira**. Curitiba, n. 83, p. 36-43, 2004.

FIDALSKI, J. e TORMENA, C.A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 235-247, 2005.

FOELKEL, C. **Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose e Papel de Eucalipto**. Parte 02: Fatores de sucesso para seu gerenciamento. Eucalyptus Online Book e Newsletter. 2008. [Online]: [http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT13\\_Residuos02.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT13_Residuos02.pdf). Acesso em: 10 jan. 2011.

FONTES, M.P.F.; GJORUP, G.B.; ALVARENGA, R.C.; NASCIF, P.G.S. Calcium salts and mechanical stress effects on waterdispersible clay of Oxisols. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.59, p.224-227, 1995.

GAIVIZZO, L.B.; VIDOR, D. e TEDESCO, M.J. Recuperação de áreas utilizadas para depósito de rejeitos de minas de carvão. In: **Carvão e meio ambiente**. Centro de ecologia e meio ambiente. UFRGS. Porto Alegre: Ed. Universidade, p. 480-491, 2000.

GAIVIZZO, L.H.B.; VIDOR, C.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A. Potencial poluidor de regiões carboníferas. II – Efeitos da recuperação com camadas de solo sobre as plantas e a população microbiana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 955-961, 2002.

GATIBONI, L.C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J.C.P.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 273-280, 2003.

GEE, G.W. e BAUDER, J.W. Particle-size Analysis. In: BLACK, C.A. eds. **Methods of soil analysis**. n. 9. part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1986.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v.15, p. 1-23, 1995.

GROSSI, R.C.; CARAIOLA, R.; CARDOZO FILHO, L.; ARROYO, P.A. Determinação dos parâmetros cinéticos significativos para a reação de caustificação. Congresso Iberoamericano de Investigación em Celulosa y Papel. 2000.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo: exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, p.664-668, 2006.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; GELAIN, N.S. Ksat 2008 – programa computacional auxiliar na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., Rio de Janeiro, 2008. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 1 CD ROM.

GUERRA, M.A. de S.L. **Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose.** 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics.** 1. ed. New York: Academic Press, 1998. 770 p.

JONG VAN LIER, Q de. **Física do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298p.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G. e SAGGIN, A. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 69, p. 573-580, 2005.

KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. Propriedades, pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na Bacia Carbonífera do Baixo Jacuí. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 79-88, 1997.

KEMPER, W.D. e CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A. eds. **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965.

KLABIN. **Relatório de Sustentabilidade Klabin 2008.** [Online]: <http://www.klabin.com.br/rs2009/pt/index.shtml>. Acesso em 10 jan. 2011.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R.H. **A cultura do Pinus no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2005. 156p.

LUNARDI NETO, A. **Métodos para reabilitação de solo reconstruído após mineração de carvão.** 2006. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2006.

LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A.; MAFRA, A.L.; MEDEIROS, J.C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão

influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 32, p. 1379-1388, 2008.

MALTZ, R.; TEIXEIRA, J.R.; MORAES, S.P. **Destinação final dos resíduos sólidos da Riocell S.A.** Guaíba: Vida Desenvolvimento Ecológico, 1999. 85 p.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; BATISTELLA, F.; GRAH, J. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1657-1665, 2009.

MEDEIROS, J.C. **Resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na correção da acidez de um cambissolo húmico álico**. 2008. 79 f. Lages, SC. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2008.

MEDEIROS J.C.; MAFRA A.L.; ALBUQUERQUE J.A.; ROSA J.D.; GATIBONI L.C. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 19, p. 93-98, 2008.

MELO, V.F. de. **Relação entre a reserva mineral de solos e a produção de nutrientes em povoamentos de Eucalyptus saligna Smith, no Rio Grande do Sul**. 1994. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1994.

MIOTTO, A. **Calcários calcítico e dolomítico e alterações nos atributos de solos e plantas sob sistema de plantio direto**. 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

MORALES, C.A.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A. de; MARANGONI, J.M.; STAHL, J.; CHAVES, D.M. Qualidade do solo e produtividade de *Pinus taeda* no planalto catarinense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, p. 629-640, 2010.

MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I. PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 71-81, 2001.

MORELLI, M.; IGUE, K.; FUENTES, R. Efecto del encalado en el complejo de cambio y movimiento de Ca y Mg. **Turrialba**, v.21, p.317-332, 1971.



NOLASCO, A.M.; GUERRINI, I.A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 385-414, 2000.

NOVAIS, R.F. de.; ALVAREZ, V.H.V.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OLIVEIRA, E.L. e 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.

OLIVEIRA, E.L. e PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47-57, 1996.

ORLANDO FILHO, J.O.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **Revista STAB - Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v 14, p. 13-17, 1996.

PÖYKIÖ, R.; NURMESNIEMI, H.; KUOKKANEN, T.; PERÄMÄKI, P. Green liquor dregs as an alternative neutralizing agent at a pulp mill. **Environmental Chemistry Letters**, Berlin, v. 4, p. 37- 40, 2006.

PÖTTKER, D. e BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 675-684, 1998.

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

RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 849-857, 2006.

REICHERT, J.M. e NORTON, D.L. Fluidized Bed Combustion Bottom-Ash Effects on Infiltration and Erosion of Variable-Charge Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 275-282, 1996.

REICHERT, J.M. e NORTON, L.D. Fluidized Bed Bottom-Ash Effects on Infiltration and Erosion of Swelling Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1483-1488, 1994.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p.29-48, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J; BORTOLUZZI, E.C.; GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 797-805, 2000.

RIGATTO, P.A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de Pinus taeda para a produção de celulose Kraft**. 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

ROCHA, J.B. de O.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G. de; SILVA, C.A.; CURI, N. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo húmico da Zona da Mata (MG). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 36, p. 255-263, 2008.

RODRIGUES, C.M. **Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do Pinus taeda**. 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; OLIVEIRA, R.H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 301-309, 2003.

SANTA CATARINA. **Governo do Estado de Santa Catarina**: Municípios de Santa Catarina – Lages. [Online]: <http://www.sc.gov.br/portalturismo/Default.asp?CodMunicipio=67ePag=1>. Acesso em 10 jan. 2011a.

SANTA CATARINA. **Governo do Estado de Santa Catarina**: Municípios de Santa Catarina – Bocaina do Sul. [Online]: <http://www.sc.gov.br/portalturismo/Default.asp?CodMunicipio=241ePag=1>. Acesso em 10 jan 2011b.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Sub-chefia de estatística, geografia e informática. **IBGE**, 1986.

SAS INSTITUTE INC. **SAS 9.1.3 (TS1M3) for Windows Microsoft**. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2007.

SHAINBERG, I. e SINGER, M.J. Drop impact energy-soil exchangeable sodium percentage interactions in seal formation. **Soil Science of Society American Journal**, Madison, v.52, p.1449-1452, 1988.

SILVA, L.M.; LEMOS, L.B., CRUSCIOL, C.A.; FELTRAN, J.C. Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 701-707, 2004.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A.; TEIXEIRA, C.F.A. 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 chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 277p.

STAPPE, J.L. e BALLONI, E.A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 40, p. 33-37, 1988.

STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry**. Wiley: New York, 1994.

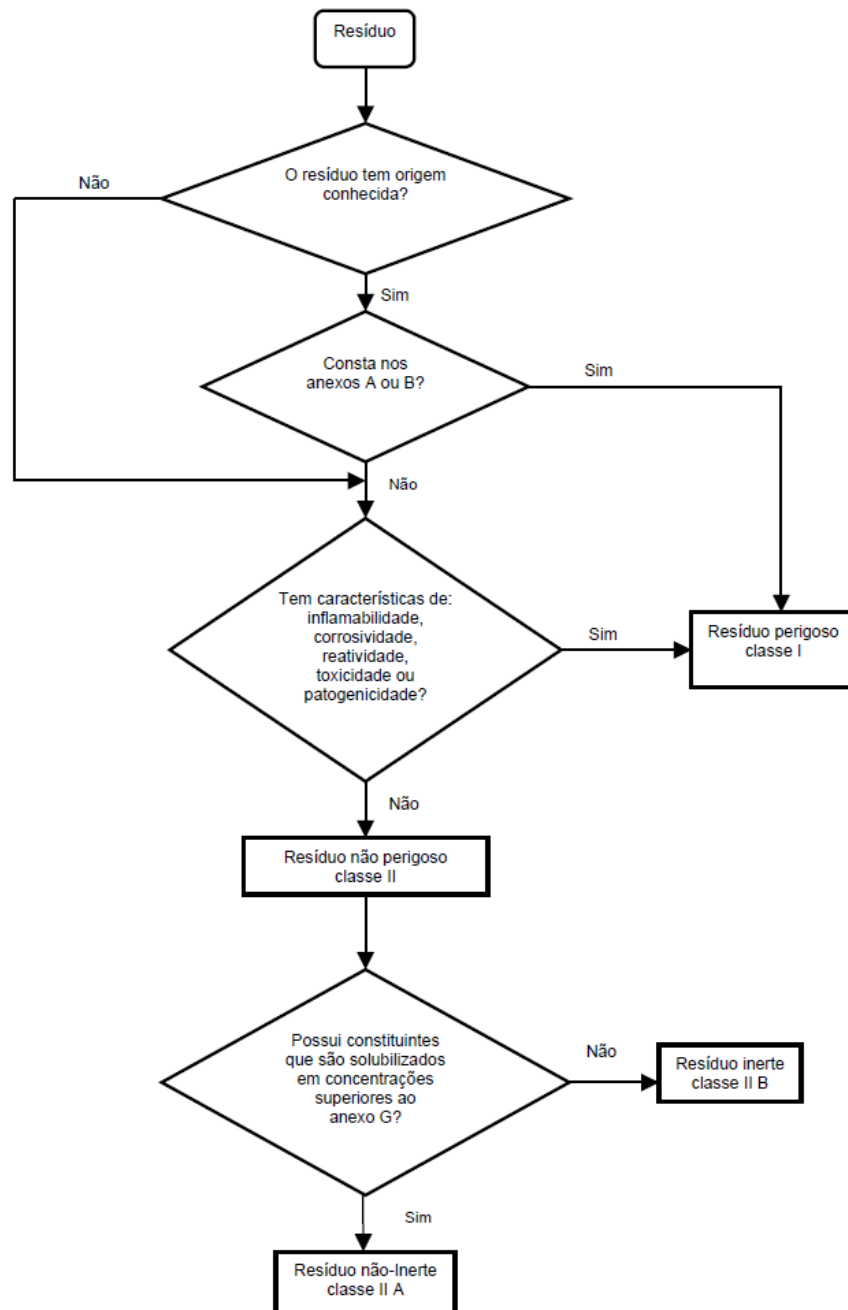
TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H e VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TEIXEIRA, J.B. **Utilização de resíduos sólidos alcalinos de indústrias de celulose na correção da acidez do solo**. 2003.105 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

TRIGUEIRO R. de M. **Efeito de “dregs e grits” nos atributos de um neossolo quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 73 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2006

WOLFF, E. **O uso do lodo de estação de Tratamento de água e resíduos da Indústria de celulose (dregs, grits e Lama de cal) na produção de cerâmica Vermelha**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

## 9 ANEXOS



Anexo 1 Caracterização e classificação de resíduos. Fonte: ABNT NBR 10004:2004.

## 10 APÊNDICES

**Apêndice 1** Análise química do dregs, realizada pelo Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Determinações	Resultado <sup>1</sup>	Metodologia aplicada	Limite de detecção
Umidade - %	< 1	Gravimetria	-
pH	10,9	Potenciometria	-
Densidade	0,79	-	-
Carbono orgânico - %	1,9	combustão úmida/Walkey Black	0,01 %
Nitrogênio (TKN) - %	0,02	Kjeldahl	0,01 %
Fósforo total - %	0,08	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,01 %
Potássio total - %	0,23	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,01 %
Cálcio total - %	30	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,01 %
Magnésio total - %	1,0	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,01 %
Enxofre total - %	0,71	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,01 %
Cobre total - m g/kg	61	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,6 mg/kg
Zinco total - m g/kg	189	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	2 mg/kg
Ferro total - %	0,29	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	4 mg/kg
Manganês total - %	0,40	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	4 mg/kg
Sódio total - %	3,4	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,01 %
Cádmio total - m g/kg	0,9	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,2 mg/kg
Cromo total - m g/kg	284	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,4 mg/kg
Níquel total - mg/kg	99	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	0,4 mg/kg
Chumbo total - m g/kg	3	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES	2 mg/kg
Boro total - m g/kg	6,0	digestão seca/espec. abs. mol	1 mg/kg

<sup>1</sup> Resultados expressos na amostra seca a 75 °C, com exceção do pH.

**Apêndice 2** Média de atributos químicos, por camada, de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

Tratamentos	pH <sub>água</sub>	Al - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	H+Al	P	K	Na	Ca	Mg	Ca/Mg	SB	CTC <sub>ef</sub>	CTC <sub>pH7</sub>	V	m	SatNa	COT
			- mg kg <sup>-1</sup> -	- mg kg <sup>-1</sup> -	- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -					- - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> - -			- - - % - - -			g kg <sup>-1</sup>
Camada 0-2,5 cm																
Sem corretivo	4,8	1,9	10,7	47	278	11	10	6	2	17	19	28	62	11	0,2	49
1/4 SMP dregs	5,4	0,3	7,4	48	237	16	17	6	3	23	24	31	76	1	0,2	49
1/2 SMP dregs	5,8	0,2	5,1	51	285	23	21	5	4	27	28	33	84	1	0,3	50
1 SMP dregs	6,7	0,1	0,7	57	298	51	31	5	7	36	36	37	98	0	0,6	50
1/2 SMP calcário	6,0	0,1	4,3	38	288	15	16	14	1	31	31	35	87	0	0,2	50
1 SMP calcário	6,6	0,1	1,6	48	310	20	21	13	2	35	35	36	95	0	0,2	52
Média	5,9	0,5	5,0	48	282	23	19	8	3	28	29	33	84	2	0,3	50
Camada 2,5-5 cm																
Sem corretivo	4,5	4,2	11,9	32	165	14	6	4	1	11	15	22	47	29	0,3	29
1/4 SMP dregs	4,9	1,8	9,1	21	143	11	12	5	2	17	19	26	65	10	0,2	37
1/2 SMP dregs	5,3	1,0	7,6	25	191	13	13	4	3	18	19	25	70	6	0,2	34
1 SMP dregs	6,0	0,1	4,0	19	190	21	21	4	5	26	26	30	86	0	0,3	33
1/2 SMP calcário	5,5	0,5	6,5	24	168	15	12	10	1	23	24	30	77	3	0,2	36
1 SMP calcário	5,9	0,1	4,3	24	169	15	14	15	1	29	30	34	87	0	0,2	31
Média	5,3	1,3	7,2	24	171	15	13	7	2	21	22	28	72	8	0,2	33
Camada 5-7,5 cm																
Sem corretivo	4,4	4,8	12,5	26	150	10	4	4	1	8	13	21	40	37	0,2	27
1/4 SMP dregs	4,7	3,5	10,9	21	121	12	9	4	2	12	16	23	53	22	0,2	28
1/2 SMP dregs	4,9	2,3	9,6	16	150	14	10	3	3	14	16	24	59	15	0,3	24
1 SMP dregs	5,5	0,9	6,4	17	148	14	13	4	3	17	18	24	73	4	0,3	30
1/2 SMP calcário	5,0	1,6	9,1	18	149	8	10	7	2	17	18	26	64	9	0,1	27
1 SMP calcário	5,2	0,8	8,0	21	149	12	10	8	1	19	20	27	70	4	0,2	31
Média	5,0	2,3	9,4	20	144	12	9	5	2	15	17	24	60	15	0,2	28
Camada 7,5-10 cm																
Sem corretivo	4,3	5,7	12,5	13	139	10	3	2	1	6	11	18	31	51	0,2	27
1/4 SMP dregs	4,5	4,9	11,6	9	108	15	5	3	2	9	14	20	42	37	0,3	27
1/2 SMP dregs	4,6	4,0	10,8	13	141	13	6	3	2	9	13	20	46	31	0,3	27
1 SMP dregs	4,9	1,9	8,9	13	130	15	10	3	3	14	16	23	61	12	0,3	29
1/2 SMP calcário	4,8	2,8	9,7	12	133	15	6	5	1	11	14	21	54	20	0,3	29
1 SMP calcário	4,9	2,1	9,0	12	126	14	7	5	2	12	14	21	57	15	0,3	29
Média	4,7	3,6	10,4	12	129	14	6	4	2	10	14	21	49	27	0,3	28
Camada 10-15 cm																
Sem corretivo	4,4	6,1	12,2	9	103	27	2	2	1	4	10	16	26	59	0,7	26
1/4 SMP dregs	4,4	5,9	12,1	6	89	12	3	2	1	6	11	18	31	52	0,3	26
1/2 SMP dregs	4,5	5,0	11,7	12	111	18	4	2	2	7	12	18	36	43	0,4	27
1 SMP dregs	4,7	3,9	10,3	7	107	15	7	3	2	10	14	20	49	28	0,3	27
1/2 SMP calcário	4,7	4,5	10,9	10	112	17	4	4	1	9	13	20	45	34	0,4	26
1 SMP calcário	4,6	4,2	10,8	7	95	11	4	3	2	8	12	18	41	35	0,3	27
Média	4,5	4,9	11,3	9	103	17	4	3	2	7	12	18	38	42	0,4	26
Camada 15-20 cm																
Sem corretivo	4,3	6,5	12,7	5	84	15	1	2	1	3	10	16	20	67	0,4	24
1/4 SMP dregs	4,2	6,6	13,2	4	80	18	2	2	1	4	10	17	23	63	0,5	24
1/2 SMP dregs	4,4	6,3	12,9	5	92	17	3	1	2	4	11	17	25	60	0,4	25
1 SMP dregs	4,4	5,7	12,6	4	91	14	3	2	2	5	11	18	29	53	0,3	26
1/2 SMP calcário	4,4	5,5	12,3	5	107	15	3	3	1	6	12	19	34	46	0,3	25
1 SMP calcário	4,4	5,7	12,5	5	82	13	2	3	1	6	11	18	31	51	0,3	25
Média	4,4	6,0	12,7	5	89	15	2	2	1	5	11	17	27	57	0,4	25
Camada 20-25 cm																
Sem corretivo	4,3	6,8	12,8	3	71	15	1	1	1	3	10	16	18	72	0,4	22
1/4 SMP dregs	4,3	6,8	13,1	2	69	20	1	1	1	3	10	16	19	69	0,5	22
1/2 SMP dregs	4,3	6,6	12,9	3	76	16	2	1	1	3	9	16	18	70	0,4	23
1 SMP dregs	4,3	6,7	13,4	3	73	20	2	1	1	4	10	17	21	66	0,5	23
1/2 SMP calcário	4,4	6,3	12,7	4	94	17	2	2	1	4	10	17	24	61	0,4	24
1 SMP calcário	4,3	6,2	12,8	3	70	15	2	2	1	4	10	17	25	60	0,4	24
Média	4,3	6,6	13,0	3	75	17	2	2	1	3	10	16	21	66	0,4	23
Camada 25-30 cm																
Sem corretivo	4,2	6,9	12,7	2	64	13	1	1	0	2	9	15	14	78	0,4	21
1/4 SMP dregs	4,3	7,0	13,0	2	63	22	1	1	1	2	9	15	14	77	0,6	21
1/2 SMP dregs	4,3	7,0	13,1	3	68	20	1	1	1	2	9	15	14	76	0,6	20
1 SMP dregs	4,2	7,1	13,2	2	65	15	1	1	1	3	10	16	18	72	0,4	23
1/2 SMP calcário	4,3	6,7	12,8	3	84	13	1	2	1	3	10	16	19	69	0,4	23
1 SMP calcário	4,4	6,5	12,5	3	72	13	1	1	1	3	10	16	19	69	0,4	24
Média	4,3	6,9	12,9	3	69	16	1	1	1	3	9	15	16	73	0,5	22
Média tratamentos	4,8	4,0	10	15	133	16	7	4	2	11	15	22	46	36	0,3	29

Legenda – pH<sub>água</sub>: pH em água; Al: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; Na: sódio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; Ca/Mg: relação Ca/Mg; SB: soma de bases; CTC<sub>ef</sub>: CTC efetiva; CTC<sub>pH7</sub>: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; SatNa: saturação por sódio; COT: carbono orgânico total.

**Apêndice 3** Média de atributos físicos, por camada, de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Lages-SC, 2009.

Tratamentos	DS Mg m <sup>-3</sup>	PT	Macro	Micro	CC	CAR	APD	GF %	DMG mm	CHS mm h <sup>-1</sup>	RP kPa
Camada 0-5 cm											
Sem corretivo	1,22	0,51	0,10	0,41	0,39	0,11	0,03	52	6,2	37	914
1/4 SMP dregs	1,23	0,51	0,09	0,42	0,41	0,10	0,03	54	6,0	19	1.024
1/2 SMP dregs	1,24	0,51	0,09	0,42	0,40	0,10	0,03	53	6,2	27	851
1 SMP dregs	1,23	0,50	0,08	0,42	0,41	0,09	0,03	51	6,1	20	884
1/2 SMP calcário	1,21	0,52	0,11	0,40	0,39	0,12	0,03	52	6,1	57	718
1 SMP calcário	1,23	0,50	0,08	0,42	0,40	0,10	0,03	53	6,2	16	859
Média	1,23	0,51	0,09	0,42	0,40	0,11	0,03	53	6,1	29	875
Camada 5-10 cm											
Sem corretivo	1,33	0,49	0,07	0,42	0,41	0,08	0,03	58	.	.	2.226
1/4 SMP dregs	1,29	0,50	0,07	0,43	0,41	0,09	0,03	57	.	.	2.267
1/2 SMP dregs	1,29	0,50	0,07	0,43	0,41	0,09	0,02	58	.	.	2.010
1 SMP dregs	1,26	0,51	0,08	0,43	0,41	0,09	0,03	56	.	.	1.709
1/2 SMP calcário	1,26	0,50	0,08	0,42	0,41	0,09	0,03	58	.	.	2.091
1 SMP calcário	1,28	0,49	0,06	0,43	0,42	0,07	0,03	56	.	.	1.751
Média	1,29	0,50	0,07	0,43	0,41	0,09	0,03	57	.	.	2.009
Camada 10-20 cm											
Sem corretivo	1,33	0,48	0,05	0,42	0,41	0,07	0,03	.	.	.	2.288
1/4 SMP dregs	1,28	0,49	0,06	0,43	0,42	0,07	0,03	.	.	.	2.107
1/2 SMP dregs	1,28	0,49	0,06	0,43	0,42	0,08	0,03	.	.	.	1.880
1 SMP dregs	1,29	0,49	0,05	0,44	0,43	0,06	0,03	.	.	.	1.568
1/2 SMP calcário	1,28	0,49	0,07	0,43	0,41	0,08	0,03	.	.	.	2.069
1 SMP calcário	1,27	0,50	0,06	0,44	0,43	0,07	0,03	.	.	.	1.833
Média	1,29	0,49	0,06	0,43	0,42	0,07	0,03	.	.	.	1.958
Camada 20-40 cm											
Sem corretivo	1,34	0,48	0,05	0,42	0,41	0,07	0,03	.	.	.	2.388
1/4 SMP dregs	1,30	0,49	0,06	0,43	0,41	0,08	0,04	.	.	.	2.173
1/2 SMP dregs	1,32	0,49	0,05	0,43	0,42	0,06	0,03	.	.	.	2.035
1 SMP dregs	1,30	0,51	0,07	0,43	0,42	0,09	0,04	.	.	.	1.759
1/2 SMP calcário	1,31	0,49	0,06	0,43	0,42	0,07	0,03	.	.	.	2.023
1 SMP calcário	1,30	0,49	0,05	0,44	0,44	0,06	0,04	.	.	.	1.904
Média	1,31	0,49	0,06	0,43	0,42	0,07	0,03	.	.	.	2.047
Média Tratamentos	1,28	0,50	0,07	0,43	0,41	0,08	0,03	55	6,1	29	1.722

Legenda – DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; CC: capacidade de campo; CAR: capacidade de aeração; APD: água prontamente disponível; GF: grau de flocculação; DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados; CHS: condutividade hidráulica saturada; RP: resistência do solo à penetração.

**Apêndice 4** Média de atributos químicos, por camada, de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

Tratamentos	pH <sub>água</sub>	Al - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	H+Al	P - mg kg <sup>-1</sup> -	K	Na	Ca - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	Mg	Ca/Mg	SB - - - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> - - -	CTC <sub>ef</sub>	CTC <sub>pH7</sub>	V - - - % - - -	m	SatNa	COT g kg <sup>-1</sup>
Camada 0-5 cm																
Sem corretivo	4,9	4,0	19,0	4,8	257	42	4,6	3,6	1	9	13	28	32	32	1,4	51
1/4 SMP dregs	5,6	1,7	11,8	6,2	227	64	13,4	3,1	4	17	19	29	59	10	1,5	48
1/2 SMP dregs	6,0	0,9	9,8	5,4	209	65	18,0	3,9	6	23	24	32	69	5	1,2	50
1 SMP dregs	7,2	0,2	3,4	5,8	306	104	25,4	4,3	7	31	31	34	89	1	1,5	58
1/2 SMP calcário	6,5	0,2	6,4	4,7	265	46	13,4	10,2	2	24	25	31	79	1	0,8	54
1 SMP calcário	7,4	0,1	1,5	1,5	207	57	16,6	13,8	1	31	31	33	96	0	0,8	62
Média	6,3	1,2	8,6	4,7	245	63	15,2	6,5	4	23	24	31	71	8	1,2	54
Camada 5-10 cm																
Sem corretivo	4,6	6,0	19,8	2,0	174	34	1,8	1,3	1	4	10	23	16	63	1,5	50
1/4 SMP dregs	4,8	4,5	17,2	2,6	173	41	5,1	1,6	3	7	12	25	29	43	1,6	49
1/2 SMP dregs	4,9	3,5	17,0	2,0	188	47	6,6	2,1	3	9	13	26	35	29	1,6	49
1 SMP dregs	5,3	1,7	14,9	2,0	309	60	9,8	3,0	3	14	16	29	48	13	1,7	49
1/2 SMP calcário	5,0	3,3	14,9	1,9	224	46	4,9	5,6	1	11	15	26	42	26	1,4	47
1 SMP calcário	5,9	0,4	10,4	1,9	262	47	10,4	8,8	1	20	21	31	67	3	1,0	54
Média	5,1	3,2	15,7	2,1	221	46	6,4	3,8	2	11	14	27	39	29	1,5	50
Camada 10-20 cm																
Sem corretivo	4,7	6,9	20,4	1,4	193	47	0,5	0,5	1	2	9	22	8	80	2,4	42
1/4 SMP dregs	4,5	7,1	19,8	1,0	157	49	0,8	0,5	2	2	9	22	9	79	2,4	39
1/2 SMP dregs	4,7	6,3	20,1	0,5	177	46	1,6	0,8	2	3	9	23	13	68	2,2	42
1 SMP dregs	4,9	6,0	19,7	0,2	239	63	1,5	0,9	2	3	9	23	14	64	2,9	39
1/2 SMP calcário	4,8	6,2	18,9	0,7	160	54	1,4	1,6	1	4	10	23	16	65	2,4	39
1 SMP calcário	5,0	4,0	18,8	0,6	202	51	4,3	5,3	1	10	14	29	34	32	1,6	46
Média	4,8	6,1	19,6	0,7	188	52	1,7	1,6	1	4	10	24	16	65	2,3	41
Camada 20-40 cm																
Sem corretivo	4,6	6,6	18,0	0,0	87	55	0,2	0,2	1	1	7	19	4	89	3,2	25
1/4 SMP dregs	4,6	6,4	18,2	0,1	72	48	0,7	0,2	3	1	8	19	7	83	2,7	27
1/2 SMP dregs	4,8	6,0	17,7	0,0	73	37	1,5	0,2	8	2	8	20	10	76	2,0	27
1 SMP dregs	5,1	5,2	16,9	0,0	106	55	3,1	0,5	8	4	9	21	19	58	2,6	28
1/2 SMP calcário	4,7	5,9	16,8	0,0	86	41	0,5	0,6	1	2	7	18	8	80	2,4	25
1 SMP calcário	5,0	4,4	16,6	0,0	134	31	2,8	2,6	1	6	10	23	24	49	1,3	29
Média	4,8	5,8	17,4	0,0	93	45	1,5	0,7	4	3	8	20	12	73	2,4	27
Média tratamentos	5,2	4,1	15,3	1,9	187	51	6,2	3,1	3	10	14	25	34	44	1,8	43

Legenda – pH<sub>água</sub>: pH em água; Al: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; Na: sódio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; Ca/Mg: relação Ca/Mg; SB: soma de bases; CTC<sub>ef</sub>: CTC efetiva; CTC<sub>pH7</sub>: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; SatNa: saturação por sódio; COT: carbono orgânico total.



**Apêndice 5** Média de atributos físicos, por camada, de um Cambissolo Húmico alítico corrigido com doses de dregs e calcário, aplicadas em superfície em 2004/2006. Bocaina do Sul-SC, 2010.

Tratamentos	DS Mg m <sup>-3</sup>	PT	Macro	Micro	CC	CAR	APD	Argila g kg <sup>-1</sup>	GF %	DMG mm	CHS mm h <sup>-1</sup>	RP kPa
Camada 0-5 cm												
Sem corretivo	0,87	0,70	0,23	0,48	0,45	0,25	0,05	359	84	4,1	203	363
1/4 SMP dregs	0,89	0,70	0,21	0,49	0,47	0,23	0,06	343	81	4,8	159	365
1/2 SMP dregs	0,88	0,70	0,23	0,47	0,45	0,25	0,05	327	76	4,2	209	361
1 SMP dregs	0,89	0,69	0,24	0,45	0,44	0,25	0,04	284	75	4,7	429	391
1/2 SMP calcário	0,90	0,70	0,23	0,47	0,45	0,24	0,06	325	79	4,3	117	342
1 SMP calcário	0,87	0,70	0,22	0,48	0,46	0,24	0,04	270	76	3,6	249	373
Média	0,88	0,70	0,23	0,47	0,45	0,25	0,05	318	79	4,3	228	366
Camada 5-10 cm												
Sem corretivo	0,90	0,67	0,21	0,47	0,45	0,23	0,06	340	88	5,3	119	690
1/4 SMP dregs	0,87	0,69	0,22	0,47	0,44	0,25	0,06	339	85	5,5	176	690
1/2 SMP dregs	0,93	0,67	0,19	0,48	0,47	0,20	0,05	343	84	5,0	143	701
1 SMP dregs	0,93	0,67	0,19	0,48	0,47	0,20	0,05	341	85	5,4	125	743
1/2 SMP calcário	0,94	0,67	0,19	0,48	0,46	0,21	0,07	340	86	5,2	93	691
1 SMP calcário	0,94	0,66	0,17	0,50	0,48	0,18	0,05	328	81	5,1	114	711
Média	0,92	0,67	0,19	0,48	0,46	0,21	0,06	338	85	5,2	128	704
Camada 10-20 cm												
Sem corretivo	0,90	0,67	0,19	0,48	0,46	0,21	0,06	.	.	4,6	72	796
1/4 SMP dregs	0,91	0,69	0,20	0,48	0,46	0,23	0,05	.	.	4,6	136	831
1/2 SMP dregs	0,92	0,68	0,20	0,48	0,46	0,22	0,06	.	.	4,9	111	817
1 SMP dregs	0,93	0,67	0,18	0,49	0,47	0,20	0,05	.	.	4,4	160	831
1/2 SMP calcário	0,85	0,69	0,23	0,46	0,44	0,25	0,05	.	.	4,9	184	819
1 SMP calcário	0,93	0,67	0,17	0,50	0,48	0,19	0,05	.	.	4,7	64	822
Média	0,91	0,68	0,19	0,48	0,46	0,22	0,05	.	.	4,7	121	819
Média tratamentos	0,90	0,68	0,20	0,48	0,46	0,22	0,05	328	82	4,7	159	630

Legenda – DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; CC: capacidade de campo; CAR: capacidade de aeração; APD: água prontamente disponível; GF: grau de flocculação; DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados; CHS: condutividade hidráulica saturada; RP: resistência do solo à penetração.

**Apêndice 6** Média de atributos químicos, por camada, de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.

Tratamentos	pH <sub>água</sub>	Al - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	H+Al	P - mg kg <sup>-1</sup> -	K	Na	Ca - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -	Mg	Ca/Mg	SB	CTC <sub>ef</sub> - - cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> - -	CTC <sub>pH7</sub>	V m - - - % - - -	SatNa	COT g kg <sup>-1</sup>	
Camada 0-5 cm																
Testemunha	4,2	7,7	11,1	10	95	36	4,5	1,4	4	6	14	17	32	61	1,1	14
Dregs	7,0	0,0	2,3	5	134	51	16,6	1,4	13	19	19	21	89	0	1,2	11
Calcário	7,3	0,0	1,0	2	114	47	10,7	5,9	2	17	17	18	95	0	1,2	12
Calcário+braquiária	7,7	0,0	0,7	18	122	55	13,5	7,2	2	21	21	22	97	0	1,1	21
Calcário+braquiária+Cama	7,7	0,0	0,6	26	110	48	12,2	6,6	2	19	19	20	97	0	1,1	14
Média	6,8	1,5	3,1	12	115	47	11,5	4,5	5	16	18	20	82	12	1,2	14
Camada 5-10 cm																
Testemunha	4,1	7,9	9,6	0	81	36	2,5	1,0	2	4	12	13	26	70	1,4	4
dregs	6,9	0,0	1,8	1	87	49	16,2	1,1	16	18	18	20	90	0	1,2	5
Calcário	6,3	2,1	3,3	1	83	36	9,6	5,7	2	16	18	19	82	13	0,9	2
Calcário+braquiária	6,8	0,1	1,7	5	84	51	11,8	6,5	2	19	19	20	92	1	1,2	6
Calcário+braquiária+Cama	5,9	0,0	2,9	16	87	44	12,0	6,6	2	19	19	22	87	0	1,0	7
Média	6,0	2,0	3,9	5	85	43	10,4	4,1	5	15	17	19	75	17	1,1	5
Média tratamentos	6,4	1,8	3,5	8	100	45	11,0	4,3	5	16	18	19	79	15	1,1	10

Legenda – Cama: cama de aviário; pH<sub>água</sub>: pH em água; Al: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; Na: sódio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; Ca/Mg: relação Ca/Mg; SB: soma de bases; CTC<sub>ef</sub>: CTC efetiva; CTC<sub>pH7</sub>: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; SatNa: saturação por sódio; COT: carbono orgânico total.

**Apêndice 7** Média de atributos físicos, por camada, de um solo reconstruído com tratamentos aplicados em 2001/2004. Lauro Müller-SC, 2010.

Tratamentos	Areia ----- g kg <sup>-1</sup> -----	Silte	Argila	GF %	DP - Mg m <sup>-3</sup> -	DS	PT	Macro	Micro ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	CC	CAR	APD	DMG mm	RP kPa
Camada 0-5 cm														
Testemunha	352	372	276	73	2,59	1,34	0,54	0,14	0,41	0,39	0,16	0,07	4,9	1.077
Dregs	349	393	258	8	2,54	1,34	0,53	0,13	0,40	0,39	0,14	0,05	5,6	1.185
Calcário	334	400	266	13	2,60	1,35	0,53	0,09	0,45	0,43	0,10	0,05	5,9	739
Calcário+braquiária	331	416	253	13	2,58	1,23	0,57	0,12	0,45	0,44	0,13	0,06	5,6	401
Calcário+braquiária+Cama	311	416	273	17	2,60	1,21	0,57	0,08	0,49	0,48	0,10	0,05	6,1	452
Média	335	400	265	26	2,58	1,29	0,55	0,11	0,44	0,42	0,13	0,06	5,6	771
Camada 5-10 cm														
Testemunha	368	373	259	99	2,69	1,41	0,50	0,10	0,41	0,39	0,11	0,04	5,5	1.526
Dregs	345	409	246	48	2,66	1,42	0,51	0,10	0,42	0,40	0,11	0,05	4,6	1.648
Calcário	318	410	272	39	2,62	1,45	0,51	0,07	0,44	0,43	0,08	0,03	4,4	1.066
Calcário+braquiária	301	420	279	71	2,59	1,35	0,52	0,08	0,44	0,43	0,09	0,04	5,5	669
Calcário+braquiária+Cama	308	425	267	40	2,72	1,36	0,52	0,06	0,46	0,45	0,06	0,05	4,4	762
Média	328	407	265	60	2,66	1,40	0,51	0,08	0,43	0,42	0,09	0,04	4,9	1.134
Média tratamentos	332	403	265	43	2,62	1,35	0,53	0,10	0,44	0,42	0,11	0,05	5,3	952

Legenda – Cama: cama de aviário; GF: grau de flocculação; DP: densidade de partículas; DS: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; CC: capacidade de campo; CAR: capacidade de aeração; APD: água prontamente disponível; DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados; RP: resistência do solo à penetração.