



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

FRANCISCO CARLOS MAINARDES DA SILVA

**CALAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA COM  
E SEM A ADOÇÃO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

---

Londrina  
2014

FRANCISCO CARLOS MAINARDES DA SILVA

**CALAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA COM  
E SEM A ADOÇÃO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito final à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho.

Londrina  
2014

**Catálogo na publicação elaborada pela Bibliotecária**

**Neide Maria Jardinette Zaninelli / CRB-9/884.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

S586c Silva, Francisco Carlos Mainardes da.

Calagem em sistemas de produção agrícola com e sem a adoção da integração lavoura-pecuária / Francisco Carlos Mainardes da Silva. – Londrina, 2014.  
113 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014.

Inclui bibliografia e Artigo.

1. Brachiaria ruziziensis – Teses. 2. Plantio direto – Teses. 3. Mobilidade de ions – Teses. 4. ILP – Teses. I. Tavares Filho, João. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 631.543.3

FRANCISCO CARLOS MAINARDES DA SILVA

**CALAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA COM E SEM  
A ADOÇÃO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito final à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Ricardo Ralish  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando  
Universidade Estadual do Norte do Paraná -  
UENP

---

Prof. Dr. Luiz Guilherme Sachs  
Universidade Estadual do Norte do  
Paraná - UENP

Londrina, 11 de setembro de 2014.

Dedico este trabalho às minhas netas  
Manuela e Catarina a quem, em  
oração, peço a Deus para abençoá-las  
e conduzi-las pelos caminhos da vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar nosso agradecimento à Deus, que pela sua graça nos concedeu a oportunidade, saúde, proteção e piedade.

Agradecemos ao Prof. Dr. João Tavares Filho, da UEL, que com seu saber científico e abalizada orientação possibilitou que este trabalho fosse concluído.

Agradecemos aos Professores Doutores Luís Guilherme Sachs, da UENP, e Inês Cristina Batista Fonseca, da UEL, pelo auxílio prestado na estatística e pelo grande incentivo para que não esmorecêssemos diante das dificuldades encontradas.

Agradecemos também ao Técnico de Laboratório Gilberto Bueno Demétrio, da UENP, Esmeralda Aparecida Soares Garcia, Auxiliar de Laboratório, da UENP e aos acadêmicos Cleber Gabriel Matyak e Rodrigo Domiciano Marques, da UENP, e Renan Mainardes, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)/ unidade de Cornélio Procopio-PR, que não mediram esforços para nos ajudar na condução do experimento em nível de campo e ou análises de laboratório e ou na confecção de gráficos e tabelas.

Agradecemos ainda a Fundação Araucária, pela concessão de bolsa e a Universidade Estadual do Norte do Paraná pela liberação de expediente de trabalho, providencias sem a quais o doutorado seria impossível.

Agradecemos ainda aos integrantes da banca de qualificação e tese, que de forma desprendida se propuseram a avaliar, a corrigir e sugerir para que os trabalhos alcançassem o nível desejado. Agradecemos, ainda, àqueles que indiretamente e de forma anônima contribuíram para a realização desses trabalhos.

A todos nossos mais sinceros agradecimentos.

SILVA, Francisco Carlos Mainardes da. **Calagem em sistemas de produção agrícola com e sem a adoção da integração lavoura-pecuária**. 2014. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2014.

## RESUMO

Na região de inverno quente e seco do norte do Paraná, a insuficiência na disponibilidade hídrica do solo não permite obter-se no SPD os benefícios plenos da manutenção permanente da palhada na superfície do solo e por vezes sequear o plantio das culturas de cobertura. Um outro problema que afeta o SPD, é que o corretivo agrícola não sendo incorporado, tende a concentrar-se nos primeiros centímetros da superfície do solo, podendo trazer ao longo do tempo as consequências da “supercalagem”, principalmente deficiência nutricional de micronutrientes e abaixo desta camada a manutenção de níveis tóxicos de Al e Mn, baixo pH e baixos teores de Ca e Mg. Dessa forma, visando condicionar melhor ambiente para crescimento radicular para minimizar tais problemas, objetivou-se testar dois sistemas de produção agrícola, ambos associados à aplicação de diferentes doses de calcário. Um deles consistindo, no 1º ano agrícola, em área com pousio, após cultivo de milho, e, no 2º ano agrícola, em soja sucedida por pousio. O outro, consistindo, no 1º ano agrícola, em área com *Brachiaria ruziziensis*, remanescente de consórcio com a cultura do milho, e, no 2º ano agrícola, em soja consorciada com *Brachiaria ruziziensis*, permanecendo vegetando esta forrageira após a colheita do soja (ILP). Para tanto foi conduzido um experimento em um Latossolo Vermelho, textura muito argilosa, localizado em área agrícola de plantio direto, do Município de Bandeirantes-PR. A calagem foi realizada após a colheita do milho para elevar a saturação por bases (V%) à 65%, 75% e 90%, sendo mantida uma parcela por bloco sem calagem (testemunha). Foram realizadas duas amostragens do solo, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, ambas 50 dias após a dessecação da brachiaria, respectivamente uma semana antes do plantio da soja (safra 2012/2013) e do milho (safra 2013/2014). O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas em blocos casualizados com 4 repetições e 4 parcelas/bloco, sendo avaliados: pH em CaCl<sub>2</sub>, MOS, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, P e CTC a pH 7,0. Os resultados obtidos permitiram concluir que os efeitos do calcário foram estendidos em profundidade e ao longo do tempo através dos mecanismos de mobilização de íons no solo, promovendo redução da MOS e teores de Al<sup>3+</sup>, bem como aumento no pH e teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>; a ILP promoveu aumento no teor de K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, esgotou os teores de P e não aumentou os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>; no 1º ano agrícola a adoção da ILP não teve efeito na MOS mas no 2º ano agrícola impediu que houvesse um maior decréscimo desta variável; a extensão dos efeitos da calagem em profundidade e melhoria no ambiente radicular em função dos tratamentos somente foi observada parcialmente nas mudanças verificadas nos atributos químicos estudados.

**Palavras-chave:** *Brachiaria ruziziensis*. ILP. Plantio direto. Mobilidade de íons.

SILVA, Francisco Carlos Mainardes da. **Limestone in agricultural production systems with and without the adoption of crop-livestock integration**. 2014. 113 p. Thesis (Doctorate Thesis) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2014.

## ABSTRACT

In the region of warm, dry winter from northern Paraná, the shortfall in water availability of the soil lets not get yourself in SPD the full benefits of the ongoing maintenance of mulch on the soil surface and sometimes even the planting of cover crops. Another problem that affects the SPD, is that agricultural concealer being unincorporated, tends to concentrate in the first centimeters of the soil surface and can bring over time the consequences of "overliming", mainly nutritional deficiency of micronutrients and below this layer the maintenance of toxic levels of Al and Mn, low pH and low Ca and Mg. Thus, aiming to condition better environment for root growth to minimize such problems, this study aimed to test two systems of agricultural production, both associated with the application of different doses of lime. One consisting in the 1st growing season in the area fallow after cultivation of corn, and in the 2nd growing season in successful soybean per fallow. The other, consisting of the 1st growing season in the area with *Brachiaria ruziziensis*, reminiscent of intercropped with corn, and in the 2nd growing season in soybean intercropped with *Brachiaria ruziziensis*, vegetating this forage remaining after harvest of soybean (ILP). For such an experiment was conducted on a Red Oxissol, clayey, located in the agricultural area of no-tillage system, the Municipality of Bandeirantes-PR. Liming was performed after the corn harvest to raise the base saturation (V %) to 65%, 75% and 90%, a portion of the block without liming (witness) being maintained. Two soil samples were taken at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm, both 50 days after desiccation brachiaria, respectively the week before soybean planting (harvest 2012/2013) and maize (harvest 2013/2014). The experimental design was a split plot in a randomized complete block design with four replications and four plots / block being evaluated: pH in CaCl<sub>2</sub>, MOS, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, P and CEC at pH 7,0. The results showed that the effects of limestone were extended in depth and over time through the mechanisms of mobilization of ions in the soil, mainly the reduction of MOS and levels of Al<sup>3+</sup>, as well as increase in pH and Ca<sup>2+</sup>, and Mg<sup>2+</sup>; ILP promoted an increase in the content of Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, sold the P levels and did not increase the levels of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup>; 1st year in agricultural adoption of ILP had no effect on MOS but the 2nd growing season prevented that there was a greater decrease in this variable; the extent of the effects of liming in depth and improve root environment in the treatments was only partially observed on changes in chemical properties studied.

**Keywords:** *Brachiaria ruziziensis*. ILP. No-tillage system. Mobility of ions

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b>	Coeficientes de correlação de Pearson (r) - sistema de produção agrícola sem brachiaria 234 dac.....	52
<b>Tabela 2-</b>	Coeficientes de correlação de Pearson (r) - sistema de produção agrícola com brachiaria 234 dac.....	53
<b>Tabela 3 -</b>	Coeficientes de correlação de Pearson (r) - sistema de produção agrícola sem brachiaria 582 dac.....	54
<b>Tabela 4 -</b>	Coeficientes de correlação de Pearson (r) - sistema de produção agrícola com brachiaria 582 dac.....	55
<b>Tabela 5 -</b>	Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o pH do solo .....	61
<b>Tabela 6 -</b>	Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de MOS (g kg <sup>-1</sup> ).....	66
<b>Tabela 7 -</b>	Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de Ca <sup>2+</sup> ( cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ).....	67
<b>Tabela 8 -</b>	Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de Mg <sup>2+</sup> ( cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ).....	73
<b>Tabela 9 -</b>	Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de K <sup>+</sup> ( cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) .....	83
<b>Tabela 10 -</b>	Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de P (mg dm <sup>-3</sup> ).....	88
<b>Tabela 11 -</b>	Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de Al <sup>3+</sup> ( cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) .....	94
<b>Tabela 12 -</b>	Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre a CTC à pH 7,0( cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) .....	101

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	56
<b>Figura 2 -</b>	Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	56
<b>Figura 3 -</b>	Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	58
<b>Figura 4 -</b>	Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	60
<b>Figura 5 -</b>	Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	60
<b>Figura 6 -</b>	Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	60
<b>Figura 7 -</b>	Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	62
<b>Figura 8 -</b>	Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	63
<b>Figura 9 -</b>	Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	64
<b>Figura 10 -</b>	Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	64
<b>Figura 11 -</b>	Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	65
<b>Figura 12 -</b>	Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	65
<b>Figura 13 -</b>	Variação do teor de $\text{Ca}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	69
<b>Figura 14 -</b>	Variação do teor de $\text{Ca}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	69
<b>Figura 15 -</b>	Variação do teor de $\text{Ca}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	70
<b>Figura 16 -</b>	Variação do teor de $\text{Ca}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	71

<b>Figura 17 -</b>	Variação do teor de $\text{Ca}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	71
<b>Figura 18 -</b>	Variação do teor de $\text{Ca}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	72
<b>Figura 19 -</b>	Variação do teor de $\text{Mg}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	74
<b>Figura 20 -</b>	Variação do teor de $\text{Mg}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	75
<b>Figura 21 -</b>	Variação do teor de $\text{Mg}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	75
<b>Figura 22 -</b>	Variação do teor de $\text{Mg}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	76
<b>Figura 23 -</b>	Variação do teor de $\text{Mg}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	76
<b>Figura 24 -</b>	Variação do teor de $\text{Mg}^{2+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	77
<b>Figura 25 -</b>	Variação do teor de $\text{K}^+$ por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	77
<b>Figura 26 -</b>	Variação do teor de $\text{K}^+$ por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	78
<b>Figura 27 -</b>	Variação do teor de $\text{K}^+$ por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	80
<b>Figura 28 -</b>	Variação do teor de $\text{K}^+$ por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	80
<b>Figura 29 -</b>	Variação do teor de $\text{K}^+$ por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	81
<b>Figura 30 -</b>	Variação do teor de $\text{K}^+$ por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	81
<b>Figura 31 -</b>	Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	84
<b>Figura 32 -</b>	Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	85
<b>Figura 33 -</b>	Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	85

<b>Figura 34 -</b>	Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	86
<b>Figura 35 -</b>	Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	86
<b>Figura 36 -</b>	Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	87
<b>Figura 37 -</b>	Variação do teor de $Al^{3+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	89
<b>Figura 38 -</b>	Variação do teor de $Al^{3+}$ disponível por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	90
<b>Figura 39 -</b>	Variação do teor de $Al^{3+}$ por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	91
<b>Figura 40 -</b>	Variação do teor de $Al^{3+}$ disponível por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	92
<b>Figura 41 -</b>	Variação do teor de $Al^{3+}$ disponível por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	93
<b>Figura 42 -</b>	Variação do teor de $Al^{3+}$ disponível por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	94
<b>Figura 43 -</b>	Variação da CTC à pH 7,0 por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm .....	99
<b>Figura 44 -</b>	Variação da CTC à pH 7,0 por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm .....	100
<b>Figura 45 -</b>	Variação da CTC à pH 7,0 por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm .....	100

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ILP	Integração Lavoura-Pecuária
AOBMM	Ácidos Orgânicos de Baixa Massa Molecular
SPD	Sistema de Plantio Direto
MOS	Matéria Orgânica do Solo
SILP	Sistema de Integração Lavoura-Pecuária
SB	Soma de Bases
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
V%	Porcentagem de Saturação por Bases
DAC ou dac	Dias após a calagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
2.1	A CORREÇÃO DO SOLO NO SPD.....	18
2.2	A MOBILIDADE DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA PRESENÇA DE RESÍDUOS VEGETAIS NA SUPERFÍCIE .....	24
2.3	A INFLUÊNCIA DAS FORRAGEIRAS PERENES NO GRAU DE FERTILIDADE, DINÂMICA E CICLAGEM DE NUTRIENTES .....	28
2.4	A INFLUÊNCIA DAS FORRAGEIRAS PERENES NA PRODUÇÃO DE PALHADA NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO E SUA COMPETIÇÃO COM AS CULTURAS GRANÍFERAS EM CONSÓRCIO .....	30
2.5	ESTABELECIMENTO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA .....	32
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>ARTIGO - CALAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA COM E SEM A ADOÇÃO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA</b> .....	<b>42</b>
	<b>Resumo</b> .....	<b>43</b>
	<b>Abstract</b> .....	<b>44</b>
	<b>Introdução</b> .....	<b>45</b>
	<b>Material e Métodos</b> .....	<b>50</b>
	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>51</b>
	<b>Ph</b> .....	<b>55</b>
	<b>Matéria orgânica do solo</b> .....	<b>62</b>
	<b>Cálcio</b> .....	<b>67</b>
	<b>Magnésio</b> .....	<b>72</b>
	<b>Potássio</b> .....	<b>73</b>
	<b>Fósforo</b> .....	<b>84</b>
	<b>Alumínio</b> .....	<b>88</b>
	<b>Capacidade de troca catiônica à pH 7,0</b> .....	<b>95</b>

<b>Considerações Finais</b> .....	102
<b>Conclusões</b> .....	103
<b>Referências</b> .....	104
<b>ANEXOS</b> .....	108
ANEXO A - Tabela 13- Caracterização do estado inicial de fertilidade do solo da área experimental.....	109
ANEXO B - Tabela 14 - Características do calcário utilizado nos tratamentos .....	113

## 1 INTRODUÇÃO

É cada vez menor a possibilidade de expansão de área para a agropecuária em regiões temperadas e/ou subtropicais do planeta. A oferta futura de alimentos para atender a crescente demanda populacional será decorrente dos ganhos em produtividade e ou da ocupação e/ou recuperação das áreas agrícolas, virgens ou degradadas, nas regiões tropicais (KLUTHCOUSCI et al., 2004).

Assim, o desenvolvimento sustentável representa um dos desafios para a humanidade, no sentido de aprimorar sistemas de produção que proporcionem maior produtividade, com preservação dos recursos naturais, como solo e água (CECCON et al., 2008).

Produzir de forma sustentável é reduzir os custos da atividade agropecuária e evitar desperdícios de energia e de matéria prima. É aumentar a produtividade e a competitividade do capital e do trabalho e abrir novos mercados, criando empregos de qualidade e incrementando a lucratividade. De nada adianta exaltar a função do setor produtivo de suprir a sociedade com bens de consumo se, durante o processo de produção, são distribuídos prejuízos ambientais e sociais. Os setores produtivos devem estar cada vez mais cientes da importância do ambiente como fonte de recursos e também como demandante de novas tecnologias, o que exige sistemas eficazes de gestão e produção (KLUTHCOUSCI; AIDAR, 2003).

No Brasil, Kluthcouski e Aidar (2003), Macedo (2009) e Borghi (2007) vêem no Sistema de Plantio Direto o grande responsável pelo significativo aumento da produtividade e a continuidade da exploração agrícola dos solos brasileiros.

Alvarenga et al. (2001), inclusive, consideram-no como a maior inovação tecnológica da agricultura no fim do milênio, que vive, nos dias atuais, o seu aprimoramento em função das condições regionais e até mesmo locais em que é praticado, ou seja, cria identidade regional, conforme a oferta ambiental de fatores de crescimento.

Borghi (2007) ressalta que para a implantação e condução desse sistema de maneira sustentável, é indispensável a rotação de culturas de forma a proporcionar a manutenção permanente de quantidade mínima de massa vegetal na superfície do solo. Alvarenga et al. (2001) nesse sentido afirmam que grande parte do sucesso deste sistema reside no fato de que a palha deixada por culturas de

cobertura sobre a superfície do solo, somado aos resíduos das culturas comerciais, cria um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal e contribui para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção da qualidade do solo.

O desafio de conduzir o SPD de forma sustentável, portanto, passa pela busca por plantas de cobertura do solo adaptadas aos diferentes ambientes edafoclimáticos e que se ajustem melhor aos sistemas de rotação, inclusive sob o ponto de vista de rentabilidade econômica e capitalização do produtor.

Nesse contexto é que se expande cada vez mais a integração lavoura-pecuária, uma vez que, conforme enfatiza Mello et al. (2004), é uma prática que tem contribuído para a viabilização econômica das propriedades rurais e para o próprio plantio direto, a qual pode ser definida como sendo o sistema que integra as duas atividades com objetivos de maximizar racionalmente o uso da terra, da infraestrutura e da mão-de-obra, diversificar e verticalizar a produção, minimizar custos, diluir os riscos e agregar valores aos produtos agropecuários, por meio de recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra.

Alvarenga et al. (2006), definem a ILP (integração lavoura-pecuária) de forma semelhante, afirmando que essa prática se caracteriza pela diversificação, rotação, consorciação e/ou sucessão das atividades agrícolas e pecuárias dentro da propriedade rural, de forma harmônica, constituindo um mesmo sistema, de tal maneira que há benefícios para ambas.

Esses autores citam como uma das principais vantagens deste sistema, possibilitar que o solo seja explorado economicamente durante todo o ano ou, pelo menos, na maior parte dele, favorecendo o aumento da oferta de grãos, de fibras, de lã, de carne, de leite e de agroenergia a custos mais baixos, devido ao sinergismo que se cria entre a lavoura e a pastagem.

Dentre as alternativas de ILP, Kluthcousci et al. (2004) enfatizam que em solos corrigidos, sob exploração de lavouras, visa-se principalmente a produção forrageira para a entressafra. Por tratar-se de áreas destinadas à produção de grãos, as opções de integração não devem interferir no cronograma de atividades e de exploração das culturas anuais no período de verão. No consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de produção de grãos das principais culturas anuais, denominado Sistema Santa Fé, são possíveis as associações de milho e

sorgo, graníferos e forrageiros, com *Brachiaria* spp e *Panicum* spp, e soja com *Brachiaria* spp.

Klutchcousci e Aidar (2003) afirmam que nesse sistema, as culturas anuais apresentam grande performance de desenvolvimento inicial, exercendo com isto alta competição sobre as forrageiras, evitando assim redução significativa nas suas capacidades produtivas de grãos. Os principais objetivos do Sistema Santa Fé são a produção forrageira para a entressafra e palhada em quantidade e qualidade para o SPD. Este sistema apresenta grandes vantagens, pois não altera o cronograma de atividades do produtor, é de baixo custo e não exige equipamentos especiais para sua implantação. O consórcio é estabelecido anualmente, podendo ser implantado simultaneamente ao plantio da cultura anual ou cerca de 10 a 20 dias após a emergência desta.

Franchini et al. (2009) também enfatizam que o emprego de forragens tropicais em sistemas de integração lavoura-pecuária, constitui-se em uma excelente opção para a produção de palha e raízes e, dessa forma, melhorar a eficiência de uso da água.

Uma maior disponibilidade em água para os cultivos, por si só seria um benefício que por certo já justificaria a introdução das forrageiras tropicais num sistema de integração lavoura-pecuária no norte do Paraná. Isso em razão dos períodos de estresse hídrico cada vez mais frequentes durante o ciclo de produção das culturas de verão nessa região (FRANCHINI et al., 2009).

Vilela et al. (2003), contudo, à par das vantagens elencadas, enfatizam ainda que as pastagens podem reciclar nutrientes de camadas mais profundas, graças à abundância e profundidade de exploração de suas raízes. Simultaneamente, as pastagens são ótimas acumuladoras de biomassa no perfil do solo e na parte aérea, praticamente em todo o período em que não houver restrições climáticas e, por isso, enriquecem o solo com matéria orgânica. Ademais, as principais forrageiras tropicais, principalmente as gramíneas, não tem sido atacadas por muitas pragas e doenças comuns nas plantas cultivadas, por isso quebram o seu ciclo. Sendo assim na integração destas atividades, pode-se dizer que existe uma troca natural de benefícios, no sentido de recuperar as propriedades degradadas pelas explorações isoladas.

A adoção da ILP, assim, pode representar a condução do SPD de forma sustentável, superando sobretudo o problema da deficiente manutenção da

palhada superficial. Dessa forma, as culturas graníferas poderão dispor de mais água e ficarem menos susceptíveis aos efeitos dos veranicos, e os solos menos susceptíveis ao processo erosivo. Por outro lado, a palhada da brachiaria potencialmente também pode auxiliar na extensão dos efeitos do calcário em profundidade (corrigir o pH, insolubilizar  $Al^{3+}$  e elevar os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ) e, assim, superar os malefícios da “supercalagem”.

Dessa forma, resta claro que necessário se faz produzir mais pesquisas locais sobre a ILP com vistas a exploração das potencialidades desse sistema tendo por objetivo o aumento da produtividade, produção sustentada e preservação do meio ambiente. E isso uma vez que, não obstante as vantagens relatadas, a adoção da ILP no norte do Paraná ainda é bastante incipiente e tem recebido pouca atenção.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CORREÇÃO DO SOLO NO SPD

Quando se aplica o calcário na superfície do solo no SPD, a tendência é que os seus efeitos se restrinjam à camada mais superficial, dada a sua relativa imobilidade no solo (GONZALEZ-ERICO et al., 1979; MIYAZAWA; PAVAN; FRANCHINI, 2000).

Assim, ao longo do tempo haverá excesso de produtos da solubilização do calcário na superfície podendo elevar exageradamente o pH do solo, caracterizando o que se conhece por “supercalagem” (PRADO, 2003). Isso ocasiona prejuízos à absorção de diversos nutrientes do solo, como P, Zn, Fe, Cu, Mn, bem como à mineralização da MOS, etc, sendo essa condição tão prejudicial quanto a acidez elevada, com o agravante de ser muito mais difícil corrigi-la, (QUAGGIO, 2000; PRADO, 2003; SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007; ABREU; LOPES; SANTOS, 2007).

A “supercalagem” também pode favorecer a dispersão da argila, o que compromete a qualidade física do solo. Isso pela redução da permeabilidade e conservação do solo, já que a argila dispersa em água pode “selar” macroporos, reduzir a porosidade total, aumentar a densidade global, dar início ao processo de formação de crostas superficiais no terreno, reduzindo a condutividade hidráulica e aumentando o escoamento superficial do solo (CASTRO FILHO; LOGAN, 1991). Ademais, considerando que os solos tropicais estão sujeitos a chuvas de grande intensidade, as partículas unitárias do solo podem ser facilmente transportadas pelas enxurradas, no processo erosivo, ocasionando perda de nutrientes e água do sistema de produção, reduzindo a fertilidade do solo e o potencial produtivo da área agrícola (TAVARES FILHO, 1987).

A dispersão da argila decorre do aumento do pH provocando o aumento da carga líquida negativa do solo e, assim, repulsão entre os colóides, aumentando a argila dispersa em água (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006; ALBUQUERQUE et al., 2000, 2003; CORRÊA et al., 2009).

Outra causa do aumento da argila dispersa em água é que, com a calagem,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  determinam a substituição do  $\text{Al}^{3+}$  no complexo de troca, e em

razão de possuírem raio de hidratação maior que o  $\text{Al}^{3+}$ , provocam o aumento da espessura da dupla camada difusa junto à superfície das partículas coloidais. Assim, aumenta a distância entre elas, o que impede a manifestação das forças de atração de curto alcance, vindo a favorecer a dispersão do sistema, conforme relatado nos trabalhos de Spera et al. (2008) e Prado (2003). Nesse sentido, Alleoni et al. (2009b) afirmam que o aumento da força iônica da solução (em razão da calagem, por exemplo) favorece a dessorção de  $\text{Al}^{3+}$  (por troca catiônica) e de  $\text{H}^+$  (graças à diminuição de sua atividade na solução do solo) da superfície de troca dos colóides do solo, situação que enseja o aumento da densidade de cargas negativas no solo e potencial elétrico da camada de Stern.

A tendência inversa, ou seja, de flocular as argilas e diminuir o grau de dispersão, o que favorece a atuação das forças de van der Waals-London e aumenta a estabilidade entre agregados (RIBEIRO; BARROS; FREIRE, 2009), está ligada ao aumento da concentração eletrolítica da solução e teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , que em dado patamar tende a diminuir a espessura da dupla camada difusa (ALLEONI et al., 2009a, CHAVES et al., 1997; ROTH; PAVAN, 1991; PRADO, 2003; RIBEIRO; BARROS; FREIRE, 2009). Isso ocorre, uma vez que a espessura da dupla camada difusa é inversamente proporcional à concentração eletrolítica da solução do solo e ao quadrado da valência do ion envolvido no sistema (RIBEIRO; BARROS; FREIRE, 2009).

No estudo de Jucksch (1987 apud PRADO, 2003), no mesmo sentido foi verificado que com o aumento das doses de calcário houve um aumento e posterior redução da argila dispersa em água, tendo este autor explicado o aumento inicial pela neutralização dos cátions trivalentes, favorecendo a expansão da dupla camada difusa. Já a redução, pelo aumento da concentração eletrolítica da solução, conforme os níveis de calcário aplicado, o que provocou a floculação dos colóides em razão da compressão da dupla camada difusa.

Assim, os efeitos da “supercalagem” nos percentuais de argila dispersa em água não são conclusivos, uma vez que na literatura encontram-se registros de aumento e diminuição deste atributo em função da calagem. E, mesmo quando há aumento, isso pode não significar, necessariamente, desagregação do solo, como observaram Albuquerque et al. (2003, 2000), Dal Bianco et al. (2007). Corroborando com esta conclusão pode ser referenciado o trabalho de Barbosa e Tavares Filho (2006) que, estudando argila dispersa em água em amostras de

Latossolos Vermelhos incubados com lodo de esgoto com e sem adição de calcário, concluíram, para um solo de textura argilosa, que a adição de lodo de esgoto não caleado provocou redução da argila dispersa em água, enquanto que para um solo de textura arenosa, a adição de lodo de esgoto e lodo de esgoto caleado provocou aumento da carga líquida negativa e, conseqüentemente, na dispersão da argila.

Noutro estudo, Spera et al. (2008) testando o efeito da incubação de calcário nas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho de textura argilosa, concluíram que com a aplicação de calcário houve aumento da dispersão de microagregados, sendo esta crescente até a incubação com 50% (3,8 Mg.ha<sup>-1</sup>) da dose recomendada para elevar o pH em água a 6,0, estabilizando a partir de 5,7 Mg.ha<sup>-1</sup>.

Uma menor dispersão de argila em razão da aplicação de calcário, pode ser explicada em razão de um maior teor de MOS entre os solos, promovendo uma maior agregação mesmo com o maior aumento da repulsão entre as argilas causado pela elevação da CTC, conforme encontrado no estudo de Costa et al. (2004) e Cambri e Alleoni (2002).

Prado (2003), no entanto, concluiu em sua revisão sobre o assunto, que a calagem em solos tropicais com PCZ baixo (próximo de 4), em que predomina caulinita, eleva a carga líquida negativa e mesmo nos solos com PCZ alto, em que predominam os óxidos de Fe e Al, reduz o efeito floculante dos cátions trivalentes com maior espessura da dupla camada difusa favorecendo a dispersão de argila o que, por meio da eluviação, torna possível a obstrução de poros em camadas inferiores, modificando o movimento de água no solo e até a erosão. Portanto, também concluiu este autor, em solos altamente intemperizados, a calagem deve ser moderada o suficiente para no máximo elevar o valor pH (em água) a 6,0 e a saturação por bases à 80%. Concluiu ainda que é oportuno manter sistemas de produção com alto aporte de resíduos orgânicos, uma vez que a microbiota pode excretar no solo compostos orgânicos agregantes. Por outro lado, abaixo da camada em que se verificam os problemas da “supercalagem” induzindo dispersão de argila, persistem os problemas trazidos pela acidez do solo, como deficiência de Ca<sup>2+</sup> e a toxidez de alumínio e manganês.

De fato Miyazawa, Pavan e Franchini (2000) reportam que é baixa a mobilidade do Ca<sup>2+</sup> e do Mg<sup>2+</sup> na forma de carbonato em solos ácidos, sendo observados aumentos do seu teor no solo apenas na camada corrigida, sendo esta

imobilidade devida à ausência do ânion acompanhante. O ânion  $\text{CO}_3^{2-}$  reage com o  $\text{H}^+$  do solo e se perde na atmosfera na forma de gás  $\text{CO}_2$ , conforme o seguinte exemplo:  $[\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3; \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow]$ .

A deficiência de cálcio na subsuperfície do solo, contudo, induz à paralização do crescimento da raiz, conforme relata Quaggio (2000). Mas os solos que contém teores elevados de  $\text{Al}^{3+}$ , associados ou não à presença de  $\text{Mn}^{2+}$ , em condições de acidez elevada, igualmente podem apresentar limitações ao bom crescimento e desenvolvimento radicular das plantas, sendo o principal fator que afeta o desenvolvimento radicular das plantas no subsolo de grandes áreas do Brasil (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007; RAIJ, 2011). Os sintomas dos efeitos tóxicos decorrentes de concentrações elevadas de  $\text{Al}^{3+}$  podem ser observados principalmente no encurtamento e engrossamento das raízes e diminuição nas suas ramificações e pelos radiculares, prejudicando a absorção de água e de nutrientes (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Assim, tendo deficiência de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e elevados teores de  $\text{Al}^{3+}$  abaixo da camada “supercorrigida”, as raízes terão que superar uma barreira química para crescerem em profundidade, tendendo o enraizamento a ficar restrito à camada superficial, na qual as plantas cultivadas terão menor acesso à água e nutrientes.

Todavia, Raji (2011) ressalta que para as culturas aproveitarem melhor a água e nitrato do subsolo, decorrente da lixiviação de nitrato de cálcio ao longo do perfil, é preciso que as raízes estejam lá, e, para isso, pode ser necessário romper a barreira química representada pela toxidez de alumínio e ou deficiência de cálcio, e ou a barreira física, nos casos em que elas estão presentes.

Corroborando, Cassol (2003) afirma que vários trabalhos tem demonstrado o efeito significativo do calcário aplicado na superfície do solo em aumentar o pH, os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , a saturação por bases (v%) e reduzir a acidez potencial em profundidade. Que, entretanto, esse efeito é mais acentuado na profundidade de 0-5 cm ou 0-10 cm, indicando que a mobilidade do calcário no perfil é de fato muito pequena, embora também saliente casos excepcionais e surpreendentes como o que foi verificado no trabalho de Petreire e Anghinoni (2001 apud CASSOL, 2003), ou seja, alteração no pH,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  até a profundidade de 22,5 cm quando aplicado calcário na superfície de um Latossolo Vermelho distrófico textura média seguido de seu cultivo com plantas anuais por 42 meses, e,

como o que foi verificado no trabalho de Caires et al. (2002, apud CASSOL, 2003), ou seja, aumento no pH e redução de  $\text{Al}^{3+}$  trocável até a profundidade de 10 cm e em camadas mais profundas de solo (40-60 e 60-80 cm), 18 meses após a aplicação do calcário.

Por outro lado, a mobilização do solo para a incorporação de corretivos agrícolas não é desejável uma vez que ela pode ser responsável pela destruição de atributos físicos e químicos favoráveis, sob o ponto de vista da conservação do solo, obtidas ao longo do tempo de adoção do SPD principalmente em decorrência do aumento da taxa de oxidação da matéria orgânica acumulada na superfície do solo (CAMBRI; ALLEONI, 2002). Contudo a acidez de camadas mais profundas do solo é uma das principais limitações à produtividade agrícola nas regiões tropicais e subtropicais, por restringir o aprofundamento do sistema radicular das plantas. Quando as raízes se desenvolvem pouco, a eficiência de absorção de água e de nutrientes é baixa, o que resulta em menor resistência à seca e, conseqüentemente, baixa produtividade das culturas (QUAGGIO, 2000).

A dificuldade de correção do subsolo quando não há revolvimento da camada arável, conforme revisão de Tiritan (2001), pode dar-se em razão de íons carbonatos e bicarbonatos, resultantes da dissociação do calcário, terem curta existência antes de sua reação com os componentes da acidez do solo.

Assim, a baixa mobilidade do cálcio no perfil do solo, na forma de carbonato é atribuída ao pK igual a 8,2, à ausência de um ânion estável na reação de hidrólise e à formação de cargas negativas dependentes de pH (PAVAN et al., 1989 apud TIRITAN, 2001). Entretanto, quando o pH da solução do solo alcança valores superiores à 5,5, a espécie  $\text{HCO}_3^-$  passa a estar presente como forma estável na solução e sua concentração aumenta até atingir valores máximos na faixa de pH entre 8,0 e 8,5 (BOHN et al., 1979 apud TIRITAN, 2001). Nessas condições o  $\text{HCO}_3^-$  pode migrar com o  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$ , corrigindo a acidez do solo além da área de aplicação do calcário (OLIVEIRA; PAVAN, 1996, COSTA, 2000 apud TIRITAN, 2001). Esse aumento do pH acima de 5,5 (em água), no entanto, não deve ultrapassar o valor 6,3 (em água) limite da faixa de pH em água, compreendida entre 5,5 a 6,3, a qual é considerada no Brasil como a mais adequada para a maioria das culturas (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Corroborando Quaggio (2000) afirma que os calcários reagem liberando a base forte hidroxila  $\text{OH}^-$  e a base fraca  $\text{HCO}_3^-$  que rapidamente corrigem

a acidez do solo ao redor das partículas e, por mecanismos de difusão e fluxo de massa, vão propagando o efeito neutralizante para o restante da massa do solo. A maior concentração do íon  $\text{HCO}_3^-$  na solução do solo ocorre entre pH 6,5 e 5,5, que ao se difundir para camadas mais profundas, mecanismo a que Raij (2011) chamou de “onda alcalinizante”, vai reagindo com os íons  $\text{H}^+$  produzindo  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ , e praticamente desaparece quando o pH for inferior a 5 (em água).

No plantio convencional, Raij (2011) afirma que o solo estando sujeito a revolvimento por arações e gradagens, que degradam a matéria orgânica, contribue para a lixiviação de nitrato, que carrega cálcio para o subsolo, assim favorecendo o desenvolvimento radicular. Em se tratando de calagem no SPD, contudo, ressalta que a expectativa é de movimentação lenta da “onda alcalinizante” decorrente do calcário aplicado na superfície do solo. Mesmo que o calcário seja incorporado no início do plantio direto, não existirão as condições para degradação da matéria orgânica que há no plantio convencional.

A “onda alcalinizante” a que se refere Raij (2011), querendo caracterizar o lento e progressivo efeito do calcário em profundidade, ocorre por vários mecanismos, os quais ainda não são totalmente esclarecidos, conforme salientam Quaggio (2000) e Amaral (2002).

Assim, não é esperado que o íon  $\text{HCO}_3^-$  alcance rapidamente regiões mais profundas do perfil do solo. Entretanto, é possível que com o tempo o efeito direto do íon  $\text{HCO}_3^-$  na correção da acidez do subsolo seja expressivo (QUAGGIO, 2000).

Outro mecanismo possível, conforme Quaggio (2000), é que a correção da acidez provoca mineralização mais intensa da matéria orgânica do solo, apesar do seu conteúdo não se alterar ao longo dos anos devido a maior produção de biomassa pelas culturas nos solos corrigidos. Durante a mineralização, são produzidos ânions, como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  que ficam em equilíbrio com os cátions na solução do solo e quando houver movimento descendente de água através do perfil do solo, podem lixiviar como ânion acompanhante, mobilizando com eles grandes quantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

## 2.2 A MOBILIDADE DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA PRESENÇA DE RESÍDUOS VEGETAIS NA SUPERFÍCIE

Para Amaral (2002) o efeito da prática da calagem aplicada superficialmente pode se verificar em profundidade no perfil do solo e as causas desse comportamento, que ainda não são ainda bem conhecidas, devem estar associadas a mecanismos de ordem física, química e biológica, resultantes das alterações que ocorrem no solo ao longo do tempo no SPD. As causas da mobilidade dos cátions são particularmente importantes para o  $\text{Ca}^{2+}$ , pois, além de sua mobilidade no perfil ser muito lenta, constitui-se também em um nutriente relativamente imóvel, não se redistribuindo com facilidade na planta. É um elemento de função estrutural, sendo integrante da parede celular e sua deficiência afeta, principalmente, o crescimento das raízes (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). Assim, Quaggio (2000) salienta que  $\text{Ca}^{2+}$  necessita ser absorvido continuamente durante o crescimento radicular, constituindo-se sua deficiência uma restrição importante ao crescimento de raízes. Daí a necessidade de existir disponibilidade suficiente desse nutriente nas camadas mais profundas do perfil do solo, para não haver cerceamento ao crescimento radicular.

Amaral (2002) considera como possíveis mecanismos para verificação dos efeitos da calagem em profundidade, os seguintes: a) descida de calcário através dos bioporos (ou biocanais) do solo; b) transporte de cálcio e magnésio por ânions solúveis, que para Miyazawa, Pavan e Franchini (2000) são exemplos o  $\text{Cl}^-$  (cloreto),  $\text{NO}_3^-$  (nitrato),  $\text{NO}_2^-$  (nitrito),  $\text{SO}_4^{2-}$  (sulfato),  $\text{HCO}_3^-$  (bicarbonato) e outros; c) transporte de cátions divalentes por ligantes orgânicos e d) neutralização da acidez do solo e amenização da toxidez do alumínio por resíduos vegetais. Os bioporos (ou biocanais) do solo são originados da decomposição de raízes das culturas anteriores e da intensa atividade dos organismos da macro e mesofauna do solo. A grande quantidade de bioporos (ou biocanais) e a consequente elevação das taxas de infiltração de água no solo, permitem que partículas mais finas do calcário aplicado na superfície do solo possam migrar para a subsuperfície.

Para Oliveira e Pavan (1996), porém, a presença de resíduos vegetais na superfície do solo sob plantio direto constitui a principal causa da eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo.

Conforme Miyazawa, Pavan e Franchini (2000) é a reação de ligantes orgânicos (AOBMM), que tem capacidade de neutralização da acidez do solo, a qual está associada aos teores de cátions e carbono orgânico solúvel dos resíduos vegetais. Quaggio (2000) afirma que em razão desse mecanismo, e, também, em vista de maior produção de substâncias orgânicas, capazes de complexar íons como alumínio e manganês reduzindo-se a toxicidade às plantas, alguns autores tem argumentado que no SPD a resposta à calagem é menor.

Silva e Mendonça (2007) relatam que em solos ácidos, tem-se observado o aumento do pH com a adição de materiais orgânicos, tais como: esterco fresco (suíno e bovino, principalmente) e camas de aviário. Relatam, igualmente, que aumento do pH do solo pela utilização de extratos vegetais tem sido documentado na literatura, especialmente aqueles oriundos de adubos verdes. As espécies mais efetivas apresentam maiores teores de cátions e ácidos orgânicos de baixa massa molecular na fração orgânica solúvel (COS) que são capazes de consumir  $H^+$  da solução do solo mediante a protonação dos grupamentos funcionais, refletindo potencial efetivo em minimizar a acidez do solo.

Miyazawa, Pavan e Franchini (2000) explicam que as reações de ligantes orgânicos (AOBMM), responsáveis pela neutralização da acidez do solo envolvem a participação de radicais carboxílicos:  $[R - COOM + H_2O \rightarrow R - COOH + OH + M]$ , onde  $M = K^+, Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . A redução da toxidez de  $Al^{3+}$  após a aplicação de resíduos vegetais e esterco de animais, por sua vez, dá-se por dois processos químicos: hidrólise devido ao aumento de pH em razão da neutralização da acidez do solo  $[Al^{3+} + 3 OH^- \rightarrow Al(OH)_3]$  e complexação por ácidos orgânicos  $[R - COOM + Al^{3+} \rightarrow R - COOAl + M]$ , onde  $M = K^+, Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ .

Amaral (2002) afirma que podem atuar como ligantes orgânicos os ácidos orgânicos de baixa massa molecular liberados durante a decomposição inicial dos resíduos orgânicos vegetais (AOBMM), sendo os mais conhecidos os ácidos cítrico, L-málico e oxálico, encontrados com concentrações relativamente altas em muitas espécies de plantas. Este autor afirma, também, que a liberação de AOBMM dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo e conseqüente formação de complexos, tem sido apontada como uma provável causa do aumento do  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  em profundidade no perfil do solo no SPD, da neutralização da acidez do solo e da amenização da toxidez do alumínio.

Nesse sentido Franchini et al. (1999a) estudando a mobilidade de ions em colunas de solo com amostras de um horizonte Bw de um Latossolo Vermelho-escuro álico, concluíram que o provável mecanismo responsável pela verificada mobilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  foi a formação de complexos destes esses ions com compostos orgânicos de baixo peso molecular.

Na revisão de Silva e Mendonça (2007), estes autores constataram que os AOBMM também são capazes de elevar o valor pH da solução do solo mediante a protonação dos grupamentos funcionais, refletindo potencial efetivo em minimizar a acidez do solo. Franchini et al. (1999a) também concluíram numa revisão sobre o efeito do manejo orgânico de solos ácidos, na camada de 0-20 cm, que têm sido observados elevação do pH e do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  em detrimento do  $\text{Al}^{3+}$ . E que, em geral, os autores atribuem à formação de fulvatos de cálcio, resultantes de um estágio avançado de decomposição do material orgânico, como responsáveis pela mobilização do  $\text{Ca}^{2+}$ , devido à alta estabilidade do complexo orgânico.

Na revisão de Tiritan (2001), este autor também constatou que na presença de resíduos vegetais tem-se verificado uma marcante mobilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no perfil do solo, aplicados na forma de carbonatos. A movimentação desses cátions é atribuída à formação de complexos com ligantes orgânicos originados dos resíduos vegetais presentes na superfície do solo. Tais complexos apresentam cargas negativas ou nulas ( $\text{CaL}^0$ ,  $\text{CaL}^-$ ) e, como o complexo de troca do solo possui predominantemente cargas negativas, a retenção dessas moléculas é baixa.

Miyazawa, Pavan e Franchini (2000), além do  $\text{Ca}^{2+}$  e do  $\text{Mg}^{2+}$ , também admitem a mobilização de  $\text{K}^+$  no perfil, bem como também relatam o aumento do pH e a imobilização de  $\text{Al}^{3+}$  pela formação de complexos organometálicos à partir da aplicação de resíduos vegetais em solos ácidos.

Os resíduos vegetais apresentam diferentes graus de eficiência em promover a movimentação dos produtos da reação o calcário no solo, variando com a espécie da planta e com as variedades dentro de uma mesma espécie (CASSIOLATO et al., 2000).

Corroborando, Franchini et al. (2001), trabalhando em colunas de solo, relataram que a calagem associada a aplicação de resíduos de aveia e nabo possibilitou o crescimento das raízes de trigo cultivar Anahuac até a profundidade de 25 cm, uma vez que aumentou o pH, o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  e diminuiu o teor de  $\text{Al}^{3+}$  até aproximadamente 20 cm de profundidade, mas a calagem associada à aplicação de

resíduos de trigo não melhorou o crescimento das raízes em comparação com a calagem sem resíduos, uma vez que não alterou a acidez das camadas subsuperficiais do solo.

Nessa mesma linha, Diehl, Miyazawa e Takahashi (2008) trabalhando com amostras de solo acondicionadas em colunas, concluíram que os resíduos de nabo forrageiro e de aveia foram mais eficientes na neutralização da acidez e mobilização de cátions polivalentes do que os resíduos de trigo, milho e soja.

Amaral (2002) também afirma que a redução na acidez e aumentos na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  verificados em profundidade no perfil do solo cultivado no SPD, podem resultar do maior conteúdo de MOS na superfície do solo ocasionando intensa atividade biológica e induzindo a uma maior concentração de AOBMM liberados durante a decomposição inicial dos resíduos vegetais, os quais podem atuar como ligantes orgânicos, tais como os ácidos cítrico, L-málico e oxálico. Assim,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  podem ser transportados no perfil do solo devido a formação de complexos com tais ácidos, pois esses cátions têm a carga líquida alterada pela formação dos complexos  $\text{CaL}^0$  ou  $\text{CaL}^-$ ,  $\text{MgL}^0$  ou  $\text{MgL}^-$  (onde L= ligante orgânico) e dessa forma a retenção destas moléculas é baixa visto que no solo há um predomínio de cargas negativas. Assim, tais cátions são preferencialmente lixiviados em relação a outros cátions que não são complexados pelos AOBMM, como o  $\text{K}^+$  por exemplo. Isso, no trabalho de Franchini et al. (1999a) foi considerado para justificar a grande retenção de  $\text{K}^+$  e a lixiviação do  $\text{Ca}^{2+}$  quando o solo foi percolado com extrato de aveia preta.

Ciotta et al. (2004), em experimento de longa duração (21 anos), concluíram que a aplicação de calcário sem incorporação sobre a superfície de um Latossolo Bruno, em SPD, foi eficiente na elevação do pH, na camada de 0-0,15 m, e na elevação dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e da saturação por bases, bem como na diminuição da saturação de  $\text{Al}^{3+}$  trocável na camada de 0-0,20 m, não diferindo do tratamento com incorporação de calcário ao solo com aração e duas gradagens. Esses autores atribuíram os efeitos observados aos resíduos orgânicos liberados durante a decomposição, compostos orgânicos hidrossolúveis, dos quais se originam os ligantes orgânicos que formam complexos de carga neutra com o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , favorecendo sua movimentação no sistema em que o calcário não é incorporado, além de favorecer a diminuição do teor de  $\text{Al}^{3+}$  trocável.

Corroborando, Silva e Mendonça (2007) também ressaltam que os AOBMM quando liberados no solo são capazes de formar complexos solúveis, estimulando a movimentação de cátions básicos, como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em profundidade, e complexos estáveis com formas monoméricas de  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo, principalmente  $\text{Al}^{3+}$ , melhorando o ambiente químico para o crescimento radicular. O grande potencial de produção de ligantes orgânicos solúveis no SPD faz com que nesse sistema grande parte do  $\text{Al}^{3+}$  solúvel encontre-se na forma de Al-ligantes orgânicos, que é considerado pouco ou não tóxico às plantas.

Krestzchmar et al. (1991 apud QUAGGIO, 2000), mostraram que a remoção contínua de palha de milho provocou acidificação mais intensa do solo e aumentou a toxicidade provocada por alumínio, quando comparado com a manutenção da palha, num solo ácido da Nigéria. Após cinco anos consecutivos de remoção da palha, os valores de pH,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram reduzidos respectivamente em 67%, 77% e 75%. Além disso, o teor de  $\text{Al}^{3+}$  total na solução do solo manteve-se ao redor de  $30 \text{ mol.L}^{-1}$ , tanto no solo com palha como sem ela. Entretanto, o teor de  $\text{Al}^{3+}$ , (forma monomérica) considerado tóxico às plantas, foi reduzido de  $14 \text{ mol.L}^{-1}$  no solo com a remoção da palha de milho para  $0,6 \text{ mol.L}^{-1}$  quando a palha permanecia no solo.

A eficiência dos resíduos de brachiárias no transporte de ions, contudo, não tem sido documentada, sendo desconhecido o seu potencial nesse sentido, principalmente em trabalhos de campo. A característica de promover alta produção de palha na superfície, contudo, permite cogitar-se que seu desempenho na produção de ligantes orgânicos seja expressiva, o que pode significar neutralização da acidez, insolubilização de  $\text{Al}^{3+}$  e transporte de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , assim propiciando melhor ambiente para desenvolvimento radicular e minorando os riscos da falta de água, bem como diminuindo os efeitos da “supercalagem”.

### 2.3 A INFLUÊNCIA DAS FORRAGEIRAS PERENES NO GRAU DE FERTILIDADE, DINÂMICA E CICLAGEM DE NUTRIENTES

Kluthcouski et al. (2004) ressaltam que as forrageiras tropicais, apesar de exaurirem os nutrientes residuais deixados pelas lavouras na superfície do solo, reciclam os nutrientes do subsolo, repõem a matéria orgânica e promovem

aração biológica do solo graças a abundância e agressividade de seus sistemas radiculares e da atividade biológica decorrente.

Crusciol et al. (2009) relataram que a introdução de forrageiras nas áreas sistema de produção de grãos, mesmo naquelas em que sempre houve rotação de culturas de cobertura permanente no solo, proporciona melhoria na sua fertilidade.

Nesse sentido Crusciol, Borghi e Guaragna (2006), verificaram que o cultivo de *Brachiaria brizantha* consorciada com milho por dois anos agrícolas proporcionou maiores valores de matéria orgânica no perfil do solo em relação ao sistema onde não foi cultivada esta forrageira perene. Como consequência, os valores de  $H^+ + Al^{3+}$  foram menores e os de pH maiores nesse sistema. Tal consórcio proporcionou ainda maior teor de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, CTC e V%. No caso do fósforo, esses autores atribuíram o seu aumento a menor oxidação da matéria orgânica em solos cultivados com forrageiras em relação aos cultivos com culturas anuais de grãos. Já no caso do  $K^+$ , explicaram o seu maior teor em razão da grande capacidade de absorção e acúmulo de  $K^+$  da *Brachiaria brizantha*. Assim, a presença da forrageira, na forma de pastagem, no período de outono a primavera proporcionou grande reciclagem do nutriente, incrementando os teores nas camadas superficiais mediante a sua decomposição após sua dessecação.

Por outro lado, Garcia et al. (2008) estudando a ciclagem de  $K^+$  em um sistema de produção usando milho consorciado com brachiaria, constataram aumento no teor de  $K^+$  trocável e redução nos teores de  $K^+$  não trocável, ou seja, além da grande capacidade de reciclagem do  $K^+$  trocável, a *Brachiaria brizantha* disponibiliza o  $K^+$  não trocável no solo, reduzindo a quantidade de adubos com fontes de  $K^+$  e, conseqüentemente, os custos de produção.

Tiritan (2001) estudando por dois anos diferentes sistemas de manejo de palha de aveia, milho ou de brachiaria associado à aplicação de doses de calcário incorporado e não incorporado, concluiu que a aplicação de calcário superficial ou incorporado, na presença ou ausência de palha de aveia, milho ou de brachiaria, não afetaram os atributos químicos do solo (pH,  $H^+ + Al^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e V%) e a produção de grãos de milho. Entretanto, as doses de calcário afetaram significativamente estes atributos químicos e a produção de milho.

Vilela et al. (2003) ressaltam o papel das forrageiras perenes em manter ou até mesmo aumentar o teor de MOS em contraste com as culturas anuais. Kluthcouski et al. (2004) também concluíram na sua revisão, que o estabelecimento sistemático da rotação lavoura-pastagem é uma das melhores alternativas para se elevar a matéria orgânica do solo. Seguy, Bouzinac e Maronezzi (2001) nesse sentido igualmente afirmam que os sistemas radiculares mais resistentes à mineralização como *brachiaria* consorciada com milho e sorgo a produção de matéria seca é contínua durante o ano todo, e as concentrações em matéria orgânica aumentam na camada superficial do solo.

Vilela et al. (2003) concluíram que as rotações pastagens/culturas anuais apresentam maior eficiência no uso do fósforo e menor nível crítico de P comparado ao sistema de culturas anuais. Corroborando, Alvarenga e Davide (1999) trabalhando com Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, concluíram que a pastagem plantada de *Brachiaria decumbens* formada à cerca de 10 anos não diferiu estatisticamente da pastagem nativa e nem do cerrado nativo em relação aos teores de fósforo.

#### 2.4 A INFLUÊNCIA DAS FORRAGEIRAS PERENES NA PRODUÇÃO DE PALHADA NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO E SUA COMPETIÇÃO COM AS CULTURAS GRANÍFERAS EM CONSÓRCIO

A baixa produção de palhada no SPD em razão de condições climáticas desfavoráveis que ocasionam as baixas disponibilidades hídricas durante boa parte do ano não é um problema circunscrito ao norte do Paraná, atingindo a maior parte do Brasil central, notadamente a região dos cerrados (CRUSCIOL et al., 2009; BORGHI, 2007; FRANCHINI et al., 2009).

Por outro lado, na competição de várias espécies utilizadas como cobertura de solo no inverno, as forrageiras perenes são uma das mais produtivas.

Lamas e Staut (2005), corroborando tal afirmativa, observaram que a *Brachiaria ruziziensis* chegou a produzir 10 t/ha de palha, registrando, inclusive, que a resteva desta forrageira permanece no solo por mais tempo sem se decompor, oferecendo maior proteção ao solo.

Crusciol et al. (2009), também confirmaram essa alta performance ao afirmarem que a produção de palhada no consórcio milho/sorgo e forrageiras

perenes tem oscilado entre 8 e 20 t.ha<sup>-1</sup>, sendo essa amplitude decorrente de vários fatores, sendo os principais: espécie, clima, solo e manejo. Afirmaram, ainda, que produções médias de 12 t.ha<sup>-1</sup> são frequentemente obtidas e proporcionam plena cobertura do solo, com boa espessura de palhada, principalmente quando o consórcio é feito com a cultura do milho.

Por sua vez, Borghi et al. (2008), avaliando a quantidade de palha remanescente na superfície do solo, antes da semeadura da safra de verão seguinte, obtiveram valores da ordem de 7 a 13 t.ha<sup>-1</sup> na área onde ocorreu o consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*. Esses valores foram significativamente superiores à média observada na área com milho solteiro (2,5 t.ha<sup>-1</sup>) sete meses após a colheita.

Em consonância com tais resultados, Machado e Assis (2006) concluíram que, durante a estação seca, em Mato Grosso do Sul, as espécies forrageiras perenes podem substituir as anuais com vantagens na produção de forragem e palha.

Ademais, no trabalho de Denardin et al. (2008) foi concluído que as brachiarias não interferiram significativamente na produtividade do milho, fato que as tornam culturas altamente recomendáveis para a sustentabilidade do Sistema de Plantio Direto. Stone, Guimarães e Moreira (2002), comparando milho solteiro e milho consorciado com *Brachiaria brizantha* também concluíram que a brachiaria, independentemente da condição de precipitação pluvial, não interferiu no rendimento de grãos de milho. Resultados semelhantes foram obtidos por Borghi e Crusciol (2007) que, na média de duas safras, não encontraram diferença no rendimento de grãos de milho, quando da inserção da braquiária em consórcio.

Nesse mesmo sentido Ceccon et al. (2008), por sua vez, avaliando o consórcio de milho safrinha com *Brachiaria ruziziensis* em lavouras comerciais, concluíram que o consórcio de milho safrinha com uma linha intercalar de *Brachiaria ruziziensis* apresenta rendimentos semelhantes ao milho solteiro e superiores a estimativa de rendimento médio de milho solteiro regional. Corroborando tais resultados Borghi (2007) concluiu que os sistemas de cultivo consorciado com *Brachiária brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Mombaça em SPD não diminuiu a produtividade de grãos de milho. A Ceccon et al. (2008) avaliando o consórcio milho safrinha com *brachiaria ruziziensis* em lavouras comerciais de agricultores, em 2008, também concluiu que este consórcio com uma linha intercalar

desta forrageira apresenta rendimentos semelhantes ao milho solteiro e superiores à estimativa de rendimento médio de milho solteiro regional.

Crusciol et al. (2009), inclusive, relatam que, com certa frequência, o consórcio tem proporcionado aumentos de produtividade, levando a quebra de paradigmas, uma vez que na fase inicial de convivência da forrageira com a cultura granífera há diversos fatores que podem estar atuando em benefício da cultura produtora de grãos e que ainda não foram totalmente esclarecidos pela ciência.

Tais resultados demonstram que o consorcio de culturas de grãos, especialmente o milho, sorgo, milheto, arroz e soja com forrageiras tropicais, de preferência as do gênero brachiaria, no SPD, em áreas de lavoura, denominado de Sistema Santa Fé (KLUTHCOUSCI et al., 2004), pode ser uma solução bastante promissora para o norte do Paraná, pois garante uma fonte de alimentos aos animais na época da entressafra, fornecimento de palhada para viabilização e sustentabilidade do SPD e não representa necessariamente uma competição lesiva à produtividade da cultura de grãos.

## 2.5 ESTABELECIMENTO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

A degradação das pastagens é um dos maiores problemas da pecuária brasileira por ser esta desenvolvida basicamente em pasto, afetando diretamente a sustentabilidade do sistema produtivo (KICHEL; MIRANDA; ZIMMER, 1999; MACEDO, 2009), principalmente no período de entressafra na agricultura que compreende o outono, inverno e primavera.

Kluthcouski et al. (2004) à respeito, analisam que o modelo extrativista adotado na pecuária é que deflagrou processos de exaustão e degradação dos solos, condicionando a redução da capacidade produtiva das pastagens, principal ou exclusiva fonte alimentar dos rebanhos. Assim, reportam que, dos 40 milhões de hectares de pastagens cultivadas, cerca de 80% encontra-se em algum estágio de degradação.

A degradação das pastagens tem origem, basicamente em alguns fatores bem conhecidos, entre os quais destacam-se, conforme Mello et al. (2004) e Macedo (2009): a lotação animal excessiva, sem os ajustes para uma adequada capacidade de suporte, falta de reposição de nutrientes extraídos pelas pastagens e exportados no decorrer do tempo e compactação do solo produzida pelo

caminhamento de animais. Corroborando, Kluthcouski et al. (2004) registram que nos Cerrados, a pastagem perde muito rapidamente a capacidade de produção forrageira, provavelmente como resultado do empobrecimento do solo em nutrientes, em especial do nitrogênio, sendo que as pastagens de primeiro ano são as mais produtivas na entressafra, permanecendo verdes e com algum acúmulo de biomassa mesmo nos meses mais secos e frios.

Se por um lado a degradação das áreas de pastagens no Brasil é uma realidade incômoda, por outro, contudo, é inegável a enorme potencialidade que possuem de aumentarem a produção de carne e leite quando forem superadas as causas que as impedem de melhorarem os atuais índices de produtividade. Nessa linha, considerando-se apenas a fase de engorda de bovinos, a produtividade de carne de uma pastagem degradada está em torno de 2 arrobas/ha/ano, enquanto que numa pastagem em bom estado pode-se atingir em média, 16 arrobas/ha/ano (KICHEL; MIRANDA; ZIMMER, 1999).

Kluthcouski et al. (2004) também ressaltam que na atividade pecuária, as médias dos índices zootécnicos são baixas, cerca de dez vezes menores que o potencial no tocante à produção de carne e leite, devido principalmente à degradação das áreas com pastagem ocasionadas pela deficiência de forrageira no período de entressafra. Analisam, também, para a região dos Cerrados, que as principais causas da redução da oferta forrageira na entressafra são a deficiência hídrica, que normalmente ocorre entre maio e outubro, e os efeitos da redução de temperatura e luminosidade, entre junho e setembro, sendo que estes últimos, mesmo em condições de boa disponibilidade hídrica, podem reduzir a produção forrageira.

A formação, recuperação e reforma de pastagens, contudo, requer grandes investimentos, fato que tornam desejáveis as técnicas que alcancem o mesmo ou melhor resultado com menor dispêndio de capital. Kluthcouski et al (2004), nesse sentido afirmam que na integração lavoura-pecuária, na região dos cerrados, a produção de grãos objetiva, fundamentalmente, o ressarcimento parcial ou total dos dispêndios realizados com insumos e serviços na recuperação de áreas com pastagem e solos degradados. Porém ressalta que os objetivos da integração na atividade pecuária vão desde a recuperação de pastagens degradadas até a manutenção de altas produtividades das pastagens e, principalmente, a produção de forrageira na entressafra. Já na exploração lavoureira busca-se: a quebra do ciclo

das pragas e doenças e plantas daninhas, a redução, via supressão física ou alelopática, de doenças das plantas cultivadas com origem no solo, a melhoria na conservação de água, a redução na flutuação da temperatura no solo e a possibilidade de agregar valores ao sistema.

Por outro lado, paralelamente aos problemas da atividade pecuária, aqui focados, a agricultura também enfrenta a ameaça da perda de sustentabilidade e viabilização do SPD, em razão da baixa produção de palha, mormente nas áreas de inverno seco e quente, como é o caso da região norte do Paraná. Macedo (2009), ressalta que a adoção do SPD em sua plenitude, nas diversas condições climáticas e edáficas, é altamente dependente das culturas adequadas para a produção e manutenção de palha sobre o solo, para que o sistema seja eficiente e vantajoso.

Assim, para este autor, bem como para Freitas et al. (2005), os sistemas de integração lavoura-pecuária (SILPs), podem ser promissores para atender tanto as dificuldades da pecuária, como alternativa de recuperação de pastagens degradadas, como para a agricultura anual e o SPD, visando à produção de palha, melhoria das propriedades do solo e utilização plena de equipamentos, empregos, proporcionando ganhos mútuos ao produtor. Nessa linha, Borghi (2007) ressalta que o cultivo consorciado de espécies forrageiras com culturas anuais torna-se vantajoso, uma vez que a forrageira se beneficiará do residual de fertilizantes aplicados na cultura produtora de grãos e, por conseguinte, aumentará a reserva de forragem com valor nutritivo em uma estação de baixa oferta de pastagem. No mesmo sentido Yokoyama et al. (1995) concluíram que a produção de grãos tem sido suficiente para amortizar, parcial ou totalmente, os gastos despendidos com a recuperação/renovação das pastagens, ficando, assim, mais do que evidente o benefício mútuo do consórcio, tanto para agricultores como para pecuaristas.

Nos últimos anos, uma das modalidades de SILP que tem aumentado significativamente nas regiões com inverno seco no Estado de São Paulo e na maior parte do Brasil Central, notadamente na região dos cerrados, é o cultivo consorciado de plantas produtoras de grãos com forrageiras tropicais em SPD (CRUSCIOL et al., 2009). Nesse sistema, a forragem é manejada como cultura anual, podendo ter dupla finalidade: a) servir como alimento para a exploração pecuária, desde o final do verão até o início da primavera e b) servir como planta exclusiva para a produção de palhada, proporcionando cobertura permanente do solo até a semeadura da safra do verão subsequente e estação chuvosa

(CRUSCIOL et al., 2009; ALVARENGA et al., 2006). Kluthcouski et al. (2004) afirmam que no consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de produção de grãos das principais culturas anuais, denomina-se Sistema Santa Fé, sendo possíveis as associações de milho e sorgo, graníferos e forrageiros, com *Brachiaria* spp. e *Panicum* spp., e soja com *Brachiaria* sp., cujos principais objetivos são a produção forrageira para a entressafra e palhada em quantidade e qualidade para o SPD.

O consórcio torna-se viável, na medida que a competição da planta forrageira com a cultura produtora de grãos pode ser amenizada com técnicas relativamente simples, não altera o cronograma de atividades do produtor, é de baixo custo e não exige equipamentos especiais para sua implantação. O consórcio é estabelecido anualmente, podendo ser implantado simultaneamente ao plantio da cultura anual ou cerca de 10 a 20 dias após a emergência desta (KLUTHCOUSKI et al., 2004).

O consórcio de milho ou sorgo com gramíneas forrageiras, como as do gênero *brachiaria* e *panicum*, é possível em função da diferença nas taxas de acúmulo de biomassa entre esses cereais e as forrageiras, sendo que o crescimento inicial da forrageira é mais lento. Assim, as culturas de milho e sorgo se estabelecem primeiro, não sendo necessário, na maioria dos casos, o uso de herbicidas para retardar o crescimento da forrageira (CRUSCIOL et al., 2009). Kluthcouski et al (2004) também ressaltam que o consórcio de forrageiras tropicais são possíveis graças ao diferencial no tempo e espaço de acúmulo de biomassa ao longo do ciclo das espécies. Enquanto as gramíneas forrageiras tropicais, especialmente as *brachiarias*, são conhecidas pelo seu lento acúmulo de matéria seca da parte aérea até aproximadamente 50 dias da emergência, no caso de área com pastagem degradada, a maioria das culturas anuais sofre interferência por competição no referido período. Na revisão feita por esses autores, restou claro que determinadas práticas culturais ajudam a reduzir ainda mais o acúmulo de biomassa das forrageiras e a competição interespecífica, como o arranjo espacial das plantas, o uso de reguladores de crescimento, a disposição das sementes das forrageiras aproximadamente a 10 cm de profundidade e o uso de subdoses de herbicidas.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.,V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.645-736.
- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; 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.; 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.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009b. p. 381-447.
- ALLEONI, L. R. F.; MELLO, J. W. V.; ROCHA, W. S. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009a. p. 69-129.
- ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 933-942, 1999.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 25-36, 2001.
- ALVARENGA, R. C.; COBUCCI, T.; KLUTHCOUSCI, J.; WRUCK, F. J.; CRUZ, J. C.; GONTIJO NETO, M. M. **A Cultura do milho na integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 2006. 12 p. (Circular Técnica, 80).
- AMARAL, A. S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107 fls. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 27, p. 565-580, 2006.
- BORGHI, E.; COSTA, N. V.; CRUSCIOL, C.A. C.; MATEUS, G. P. Influencia da distribuição espacial do milho e da Brachiária brizantha consorciados sobre a população de plantas daninhas em sistema plantio direto na palha. **Planta Daninha**. Viçosa, v. 26, p. 559-568, 2008.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 42, p. 163-171, 2007.

BORGHI, E. **ILP do milho consorciado com *Brachiaria brizantha* em SPD**. 2004. 102 fls. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BORGHI, E. **Produção de milho e capins ‘Marandu’ e ‘Mombaça’ em função de modos de implantação do consórcio**. 2007. 142 fls. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CAMBRI, M. A.; ALLEONI, L.R. F. Argila dispersa em água em função da calagem em Sistema de plantio direto no cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, 2002, Cuiabá. **Resumos ...** Cuiabá: UFMT, 2002. p. 123.

CASSIOLATO, M. E.; MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M.; OLIVEIRA, J. C. Evaluation of oat extracts on the efficiency of lime in soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 43, p. 533-536, 2000.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 143 fls. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1407-1413, 1991.

CECCON, G.; SACOMAN, A.; MATOSO, A. O.; NUNES, D. P.; INOCÊNCIO, M. F. **Consórcio de milho safrinha com *Brachiaria ruziziensis*, em lavouras comerciais de agricultores, em 2008**. Dourados: Embrapa-CPAO, 2008. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 48).

CHAVES, L. H. G.; QUEIRÓZ, M. F.; OLIVEIRA, E. L.; SANTANA, E. F. Efeito do carbonato de cálcio na dispersão de argila de um latossolo. **Agropecuária Técnica**, v. 18, p. 1 - 7, 1997.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. W. 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, p. 317-326, 2004.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, A. C.; MORAES, M. H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 263-272, 2009.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 281-284, 2004.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E.; GUARAGNA, J. G. Alterações na Fertilidade do Solo após Dois Anos de Integração Agricultura-Pecuária. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO (FERTBIO), 27., 2006, Bonito. **Resumos ...Bonito**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. (CD-ROM).

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Integração lavoura-pecuária: benefícios das gramíneas perenes nos sistemas de produção. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 125, p. 2-15, 2009.

DAL BIANCO, L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R.; GUBIANI, P. I. Estabilidade de agregados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais ... Gramado**, 2007.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SANTI, A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. **Efeito da consorciação milho-braquiária (*Brachiária brizantha*) na mitigação da compactação do solo**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 2008, 10 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 54).

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. W.; Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2653-2659, 2008.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; FARIAS, J. R.B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa-CNPQ, 2009. (Documentos, 314).

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 2267-2276, 1999a.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 357-360, 2001.

FREITAS, F. C. L.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; SANTOS, M. V.; AGNES, E. L.; CARDOSO, A. A.; JALELAITIS, A. Formação de pastagem via consórcio de *Brachiaria brizantha* com o milho para silagem no sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, p. 49-58, 2005.

GARCIA, R. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, p.579-585, 2008.

GONZALEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E. J.; NADERMAN, G. C.; SOARES, W. V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an oxisol of central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 1155-1158, 1979.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; ZIMMER, A. H. Degradação de pastagens e produção de bovinos com a integração agricultura x pecuária. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 1., 1999, Viçosa. **Anais ... Viçosa: UFV**, 1999. p. 201-234.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. Integração lavoura-pecuária e o manejo de plantas daninhas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 106, 2004. P. 1-20.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o Sistema Santa Fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 407-442.

LAMAS, F. M.; STAUT, L. A. **Espécies vegetais para cobertura de solo no cerrado de Mato Grosso**. Dourados: Embrapa-CPAO, 2005. (Comunicado Técnico, 97).

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura-pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 133-146, 2009.

MACHADO, L. A.; ASSIS, P. G. G. Espécies para a produção de forragem e palha na estação seca, em sucessão a soja. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Resumos...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006, p. (CD-ROM).

MELLO, L. M. M.; YANO, E. H.; NARIMATSU, K. C. P.; TAKAHASHI, C. M.; BORGHI, E. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de forragem e resíduo de palha após pastejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, p. 121-129, 2004.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Organic mobility of surface applied lime under no tillage. In: INTERNATIONAL MEETING OF THE INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCE SOCIETY, 9., 1998, Adelaide. **Anais...** Adelaide: International Humic Substance Society, 1998. p. 166.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 92, p. 1-8, 2000.

OLIVEIRA, E.; PAVAN, M. A. The control of soil acidity in no-till system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47-57, 1996.

PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Mobilização do calcário no solo através de resíduos da aveia. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, 18., Londrina, 1998. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1998. p. 72-79.

PRADO, R. M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. **Revista de Biociências**, Taubaté, v. 9, p. 7-16, 2003.

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

RAIJ, B. van. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, p. 8-18, v. 135, 2011.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 449-484.

ROTH, C.H.; PAVAN, M. A. Effect of lime and gypsum on clay dispersion and samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, p. 351-361, 1991.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A. C. O conceito de multifuncionalidade das biomassas de cobertura em plantio direto. **Informe Agrônomo**, Piracicaba, v. 96, p. 30-33, 2001.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.,V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SPERA, T. S.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P. S.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2613-2620, 2008.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M. ; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 207-2012, 2002.

TAVARES FILHO, J. O papel das características e propriedades físicas nas perdas de solo-água e nutrientes por erosão devido ao cultivo do solo. **Semina**, Londrina, v. 8, p. 42-44, 1987.

TIRITAN, C. S. **Alterações dos atributos químicos do solo e resposta do milho à calagem superficial e incorporada em região de inverno seco**. 2001. 108 fls. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

VILELA, L.; MACEDO, M. C. M.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; KLUTHCOUSKI, J. Benefícios da integração lavoura-pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 143-170.

YOKOYAMA, L. P.; KLUTHCOUSCI, J.; OLIVEIRA, I. P.; DUTRA, L. G.; SILVA, J. G.; GOMIDE, J. C.; BUSO, L. H. **Sistema Barreirão: análise de custo/benefício e necessidade de máquinas e implementos agrícolas**. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1995, 31 p. (Documentos, 56).

**3 ARTIGO****CALAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA COM E SEM A ADOÇÃO  
DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.**

## CALAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA COM E SEM A ADOÇÃO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.

SILVA, F. C. M<sup>1</sup>.; TAVARES FILHO, J<sup>2</sup>.

### Resumo

Na região de inverno quente e seco do norte do Paraná, a insuficiência na disponibilidade hídrica do solo não permite obter-se no SPD os benefícios plenos da manutenção permanente da palhada na superfície do solo e por vezes sequer o plantio das culturas de cobertura. Um outro problema que afeta o SPD, é que o corretivo agrícola não sendo incorporado, tende a concentrar-se nos primeiros centímetros da superfície do solo, podendo trazer ao longo do tempo as consequências da “supercalagem”, principalmente deficiência nutricional de micronutrientes e abaixo desta camada a manutenção de níveis tóxicos de Al e Mn, baixo pH e baixos teores de Ca e Mg. Dessa forma, visando condicionar melhor ambiente para crescimento radicular para minimizar tais problemas, objetivou-se testar dois sistemas de produção agrícola, ambos associados à aplicação de diferentes doses de calcário. Um deles consistindo, no 1º ano agrícola, em área com pousio, após cultivo de milho, e, no 2º ano agrícola, em soja sucedida por pousio. O outro, consistindo, no 1º ano agrícola, em área com *Brachiaria ruziziensis*, remanescente de consórcio com a cultura do milho, e, no 2º ano agrícola, em soja consorciada com *Brachiaria ruziziensis*, permanecendo vegetando esta forrageira após a colheita do soja (ILP). Para tanto foi conduzido um experimento em um Latossolo Vermelho, textura muito argilosa, localizado em área agrícola de plantio direto, do Município de Bandeirantes-PR. A calagem foi realizada após a colheita do milho para elevar a saturação por bases (V%) à 65%, 75% e 90%, sendo mantida uma parcela por bloco sem calagem (testemunha). Foram realizadas duas amostragens do solo, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, ambas 50 dias após a dessecação da brachiaria, respectivamente uma semana antes do plantio da soja (safra 2012/2013) e do milho (safra 2013/2014). O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas em blocos casualizados com 4 repetições e 4 parcelas/bloco, sendo avaliados: pH em CaCl<sub>2</sub>, MOS, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, P e CTC a pH 7,0. Os resultados obtidos permitiram concluir que os efeitos do calcário foram estendidos em profundidade e ao longo do tempo através dos mecanismos de mobilização de íons no solo, promovendo redução da MOS e teores de Al<sup>3+</sup>, bem como aumento no pH e teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>; a ILP promoveu aumento no teor de K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, esgotou os teores de P e não aumentou os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>; no 1º ano agrícola a adoção da ILP não teve efeito na MOS mas no 2º ano agrícola impediu que houvesse um maior decréscimo desta variável; a extensão dos efeitos da calagem em profundidade e melhoria no ambiente radicular em função dos tratamentos somente foi observada parcialmente nas mudanças verificadas nos atributos químicos estudados.

**Palavras-chave:** *Brachiaria ruziziensis*. ILP. plantio direto. mobilidade de íons.

<sup>1</sup> Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL. E-mail: mainardesilva@ffalm.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL. E-mail: Tavares@uel.br

**LIMESTONE IN AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS WITH AND WITHOUT  
THE ADOPTION OF CROP-LIVESTOCK INTEGRATION.**

SILVA, F. C. M<sup>3</sup>.; TAVARES FILHO, J<sup>4</sup>.

**Abstract**

In the region of warm, dry winter from northern Paraná, the shortfall in water availability of the soil lets not get yourself in SPD the full benefits of the ongoing maintenance of mulch on the soil surface and sometimes even the planting of cover crops. Another problem that affects the SPD, is that agricultural concealer being unincorporated, tends to concentrate in the first centimeters of the soil surface and can bring over time the consequences of "overliming", mainly nutritional deficiency of micronutrients and below this layer the maintenance of toxic levels of Al and Mn, low pH and low Ca and Mg. Thus, aiming to condition better environment for root growth to minimize such problems, this study aimed to test two systems of agricultural production, both associated with the application of different doses of lime. One consisting in the 1st growing season in the area fallow after cultivation of corn, and in the 2nd growing season in successful soybean per fallow. The other, consisting of the 1st growing season in the area with *Brachiaria ruziziensis*, reminiscent of intercropped with corn, and in the 2nd growing season in soybean intercropped with *Brachiaria ruziziensis*, vegetating this forage remaining after harvest of soybean (ILP). For such an experiment was conducted on a Red Oxissol, clayey, located in the agricultural area of no-tillage system, the Municipality of Bandeirantes-PR. Liming was performed after the corn harvest to raise the base saturation (V %) to 65%, 75% and 90%, a portion of the block without liming (witness) being maintained. Two soil samples were taken at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm, both 50 days after desiccation brachiaria, respectively the week before soybean planting (harvest 2012/2013) and maize (harvest 2013/2014). The experimental design was a split plot in a randomized complete block design with four replications and four plots / block being evaluated: pH in CaCl<sub>2</sub>, MOS, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, P and CEC at pH 7.0. The results showed that the effects of limestone were extended in depth and over time through the mechanisms of mobilization of ions in the soil, mainly the reduction of MOS and levels of Al<sup>3+</sup>, as well as increase in pH and Ca<sup>2+</sup>, and Mg<sup>2+</sup>; ILP promoted an increase in the content of Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, sold the P levels and did not increase the levels of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup>; 1st year in agricultural adoption of ILP had no effect on MOS but the 2nd growing season prevented that there was a greater decrease in this variable; the extent of the effects of liming in depth and improve root environment in the treatments was only partially observed on changes in chemical properties studied.

**Keywords:** *Brachiaria ruziziensis*. ILP. no-tillage system. mobility of ions.

<sup>3</sup> Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL. E-mail: mainardesilva@ffalm.br

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL. E-mail: Tavares@uel.br

## Introdução

No norte do Estado do Paraná geralmente adota-se no sistema de plantio direto (SPD) um cultivo de cobertura de inverno após a colheita da cultura de verão ou da cultura de milho safrinha. Entretanto, frequentemente esse plano rotacional não consegue os benefícios plenos trazidos pela permanente manutenção da palhada na superfície do solo (menor perda de água por evaporação, maior proteção à estrutura superficial do solo, aumento do teor de MOS e da atividade de microorganismos, mesofauna e macrofauna, maior drenagem e aeração do solo, redução da densidade do solo e da infestação de ervas daninhas) . Para tanto as plantas rotacionadas precisariam render uma quantidade de fitomassa pelo menos uma vez e meia a que hoje se consegue, ou seja, uma quantidade próxima a 8 t/ha/ano de massa seca, para que venham a proporcionar uma cobertura da superfície próxima a 100% (FRANCHINI et al., 2009).

O motivo da insuficiência de palha superficial prende-se, principalmente, na baixa disponibilidade hídrica do solo para suprir a necessidade das plantas de cobertura, tais como aveia preta, a ervilhaca e o nabo forrageiro, que são comumente cultivadas nos invernos quentes e, com relativa frequência, secos, típicos dessa região do estado (LARACH et al., 1984; FRANCHINI et al., 2009).

E, principalmente por esse motivo, muitas vezes nem mesmo tais plantas de cobertura são cultivadas, permanecendo a superfície do solo protegida no outono, inverno e primavera tão somente pela palhada do milho safrinha e ou da cultura de verão. O problema aqui focado, aliás, é muito semelhante ao que ocorre na região oeste do Estado de São Paulo e na maior parte do Brasil Central (BORGHI, 2007).

A deficiente manutenção da palhada na superfície do solo traz, como consequência, o aumento das perdas de água por evaporação e a desagregação da estrutura superficial do solo pelo impacto das gotas de chuva. A deterioração da estrutura do solo acrescida à formação de camadas compactadas pelo tráfego de maquinário agrícola ao longo dos anos e a falta de manutenção dos terraços, intensifica os processos erosivos, reduz o teor de matéria orgânica e produz drástica redução na capacidade de armazenamento de água no solo. Isso, sem dúvida, agrava sobremaneira os efeitos dos veranicos, a ponto de já se ter registrado perdas

de produtividade da soja de até 80% (oitenta por cento) em virtude da seca no Paraná (FRANCHINI et al., 2009).

Por outro lado tem-se observado que no momento do plantio da soja nas áreas nas quais o plantio antecedente foi o milho safrinha ou a cultura solteira de verão em consórcio com *Brachiaria ruziziensis* ou *Brachiaria brizantha*, a quantidade de palha pode chegar a 8 t/ha (FRANCHINI et al., 2009), a 10 t/ha (LAMAS; STAUT, 2005) ou até a 20 t/ha (CRUSCIOL et al., 2009), fato de suma importância para a sustentabilidade do SPD nessas regiões (BORGHI, 2004).

Além disso, essas forrageiras são altamente resistentes à maior parte das pragas e doenças e, por isso, podem quebrar os ciclos dos agentes bióticos e abióticos nocivos às plantas cultivadas; dificultam a emergência de plantas daninhas, reduzem a evaporação de água do solo, aumentam a atividade biológica do solo e sua eficiência na reciclagem de nutrientes, melhoram suas propriedades físicas e químicas (KLUTHCOUSCI et al., 2004).

Ressalta-se também que a braquiária constitui opção de destaque entre as espécies com potencial para promover melhorias à estrutura do solo, em razão da quantidade, qualidade e distribuição de fitomassa radicular que adiciona ao solo, além do que essas forrageiras possuem satisfatória tolerância à compactação do solo, e não interferem significativamente na produtividade do milho, fato que as tornam culturas altamente recomendáveis para a sustentabilidade do sistema de plantio direto (DENARDIN et al., 2008).

Borghi (2007) afirma que no Brasil a degradação das pastagens acaba refletindo na baixa lotação animal por área, onde a média não ultrapassa 0,4 unidade animal por hectare, no baixo ganho de peso durante a estação das chuvas e, principalmente, na perda de peso na estação seca, sendo que em toda a atividade as perdas anuais são superiores a um bilhão de dólares/ano. Enfatiza, assim, que o cultivo consorciado de culturas graníferas de verão com as forrageiras pode proporcionar aumento da disponibilidade de forragem em plena estação seca, com valor nutritivo suficiente para a manutenção nutricional dos rebanhos, podendo até promover ganho de peso e produção de palhada para o SPD, sem a necessidade de semeadura de plantas de cobertura na estação inverno/primavera. Borghi (2007) e Kluthcousci et al. (2004) também enfatizam que no sistema de integração lavoura-pecuária, a forrageira tem a função de fornecer alimento para a exploração pecuária, a partir do final do verão até início da primavera, e, posteriormente, de

formação de palhada para o cultivo da cultura produtora de grãos em SPD. Cassol (2003) ressalta, ainda, como benefícios do SILP: 1) possibilidade de introduzir, renovar ou recuperar as pastagens a custos menores; 2) aproveitamento residual do adubo aplicado nas culturas de grãos pelas pastagens que se desenvolvem na sequência, criando condições para se trabalhar com pastagens de qualidade e elevado potencial produtivo; 3) aumento da rentabilidade e diminuição da dependência dos produtores, do cultivo de grãos; e 4) aumento da liquidez pela possibilidade de realização financeira imediata com o gado.

Assim, o consórcio de culturas graníferas com as forrageiras tropicais perenes, como as pertencentes aos gêneros *Brachiaria* spp. e *Panicum* spp., pode manter a sustentabilidade do SPD no norte do Paraná. Isso, não apenas pelas potencialidades desses sistemas de produção, mas também dado a possibilidade do consorcio poder ser estabelecido com as culturas de verão (milho, sorgo e soja) ou milho safrinha, através do sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) (KLUTHCOUSCI et al., 2004), do qual advém ganhos recíprocos para ambas as atividades (ZANINE et al., 2006; CASSOL, 2003).

Assim, recentemente o interesse pelo cultivo consorciado de plantas produtoras de grãos com forrageiras tropicais em SPD tem aumentado significativamente por parte de técnicos e produtores das regiões caracterizadas com inverno seco. Apesar disso, a adoção do SILP no norte do estado não tem se difundido muito, provavelmente em razão da pesquisa ainda ser insuficiente nas condições de solo e clima regionais e dos entraves para a sua adoção, os quais assim foram resumidos por Cassol (2003): 1) a escolha da combinação de culturas e pastagens ligadas aos interesses dos sistemas de produção em uso; 2) o risco de compactação adicional do solo promovido pela entrada dos animais; 3) o aumento da complexidade do sistema, exigindo maior preparo dos técnicos e produtores; e 4) a aceitação da pecuária por agricultores tradicionais e vice-versa.

Por outro lado, à par da insuficiência na disponibilidade hídrica do solo nos invernos secos, também constitui-se num entrave para a sustentabilidade do SPD um outro problema que pode ser considerado paradoxal.

E isso uma vez que dado a sua relativa imobilidade no solo, há que ser incorporado o corretivo agrícola, sob pena de nos primeiros centímetros da superfície do solo verificar-se ao longo do tempo as consequências nocivas da supercalagem e, abaixo, os problemas trazidos pela acidez, como a deficiência de

$\text{Ca}^{2+}$  e a toxidez de  $\text{Al}^{3+}$ , principais limitações químicas para o desenvolvimento radicular das plantas cultivadas. O revolvimento do solo, contudo, como ressaltam Cambri e Alleoni (2002), põe a perder os efeitos benéficos obtidos desde a adoção do SPD, sobretudo em razão dessa prática acelerar o processo de oxidação da matéria orgânica. Esse fato enseja o comprometimento de atributos físicos qualitativos, como a drenagem da água, a aeração e a erodibilidade do solo, bem como de atributos químicos, como redução da MOS, CTC, pH, etc.

Contudo, hoje se sabe que no solo pode haver a formação de complexos orgânicos à partir de ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AOBMM) associados a  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e outros íons, possibilitando a movimentação dos mesmos e aumento dos seus teores, bem como correção do pH e insolubilização de  $\text{Al}^{3+}$  em profundidade (MIYAZAWA; PAVAN; FRANCHINI, 2000).

De fato Franchini et al. (2001) nessa linha, afirmam que o calcário aplicado na superfície do solo apresenta baixa eficiência na correção da acidez subsuperficial, mas que a eficiência pode ser melhorada através de compostos orgânicos hidrossolúveis liberados pelos resíduos vegetais (AOBMM).

Essa possibilidade foi demonstrada, como no trabalho sob condições controladas desenvolvido por Pavan e Miyazawa (1998). Também mostram tais resultados os estudos de Miyazawa, Pavan e Franchini (1998), Franchini et al. (1999a, 1999b), Ziglio, Miyazawa e Pavan (1999), Cassiolo et al. (2000) e Franchini et al. (2001), entre outros, embora em nenhum deles tenha sido testado o comportamento das forrageiras tropicais perenes.

Assim seria desejável que a cultura de cobertura pudesse, uma vez dessecada, liberar quantidade expressiva de AOBMM que possam formar complexos com o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , possibilitando a movimentação e estabelecimento desses cátions em profundidade sem a necessidade de revolvimento do solo.

A mobilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  é particularmente importante na medida que é lenta a movimentação desse cátion no perfil do solo e a deficiência de cálcio impede o crescimento de raízes (QUAGGIO, 2000).

Dessa forma justifica-se avaliar o potencial das forrageiras tropicais em condições de campo para promover a movimentação e estabelecimento de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em profundidade, o que poderia concorrer para minimizar os efeitos da seca em razão do fomento ao crescimento radicular.

Dessa forma a adoção do sistema de integração lavoura-pecuária, associado à aplicação de calcário, pode condicionar um melhor ambiente para crescimento radicular, o que será refletido nas características químicas e físicas do solo. Isso pode ocorrer pelo maior volume de fitomassa incorporada ao solo, maior proteção da superfície do solo do impacto das gotas de chuva e maior reciclagem de nutrientes, em razão do crescimento vigoroso e profundo das brachiarias e de sua capacidade de produção de palhada. E, embora seja praticamente desconhecido o potencial dos consórcios em formar complexos orgânicos à partir dos AOBMM acredita-se seja o mesmo significativo, em razão da quantidade de resíduos vegetais formados, dado a uma maior densidade de plantas/m<sup>2</sup>. Tais complexos podem se movimentar no perfil e aumentar o teor de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em profundidade, bem como elevar o pH e insolubilizar Al<sup>3+</sup>, melhorando a eficiência do calcário colocado sobre a superfície do solo.

Ao condicionar um melhor ambiente para crescimento radicular serão reduzidos os riscos associados a ocorrência de secas, uma vez que as raízes poderão crescer mais e dispor de um maior reservatório de água disponível. Ademais, ampliando os efeitos da calagem em profundidade por certo serão minoradas as consequências da “supercalagem” na camada superficial, pois diminui a possibilidade dos produtos da reação do calcário no solo permanecerem concentrados nesta camada.

O presente trabalho, assim, objetivou testar dois sistemas de produção agrícola, ambos associados à aplicação de diferentes doses de calcário, consistindo um deles em área com pousio, no primeiro ano agrícola, e cultura de soja seguida por pousio, no segundo ano agrícola. O outro, consistindo, no primeiro ano agrícola, em área com *Brachiaria ruziziensis* remanescente do consórcio com a cultura de milho, e, no segundo ano agrícola, cultura da soja consorciada com *Brachiaria ruziziensis*, seguida por esta forrageira remanescente deste consórcio (ILP). Isso, com vistas a verificar a eficiência destes tratamentos em condicionar melhor ambiente para crescimento radicular, o que será refletido nas alterações dos atributos químicos do solo, o que viria a minimizar os efeitos dos veranicos e da “supercalagem”.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em dois anos agrícolas em área de plantio direto, localizada no município de Bandeirantes-PR, no *Campus* Luiz Meneghel da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP/CLM). Esta área apresenta 440 m de altitude, sendo constituída por solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, (SANTOS et al., 2013; SILVA et al., 1995). A pluviosidade média anual do município é de 1443 mm e o clima definido como subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen.

Inicialmente foi procedida a demarcação das parcelas experimentais, amostragem e análise para caracterização do estado de fertilidade inicial do solo (Tabelas 1). E, em 22 de outubro de 2011, foi procedido o plantio da cultura do milho, cultivar 30F35H pionner, na densidade de 3,4 sementes/m e espaçamento de 45 cm entre linhas (safra 2011/2012).

Após 20 dias houve a subdivisão de cada parcela em duas subparcelas, sendo, então, inserido em uma delas, o plantio da *Brachiaria ruziziensis*, cultivada em linha, na densidade de 10 kg de sementes/ha, no espaçamento de 45 cm entre linhas, estabelecendo um consórcio milho-brachiaria.

Após a colheita do milho, que se deu em 05 de março de 2012, todas as subparcelas foram amostradas na camada de 0-20 cm e analisadas com vistas ao cálculo das doses de calcário que seriam empregadas nos tratamentos.

Em meados de março de 2012 as subparcelas receberam a aplicação de calcário calcítico, PRNT= 86%, para elevar a saturação por bases do solo (V%) à 65%, havendo para tanto a aplicação de calcário em dosagens que variaram de 0,21 a 0,43 t/ha; à 75%, com a aplicação de dosagens que variaram de 1,25 a 2,49 t/ha, e, à 90%, com a aplicação de dosagens que variaram de 3,7 a 4,2 t/ha, sendo mantida uma parcela/bloco sem calagem (testemunha).

Em 11 de setembro de 2012 foi realizada a dessecação da brachiária com o herbicida glyphosate, na base de 3 l/ha, e uma semana antes deste plantio, que se deu em 07 de novembro de 2012, fora procedido a amostragem do solo em cada subparcela. Nesta amostragem foram coletadas 5 (cinco) amostras deformadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm destinadas às seguintes análises: pH em CaCl<sub>2</sub>, MOS, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, P e CTC a pH 7,0, seguindo metodologias descritas em Claessen et al. (1997) e Larach et al. (1984).

A safra (2012/2013), por sua vez, foi iniciada em 07 de novembro de 2012, quando em cada parcela foi realizado o plantio da cultura da soja, cultivar BMX Potência RR, na densidade de 17 sementes/m e espaçamento de 45 cm entre linhas, sendo que vinte dias após houve o plantio em linha de brachiária nas entrelinhas da soja, na densidade de 10 kg de semente/ha, exatamente nas subparcelas que anteriormente haviam recebido o consórcio milho/brachiária.

Assim, para efeito do presente estudo, considerou-se que após a aplicação do calcário foram testados dois sistemas de produção agrícola: o representado no 1º ano agrícola pelo pousio, após cultivo de milho, que no 2º ano agrícola foi sucedido pela cultura da soja, que por sua vez foi novamente sucedida por pousio; e a ILP (integração lavoura-pecuária), representado no 1º ano agrícola pela *Brachiaria ruziziensis*, remanescente de consórcio com a cultura de milho, que no 2º ano agrícola foi sucedida pela soja consorciada com *Brachiaria ruziziensis*, permanecendo esta forrageira vegetando após a colheita do soja até a implantação da nova safra.

Em meados de setembro de 2013 novamente houve a dessecação da brachiária, sendo que em 13 de outubro de 2013 iniciou-se nova amostragem do solo em todas as sub-parcelas, nos mesmos moldes da amostragem anteriormente descrita.

O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas em blocos casualizados, com 4 repetições e 4 parcelas/bloco. Para avaliar o efeito das diferentes doses de calcário e dos sistemas de cultivo foram realizadas análises de correlação de Pearson e regressão linear. As significâncias dos coeficientes de correlação e determinação ( $r$  e  $r^2$ ) foram testados pelo teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ). Para verificar o efeito dessas variáveis em função do tempo foi realizado o teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ) para amostras pareadas duas a duas para cada profundidade e em função do sistema de cultivo foi realizado o teste  $t$  ( $p \leq 0,05$ ) para amostras não pareadas duas a duas para cada profundidade, presumindo-se variâncias equivalentes ou diferentes conforme prévia análise ( $p \leq 0,05$ ).

## **Resultados e Discussão**

**Tabela 1-** Coeficientes de correlação de Pearson (r) - sistema de produção agrícola sem brachiaria 234 dac.

	(V%)	Al 0-5	Ca 0-5	K 0-5	Mg 0-5	MOS 0-5	P 0-5	pH 0-5
Al 0-5	<b>-0,50</b>							
Ca 0-5	<b>0,60</b>	<b>-0,69</b>						
K 0-5	0,29	-0,41	0,37					
Mg 0-5	0,44	<b>-0,51</b>	0,19	0,38				
MOS 0-5	0,22	-0,28	0,30	0,40	0,28			
P 0-5	0,03	0,39	-0,21	0,17	0,01	-0,12		
pH 0-5	<b>0,73</b>	<b>-0,79</b>	<b>0,78</b>	0,48	<b>0,53</b>	0,27	-0,23	
T 0-5	-0,20	-0,44	0,04	0,46	0,27	0,27	-0,28	0,07

	(V%)	Al 0-5	Ca 0-5	K 0-5	Mg 0-5	MOS 0-5	P 0-5	pH 0-5
Al 5-10	<b>-0,50</b>							
Ca 5-10	<b>0,67</b>	-0,35						
K 5-10	0,22	-0,36	0,45					
Mg 5-10	0,38	<b>-0,57</b>	<b>0,67</b>	<b>0,54</b>				
MOS 5-10	0,30	-0,42	0,43	<b>0,56</b>	<b>0,59</b>			
P 5-10	-0,05	-0,43	0,36	0,26	<b>0,59</b>	0,03		
pH 5-10	<b>0,55</b>	<b>-0,84</b>	<b>0,54</b>	0,45	<b>0,59</b>	0,45	<b>0,52</b>	
T 5-10	0,02	0,32	0,00	-0,16	0,09	-0,14	0,09	-0,13

	(V%)	Al 0-5	Ca 0-5	K 0-5	Mg 0-5	MOS 0-5	P 0-5	pH 0-5
Al 10-20	-0,28							
Ca 10-20	0,38	<b>-0,81</b>						
K 10-20	0,32	<b>-0,51</b>	<b>0,52</b>					
Mg 10-20	0,25	<b>-0,71</b>	<b>0,89</b>	<b>0,58</b>				
MOS 10-20	0,37	<b>-0,54</b>	<b>0,50</b>	<b>0,56</b>	0,35			
P 10-20	0,14	0,03	0,20	0,22	0,42	-0,03		
pH 10-20	0,28	<b>-0,95</b>	<b>0,82</b>	<b>0,59</b>	<b>0,73</b>	<b>0,54</b>	0,08	
T 10-20	-0,31	0,15	-0,27	-0,02	-0,25	0,15	0,19	-0,11

Fonte: O autor.

Teste t não direcional do módulo do coeficiente de correlação de Pearson  $|r|$  para  $n=16$ :  $p<0,05$  se  $|r|>0,49$ . dac= dias após a calagem.

**Tabela 2-** Coeficientes de correlação de Pearson (r) - sistema de produção agrícola com brachiaria 234 dac.

	(V%)	Al 0-5	Ca 0-5	K 0-5	Mg 0-5	MOS 0-5	P 0-5	pH 0-5
Al 0-5	-0,38							
Ca 0-5	<b>0,60</b>	-0,48						
K 0-5	0,42	-0,31	0,06					
Mg 0-5	0,33	<b>-0,51</b>	0,40	0,15				
MOS 0-5	0,07	-0,13	0,26	0,46	-0,07			
P 0-5	0,29	-0,37	0,29	0,34	0,35	0,11		
pH 0-5	<b>0,68</b>	<b>-0,66</b>	<b>0,76</b>	0,21	<b>0,65</b>	-0,03	0,32	
T 0-5	-0,10	0,38	-0,05	-0,32	<b>-0,52</b>	0,27	-0,02	-0,42

	(V%)	Al 0-5	Ca 0-5	K 0-5	Mg 0-5	MOS 0-5	P 0-5	pH 0-5
Al 5-10	-0,48							
Ca 5-10	<b>0,55</b>	<b>-0,73</b>						
K 5-10	<b>0,56</b>	<b>-0,63</b>	0,35					
Mg 5-10	0,46	<b>-0,67</b>	<b>0,85</b>	0,48				
MOS 5-10	-0,18	-0,26	0,16	0,09	0,45			
P 5-10	-0,09	0,25	-0,23	-0,15	-0,09	0,15		
pH 5-10	0,38	<b>-0,89</b>	<b>0,68</b>	<b>0,75</b>	<b>0,78</b>	0,32	-0,20	
T 5-10	0,00	<b>0,51</b>	-0,02	-0,46	-0,04	0,22	0,12	<b>-0,55</b>

	(V%)	Al 0-5	Ca 0-5	K 0-5	Mg 0-5	MOS 0-5	P 0-5	pH 0-5
Al 10-20	-0,40							
Ca 10-20	<b>0,58</b>	<b>-0,73</b>						
K 10-20	0,30	<b>-0,53</b>	0,27					
Mg 10-20	0,28	<b>-0,59</b>	<b>0,67</b>	0,19				
MOS 10-20	0,15	-0,20	0,44	<b>0,53</b>	0,34			
P 10-20	-0,21	0,33	-0,26	0,19	0,05	0,40		
pH 10-20	0,31	<b>-0,92</b>	<b>0,68</b>	<b>0,59</b>	<b>0,69</b>	0,28	-0,17	
T 10-20	-0,11	<b>0,58</b>	-0,35	-0,37	-0,12	0,07	0,10	<b>-0,56</b>

Fonte: O autor.

Teste t não direcional do módulo do coeficiente de correlação de Pearson  $|r|$  para  $n=16$ :  $p<0,05$  se  $|r|>0,49$ . dac= dias após a calagem.

**Tabela 3 -** Coeficientes de correlação de Pearson (r) - sistema de produção agrícola sem brachiaria 582 dac.

	(V%)	Al 0-5	Ca 0-5	K 0-5	Mg 0-5	MOS 0-5	P 0-5	pH 0-5
Al 0-5	<b>-0,66</b>							
Ca 0-5	<b>0,87</b>	<b>-0,59</b>						
K 0-5	-0,28	0,33	-0,05					
Mg 0-5	0,26	-0,39	0,48	-0,25				
MOS 0-5	0,19	-0,30	0,47	0,13	0,47			
P 0-5	-0,22	0,39	0,01	0,13	0,39	0,27		
pH 0-5	<b>0,88</b>	<b>-0,74</b>	<b>0,96</b>	-0,08	0,40	0,46	-0,13	
T 0-5	-0,14	0,14	-0,26	-0,31	0,00	-0,35	-0,35	-0,24

	(V%)	Al 5-10	Ca 5-10	K 5-10	Mg 5-10	MOS 5-10	P 5-10	pH 5-10
Al 5-10	<b>-0,70</b>							
Ca 5-10	<b>0,51</b>	-0,46						
K 5-10	0,23	-0,38	<b>0,49</b>					
Mg 5-10	<b>0,53</b>	-0,47	<b>0,63</b>	<b>0,72</b>				
MOS 5-10	0,35	-0,46	<b>0,63</b>	<b>0,79</b>	<b>0,73</b>			
P 5-10	-0,21	0,29	0,00	0,25	0,06	0,28		
pH 5-10	<b>0,74</b>	<b>-0,74</b>	<b>0,91</b>	<b>0,51</b>	<b>0,66</b>	<b>0,62</b>	-0,06	
T 5-10	0,00	-0,05	-0,04	-0,05	0,02	-0,20	-0,08	-0,04

	(V%)	Al 10-20	Ca 10-20	K 10-20	Mg 10-20	MOS 10-20	P 10-20	pH 10-20
Al 10-20	-0,36							
Ca 10-20	<b>0,56</b>	<b>-0,83</b>						
K 10-20	0,15	-0,16	0,24					
Mg 10-20	<b>0,79</b>	<b>-0,59</b>	<b>0,66</b>	0,24				
MOS 10-20	0,18	-0,26	0,31	<b>0,75</b>	0,20			
P 10-20	-0,05	0,26	-0,18	<b>0,56</b>	-0,11	<b>0,59</b>		
pH 10-20	<b>0,63</b>	<b>-0,89</b>	<b>0,91</b>	0,23	<b>0,79</b>	0,31	-0,21	
T 10-20	0,20	-0,01	-0,10	-0,20	0,26	-0,02	0,05	0,03

Fonte: O autor.

Teste t não direcional do módulo do coeficiente de correlação de Pearson  $|r|$  para  $n=16$ :  $p<0,05$  se  $|r|>0,49$ . dac= dias após a calagem.

**Tabela 4 -** Coeficientes de correlação de Pearson (r) - sistema de produção agrícola com brachiaria 582 dac.

	(V%)	Al 0-5	Ca 0-5	K 0-5	Mg 0-5	MOS 0-5	P 0-5	pH 0-5
Al 0-5	-0,34							
Ca 0-5	<b>0,84</b>	-0,16						
K 0-5	0,25	-0,32	0,33					
Mg 0-5	0,34	0,20	<b>0,54</b>	0,40				
MOS 0-5	0,47	-0,34	<b>0,61</b>	0,47	<b>0,49</b>			
P 0-5	0,16	0,08	0,45	<b>0,56</b>	0,48	0,23		
pH 0-5	<b>0,83</b>	<b>-0,51</b>	<b>0,84</b>	0,44	0,25	<b>0,61</b>	0,31	
T 0-5	-0,46	0,22	<b>-0,61</b>	-0,32	-0,30	-0,35	<b>-0,68</b>	-0,43

	(V%)	Al 5-10	Ca 5-10	K 5-10	Mg 5-10	MOS 5-10	P 5-10	pH 5-10
Al 5-10	<b>-0,70</b>							
Ca 5-10	<b>0,69</b>	<b>-0,53</b>						
K 5-10	0,31	<b>-0,51</b>	0,35					
Mg 5-10	0,27	-0,12	<b>0,66</b>	0,24				
MOS 5-10	<b>0,77</b>	<b>-0,66</b>	<b>0,92</b>	0,35	<b>0,59</b>			
P 5-10	0,40	<b>-0,50</b>	<b>0,57</b>	<b>0,52</b>	0,35	<b>0,56</b>		
pH 5-10	<b>0,82</b>	<b>-0,80</b>	<b>0,83</b>	0,40	0,38	<b>0,89</b>	<b>0,63</b>	
T 5-10	-0,29	0,40	-0,12	-0,30	-0,12	-0,22	<b>-0,65</b>	-0,32

	(V%)	Al 10-20	Ca 10-20	K 10-20	Mg 10-20	MOS 10-20	P 10-20	pH 10-20
Al 10-20	-0,45							
Ca 10-20	<b>0,62</b>	<b>-0,62</b>						
K 10-20	0,21	<b>-0,54</b>	0,48					
Mg 10-20	0,35	<b>-0,64</b>	<b>0,71</b>	0,44				
MOS 10-20	0,18	-0,47	0,30	<b>0,77</b>	<b>0,51</b>			
P 10-20	0,33	-0,19	0,07	-0,07	0,28	0,07		
pH 10-20	0,43	<b>-0,95</b>	<b>0,69</b>	<b>0,62</b>	<b>0,73</b>	<b>0,55</b>	0,24	
T 10-20	-0,35	0,21	-0,03	-0,42	-0,14	<b>-0,52</b>	-0,33	-0,23

Fonte: O autor.

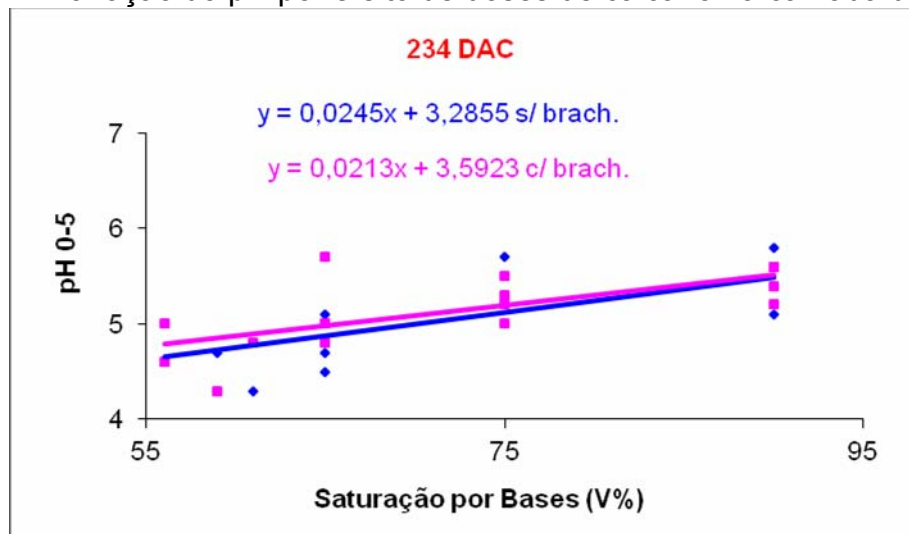
Teste t não direcional do módulo do coeficiente de correlação de Pearson  $|r|$  para  $n=16$ :  $p<0,05$  se  $|r|>0,49$ . dac= dias após a calagem.

## Ph

Ao final do 1º ano agrícola, ou seja, aos 234 dias após a calagem (234 dac), na profundidade de 0-5 cm observou-se o efeito das crescentes doses de calcário empregadas no aumento do pH (Figura 1), tal como seria esperado em face da estreita correlação entre pH e V% (MOTTA; MELO, 2009; LEPSCH, 2011).

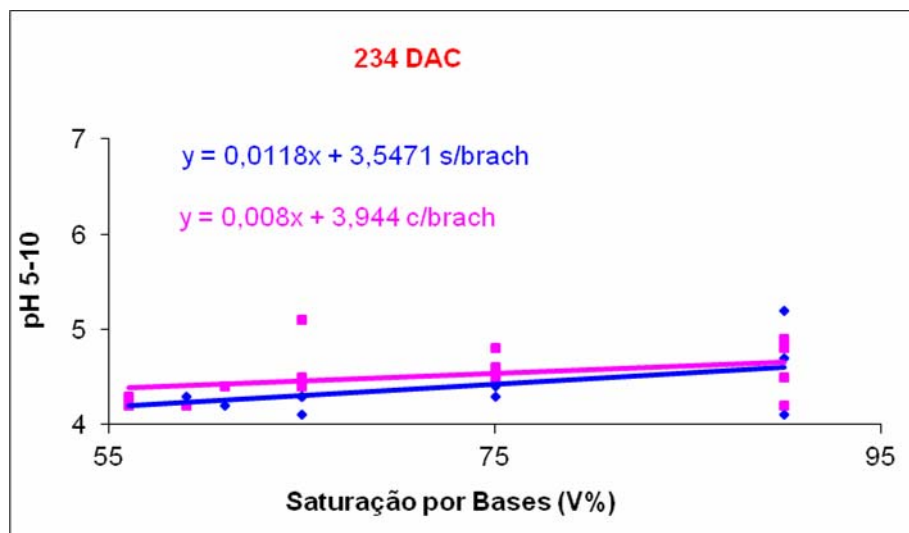
Já na camada de 5-10 cm constatou-se que houve efeito de doses de calcário somente nas parcelas sem brachiaria (Figura 2).

**Figura 1 -** Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 2 -** Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

Isso, por um lado comprova que o efeito do calcário em aumentar pH se estendeu até esta profundidade, aumentando a sua efetividade na proporção da dose de calcário empregada na superfície. Por outro, evidencia que os ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AOBMM) liberados durante a decomposição inicial dos resíduos vegetais (AMARAL, 2002), produzidos pela brachiaria, atuaram como ligantes orgânicos associando-se a  $\text{Ca}^{2+}$  e ou  $\text{Mg}^{2+}$  na camada de 0-5 cm, adquirindo cargas neutras ou negativas ( $\text{CaL}^0$  ou  $\text{CaL}^-$ ,  $\text{MgL}^0$  ou  $\text{MgL}^-$ , onde L= ligante orgânico), conforme considerado por Amaral (2002) e Miyazawa, Pavan e Franchini (2000). E como o solo possui predominantemente carga negativa, a qual

foi aumentada pelo aumento de pH na camada 0-5 cm, a retenção dessas moléculas foi baixa nesta camada, favorecendo a lixívia desses cátions na forma de complexos orgânicos.

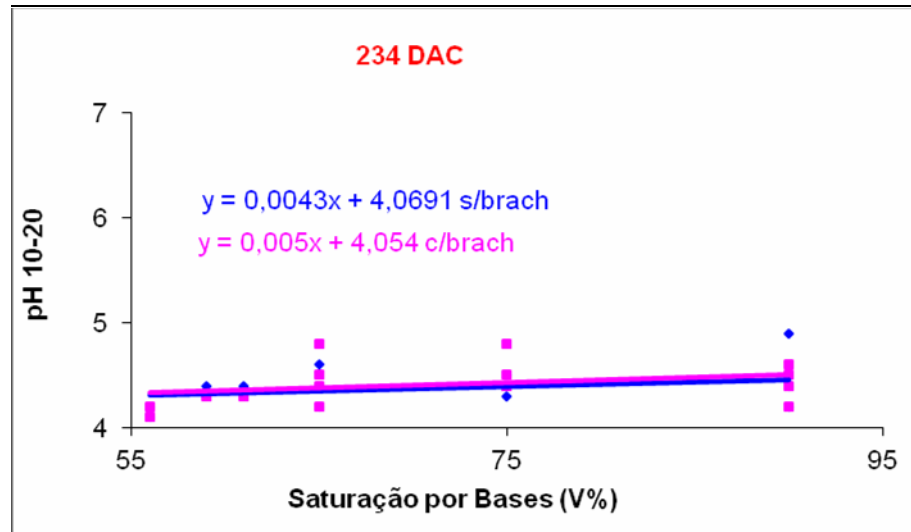
Assim, na camada de 5-10 cm o aporte desses cátions polivalentes possivelmente tenha ocorrido, embora preferencialmente nas parcelas que receberam doses baixas de calcário, pois nas doses altas o aumento nas cargas negativas dependentes de pH seria um obstáculo para que isso ocorresse. Assim, ao ser estabelecido a troca destes cátions associados aos ligantes orgânicos com  $H^+$  da solução do solo houve aumento do pH, conforme modelo proposto por Miyazawa, Pavan e Franchini (2000), da seguinte forma:  $[R - COOM + H_2O \rightarrow R - COOH + OH + M]$ , onde  $M = K^+, Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Assim, na camada de 5-10 cm não houve suficiente amplitude de aumento de pH em razão do aumento das doses de calcário para haver diferenciação significativa nesta variável nas parcelas que receberam brachiaria. Houve, assim, efeito de doses de calcário somente nas parcelas sem brachiaria.

Na camada de 10-20 cm não houve nenhuma influência das doses de calcário (Figura 3) dado a lentidão com que se opera a correção do pH em profundidade. Isso está coerente com as conclusões de Gonzalez-Erico et al. (1979) e Raji (2011). Ou seja, que o efeito da correção química da acidez do solo tende inicialmente a restringir-se ao local de aplicação e somente de forma muito lenta atinge as camadas mais profundas, isso dependendo, conforme Amaral (2002), de muitos fatores, tais como: tipo de solo (drenagem, textura, estrutura), clima (temperatura, precipitações), tempo de adoção do sistema (volume e continuidade dos macroporos, bioporos, consistência do solo), rotação de culturas (fertilizantes, quantidade e qualidade dos resíduos vegetais, matéria orgânica), calcário (dose, granulometria) e manejo do solo. Essa lentidão por certo também é auxiliada pelo fato de menor quantidade de água alcançar esta profundidade em relação à camada suprajacente, com conseqüente menor aporte de complexos orgânicos e sais.

A dificuldade de correção do subsolo quando não há revolvimento da camada arável, conforme Miyazawa, Pavan e Franchini (2000) e revisão de Tiritan (2001), pode dar-se em razão de íons carbonatos e bicarbonatos, resultantes da dissociação do calcário, terem curta existência antes de sua reação com os componentes da acidez do solo. Cassol (2003) atribui essa dificuldade à ausência de incorporação do calcário, o que diminui a superfície de contato entre as partículas

de solo e as deste corretivo, retardando os efeitos da calagem e restringindo as reações aos centímetros superficiais do solo.

**Figura 3 -** Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



Fonte: O autor.

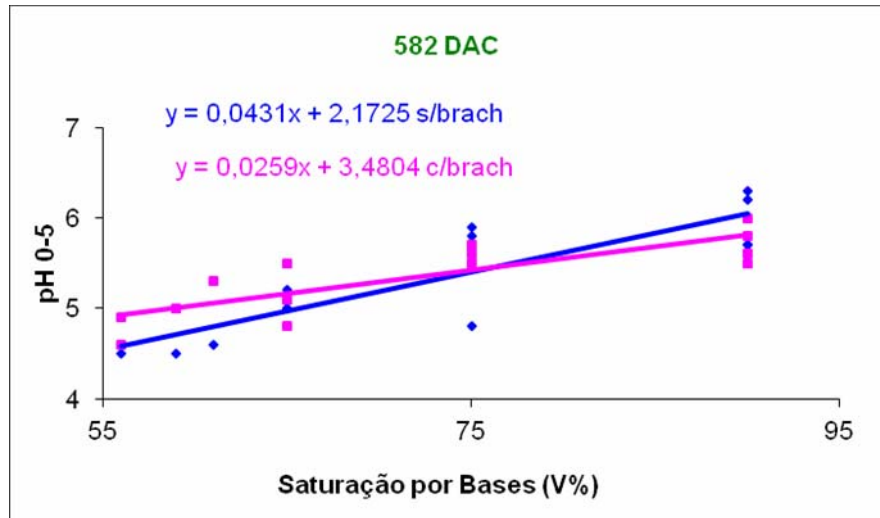
A possibilidade de correção da acidez subsuperficial efetivamente pode dar-se pelo efeito de calcário colocado na superfície mas isso se dá somente quando o pH da solução do solo alcança valores superiores à 5,0 (QUAGGIO, 2000), ocasião em que a espécie  $\text{HCO}_3^-$  passa a estar presente como forma estável na solução. Nessas condições o  $\text{HCO}_3^-$ , produto da reação do calcário no solo, pode migrar como ânion acompanhante do  $\text{Ca}^{2+}$  e do  $\text{Mg}^{2+}$  e corrigir a acidez do solo em profundidade. Assim, com valores superiores a 5,0 já se espera a ocorrência desse fenômeno que, no caso, deve ter ocorrido notadamente para as doses mais elevadas. Dessa forma, conforme esquema de reação proposta por Souza, Miranda, e Oliveira (2007),  $\text{HCO}_3^-$  deixaria de ser estável nas camadas em condição de pH menor, na subsuperfície, quando poderia se dissociar em  $\text{CO}_2 + \text{OH}^-$  aumentando o pH, o que de fato foi constatado nas camadas de 0-5 e 5-10 cm por efeito de doses de calcário, exceto para as parcelas com brachiaria na camada de 5-10 cm pelo motivo já apresentado.

Não pode ser excluído nesse processo a contribuição de outros ânions inorgânicos. No plantio convencional, Raij (2011) afirma que o solo estando sujeito a revolvimento por arações e gradagens, que degradam a matéria orgânica, isso contribui para a lixiviação de nitrato, que carrega cálcio para o subsolo, assim

favorecendo o desenvolvimento radicular. Em se tratando de calagem no SPD, contudo, ressalta que a expectativa é de lentidão dos efeitos decorrente do calcário aplicado na superfície do solo, a que chamou de “onda alcalinizante”, pois mesmo que o calcário seja incorporado no início do plantio direto, não existirão as condições para degradação da matéria orgânica que há no plantio convencional. Quaggio (2000) também afirma que durante a mineralização da matéria orgânica são produzidos ânions, como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^-$  que podem mobilizar, como ânion acompanhante, grandes quantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Entretanto, Oliveira e Pavan (1996) afirmam que a presença de resíduos vegetais na superfície do solo sob plantio direto constitui a principal causa da eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. Na verdade, conforme ressaltam Quaggio (2000) e Amaral (2002), os mecanismos de correção do solo na subsuperfície ainda não são totalmente esclarecidos.

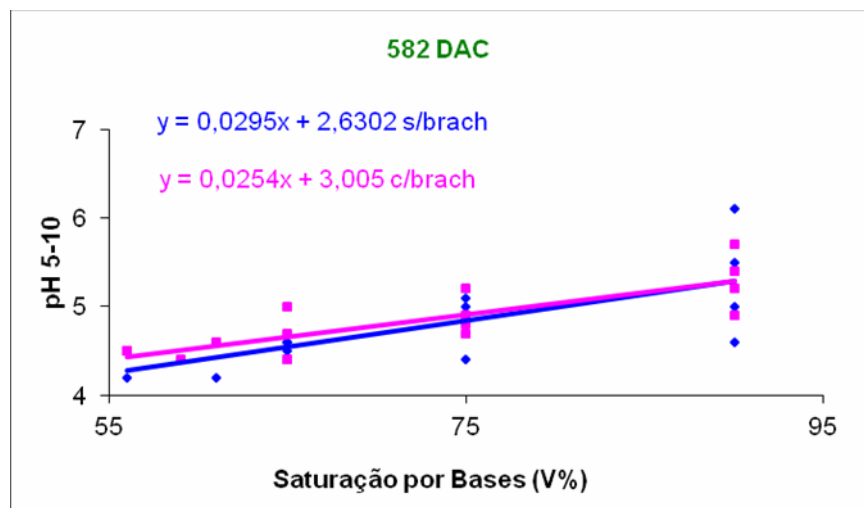
Aos 582 dias após a calagem constata-se que o mesmo comportamento do pH em relação as doses de calcário empregadas, que ocorreu na camada de 0-5 cm no 1º ano agrícola, também ocorreu nas camadas de 0-5 e de 5-10 cm no 2º ano agrícola, e, o mesmo comportamento do pH que ocorreu na camada de 5-10 cm no 1º ano agrícola, também ocorreu na camada de 10-20 cm no 2º ano agrícola (Figuras 4 a 6).

**Figura 4 -** Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



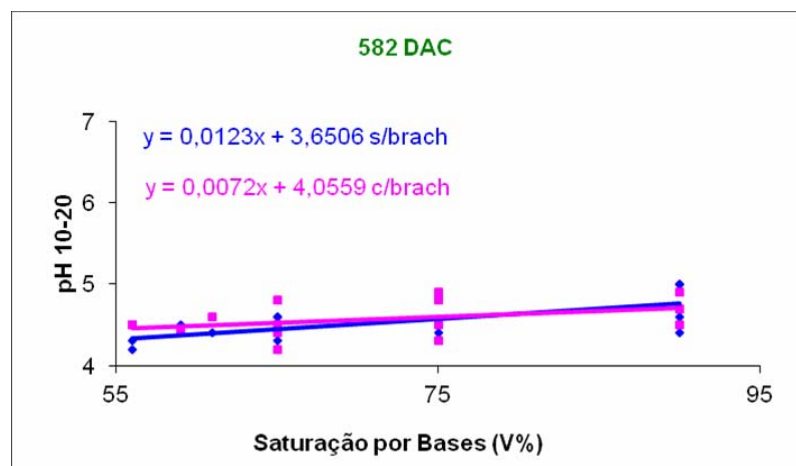
Fonte: O autor.

**Figura 5 -** Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 6 -** Variação do pH por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

Isso revela que a solubilização do calcário e seu efeito corretivo, tanto na superfície quanto nas camadas inferiores, claramente continuou ocorrendo no segundo ano agrícola, aumentando em função da profundidade. Comprova, também, a atuação dos AOBMM aumentando o efeito do calcário na correção do pH em profundidade.

Apesar disso, não houve efeito significativo da brachiaria na elevação do valor pH em profundidade nenhuma das três camadas em nenhum dos anos agrícolas observados. Do 1º para o 2º ano agrícola, contudo, houve aumento significativo do pH em todas as profundidades (Tabelas 5), o que pode ser atribuído a ambos os tratamentos, ao calcário e ao resíduo de brachiaria produzido na ILP (CASSOL, 2003).

**Tabela 5** - Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o pH do solo.

Profundidade		234dac		582dac		media	
0 a 5 cm	s/ brach	5,05 ±0,42	aA	5,28±0,61	bA	<b>5,16±0,51</b>	A
	c/ brach	5,13±0,39	aA	5,34±0,39	bA	<b>5,23±0,39</b>	A
	média	<b>5,09±0,40</b>	a	<b>5,31±,50</b>	b		
		234dac		582dac		media	
5 a 10 cm	s/ brach	4,39±0,26	aA	4,76±0,50	bA	<b>4,58±0,38</b>	A
	c/ brach	4,52±0,26	aA	4,83±0,39	bA	<b>4,68±0,32</b>	A
	média	<b>4,46±0,26</b>	a	<b>4,79±0,44</b>	b		
		234dac		582dac		media	
10 a 20 cm	s/ brach	4,38±0,19	aA	4,54±0,24	bA	<b>4,46±0,21</b>	A
	c/ brach	4,41±0,20	aA	4,58±0,21	bA	<b>4,49±0,20</b>	A
	média	<b>4,40±0,19</b>	a	<b>4,56±0,22</b>	b		

Fonte: O autor.

Letras iguais (minúscula nas linhas ou maiúsculas nas colunas) não diferem no teste t  $p < 0,05$ . Linhas: teste t para dados pareados. Colunas teste t para dados não pareados considerando variâncias equivalentes ou diferentes conforme resultados da análise de variância para cada par de amostras.

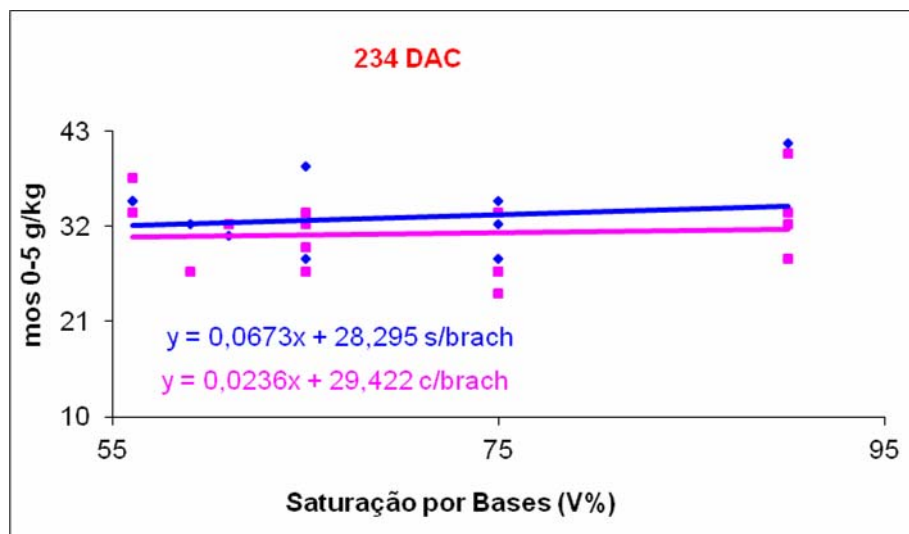
## Matéria Orgânica do Solo

Ao final do 1º ano agrícola, ou seja, aos 234 dias após a calagem não foi constatado efeito significativo de nenhum dos tratamentos na profundidade de 0-5 cm (Figura 7). O esperado aumento do teor de matéria orgânica, decorrente da introdução da brachiaria e consequente incremento na produção de palha superficial, possivelmente tenha sido compensado pelo aumento do valor pH nesta camada, provocando maior atividade de microorganismos e maior decomposição da MOS.

Em adição a isso deve ser considerado que nesse primeiro ano agrícola a palhada de brachiaria permaneceu na superfície do solo por apenas 50 dias após a sua dessecação, quando então foi realizada a amostragem do solo.

Na profundidade de 5-10 cm também não houve efeito de doses de calcário (Figura 8), mas houve efeito de brachiaria no sentido de decrescer o teor de MOS, o que está coerente com o fato de ter havido nas parcelas com brachiaria maior pH nesta camada para as doses baixas de calcário em razão do efeito dos AOBMM que foram mobilizados da camada suprajacente, conforme já discutido. Assim, o efeito desses ligantes orgânicos não foi suficiente para aumentar o pH de forma significativa, embora tenha sido suficiente para promover decréscimo no teor de MOS.

**Figura 7** - Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.

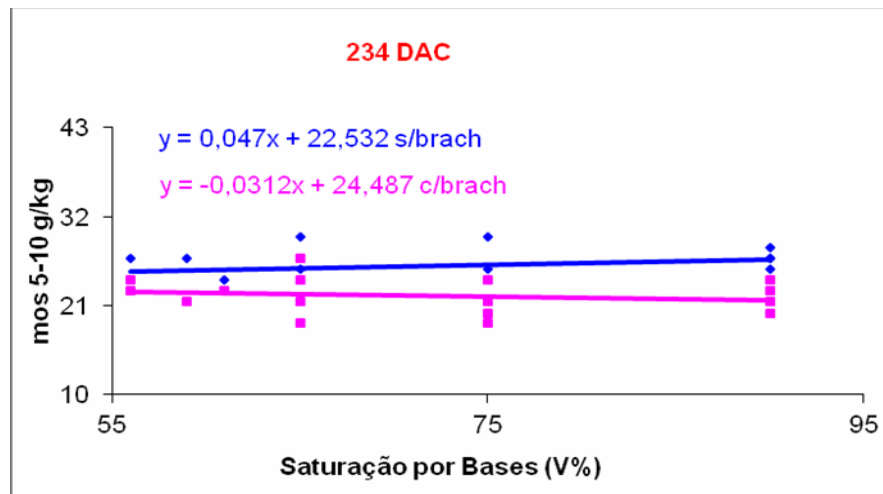


Fonte: O autor.

Na profundidade de 10-20 cm também não foi registrado nenhum efeito das doses de calcário (Figura 9), mas igualmente houve efeito de brachiaria (Tabelas 6), possivelmente em razão do mesmo motivo apontado para o que ocorreu na camada suprajacente, ou seja, o incremento dos AOBMM nesta camada foi insuficiente para efeito significativo no pH, mas suficiente para induzir maior atividade de microorganismos e decrescer o teor de MOS de forma significativa.

Ao final do segundo ano agrícola, ou seja aos 582 dias após a calagem, contudo, já houve aumento do teor de MOS na camada de 0-5 cm ( $p < 0,10$  se o módulo de  $r \geq 0,43$ ) e de 5-10 cm pelo efeito das doses de calcário empregadas nas parcelas que receberam o cultivo de brachiaria (Figura 10 e 11).

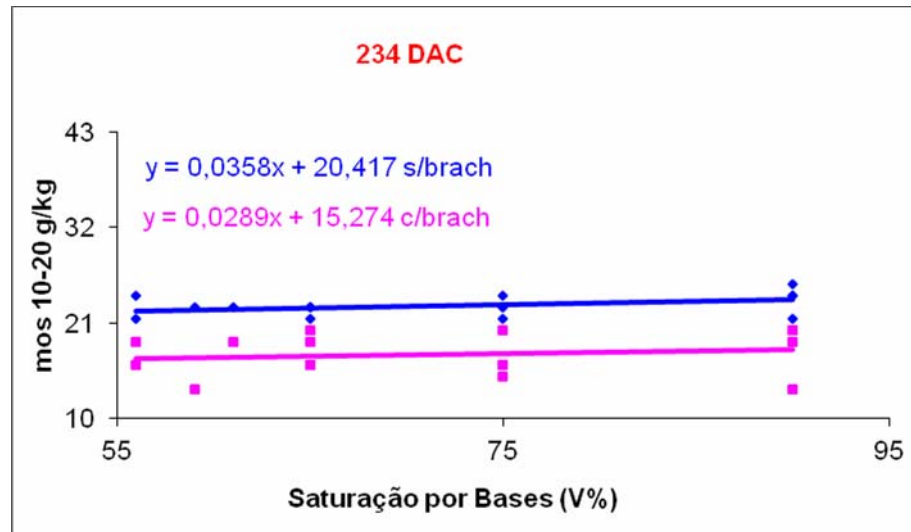
**Figura 8** - Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

Isso demonstra que as parcelas com brachiaria produziram maior teor de MOS nestas camadas em função do aumento das doses de calcário, o que era esperado em razão da grande capacidade das brachiaras em produzir palhada superficial, além do fato do consórcio desta forrageira com a soja representar uma maior densidade de plantas/m<sup>2</sup> e, portanto, de produção e incorporação de fitomassa radicular. Indica também que a brachiaria está condicionando uma maior taxa de deposição/decomposição de MOS, que num tempo maior de observação poderia significar aumento real desta variável, a ponto de vir a superar o seu teor antes da adoção da ILP.

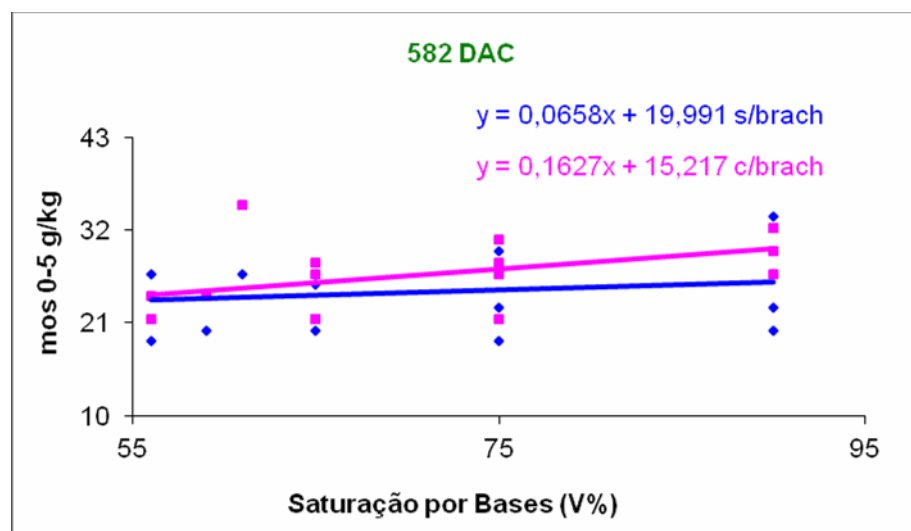
**Figura 9** - Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

Corroborando tal possibilidade registra-se que Crusciol, Borghi e Guaragna (2006) verificaram que um consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*, com a mesma duração do presente experimento, proporcionou maiores valores em MOS em profundidade no solo quando comparado ao milho solteiro.

**Figura 10** - Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.

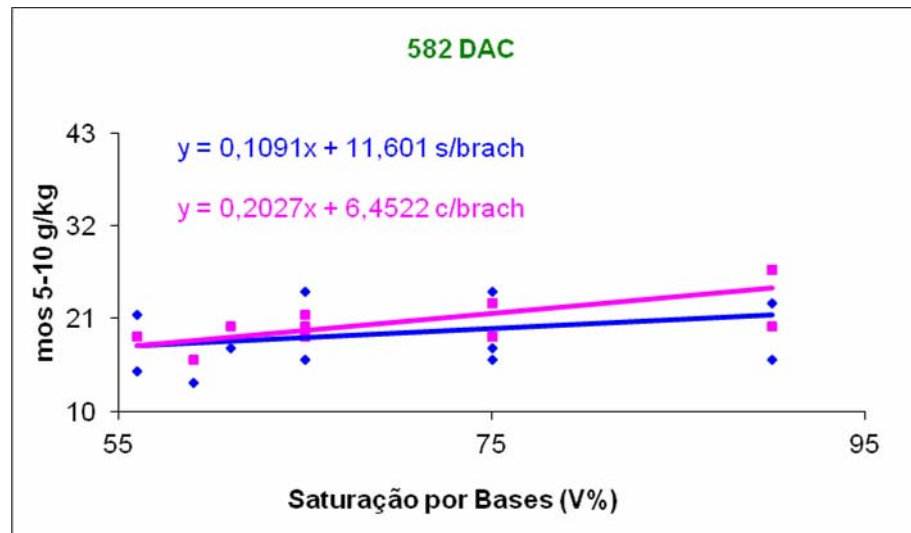


Fonte: O autor.

Contudo, essa capacidade de produção e incorporação de MOS no solo não representou maior teor desta variável em relação ao primeiro ano agrícola. Ao contrário, representou um menor teor, pois, como já discutido, pH aumentou em

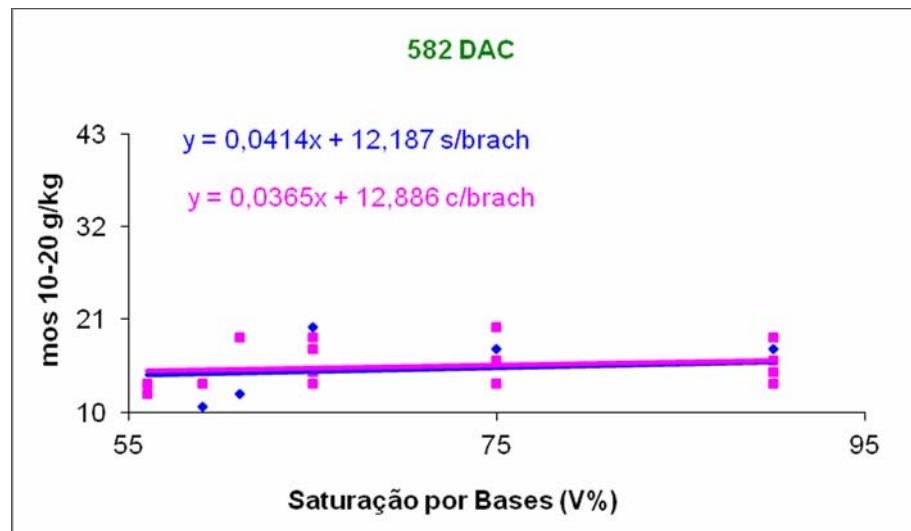
todas as camadas do 1º para o 2º ano agrícola (Tabelas 6) ocasionando um aumento de velocidade no processo de decomposição.

**Figura 11** - Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 12** - Variação da MOS por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

Para as parcelas sem brachiaria também é válida a mesma observação, ou seja, que do 1º para o 2º ano agrícola efetivamente houve redução

na MOS, o que em ambos os casos pode ser atribuído ao aumento do valor pH, ampliando seus efeitos no 2º ano agrícola (Tabelas 6).

Apesar de um maior aporte de palhada na superfície das parcelas com brachiaria neste ano agrícola, isso, contudo, não foi suficiente para promover na camada de 0-5 cm um incremento real de MOS em relação às parcelas sem brachiaria e nem tampouco para determinar aumento real de MOS nesta profundidade em relação ao 1º ano agrícola (Tabelas 6). A maior quantidade de material orgânico na superfície do solo pode ser inferida, haja vista que no decorrer deste período o solo acumulou na superfície a palhada remanescente do primeiro ano agrícola, mais a do segundo ano agrícola. No entanto, está havendo maior taxa de decomposição, em razão do constatado aumento dos valores de pH observados do primeiro para o segundo ano agrícola (Tabelas 6). E isso uma vez que a calagem aumenta a disponibilidade de nutrientes para os organismos, acarretando assim aumento de sua atividade (SILVA; MENDONÇA, 2007).

**Tabela 6** - Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de MOS ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

Profundidade		234dac	582dac	média
0 a 5 cm	s/ brach	33,14±3,76 aA	24,73±4,36 bA	<b>28,94±4,06</b> A
	c/ brach	31,13±4,38 aA	26,93±4,30 bA	<b>29,03±4,34</b> A
	média	<b>32,13±4,07</b> a	<b>25,83±4,33</b> b	
		234dac	582dac	média
5 a 10 cm	s/ brach	25,92±1,98 aA	19,46±3,83 bA	<b>22,69±2,90</b> A
	c/ brach	22,24±2,19 aB	21,04±3,30 bA	<b>21,64±2,74</b> A
	média	<b>24,08±2,08</b> a	<b>20,25±3,56</b> b	
		234dac	582dac	média
10 a 20 cm	s/ brach	22,99±1,19 aA	15,17±2,80 bA	<b>19,08±1,99</b> A
	c/ brach	17,36±2,37 aB	15,51±2,55 bA	<b>16,43±2,46</b> B
	média	<b>20,18±1,78</b> a	<b>15,34±2,67</b> b	

Fonte: O autor.

Letras iguais (minúscula nas linhas ou maiúsculas nas colunas) não diferem no teste t  $p < 0,05$ . Linhas: teste t para dados pareados. Colunas: teste t para dados não pareados considerando variâncias equivalentes ou diferentes conforme resultados da análise de variância para cada par de amostras.

Dessa forma, para ambos os sistemas de produção agrícola, com e sem a adoção da ILP, está havendo uma tendência de decréscimo de MOS em relação ao 1º ano agrícola, mas nas parcelas da ILP está havendo menor decréscimo em razão do maior aporte de material orgânico na superfície do solo, condicionado pela palhada da brachiaria.

Na profundidade de 10-20 cm não se verificou aumento do teor de MOS por efeito de nenhum dos tratamentos (Figura 12), pois naturalmente o teor de MOS é reduzido em profundidade e o processo de deposição de fitomassa radicular pode estar sendo compensado pelo processo de decomposição, em razão do aumento do pH do 1º para o 2º ano agrícola nesta camada (Tabela 6).

## Cálcio

**Tabela 7 -** Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ).

Profundidade		234dac		582dac		media	
0 a 5 cm	s/ brach	6,83±1,51	aA	6,49±2,13	aA	<b>6,66±1,82</b>	A
	c/ brach	6,15±1,14	aA	6,58±1,62	aA	<b>6,36±1,38</b>	A
	média	<b>6,49±1,32</b>	a	<b>6,53±1,87</b>	a		
		234dac		582dac		media	
5 a 10 cm	s/ brach	4,78±1,02	aA	5,17±1,53	aA	<b>4,97±1,27</b>	A
	c/ brach	4,55±0,76	aA	5,09±1,01	bA	<b>4,82±0,88</b>	A
	média	<b>4,66±0,89</b>	a	<b>5,13±1,27</b>	b		
		234dac		582dac		media	
10 a 20 cm	s/ brach	4,40±0,72	aA	4,58±0,68	aA	<b>4,49±0,70</b>	A
	c/ brach	4,22±0,53	aA	4,71±0,79	bA	<b>4,46±0,66</b>	A
	média	<b>4,31±0,62</b>	a	<b>4,64±0,73</b>	b		

Fonte: O autor.

Letras iguais (minúscula nas linhas ou maiúsculas nas colunas) não diferem no teste t  $p < 0,05$ . Linhas: teste t para dados pareados. Colunas: teste t para dados não pareados considerando variâncias equivalentes ou diferentes conforme resultados da análise de variância para cada par de amostras.

Ao final do 1º ano agrícola (234 dac) constata-se, para todas as parcelas, que na camada de 0-5 cm houve efeito de doses de calcário em elevar o teor de  $\text{Ca}^{2+}$ , mas não houve efeito da brachiaria (Figura 13 e Tabelas 7). O aumento do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  com o aumento das doses de calcário era uma correlação esperada, pois quanto maior é a dose maiores são os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  solubilizados à partir do calcário.

Esse cátion, acaso não forme complexos com os AOBMM, tende a permanecer nesta camada em razão da baixa mobilidade do  $\text{Ca}^{2+}$  na forma de carbonato, o que, segundo Miyazawa, Pavan e Franchini (2000), se deve à ausência do ânion acompanhante, uma vez que  $\text{CO}_3^-$  reage com  $\text{H}^+$  do solo e se perde na atmosfera na forma de gás  $\text{CO}_2$ , conforme as seguintes reações: a)  $\text{CaCO}_3 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3$  e b)  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$ .

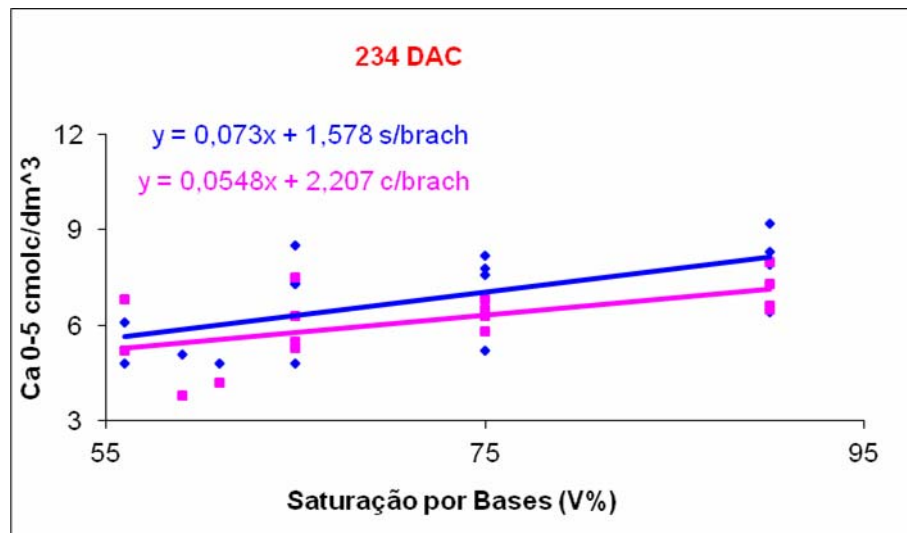
Outro motivo é que à medida que a acidez é corrigida, a elevação do pH causa a deprotonação (dissociação do  $\text{H}^+$ ) e o aparecimento de cargas negativas livres nos coloides orgânicos. Nos coloides inorgânicos, as cargas variáveis, consideradas dependentes de pH, originam-se principalmente nas bordas quebradas de filossilicatos, nos sítios de troca bloqueados e na superfície de óxidos de  $\text{Fe}^{3+}$  e de  $\text{Al}^{3+}$ , o que aumenta a CTC efetiva dificultando a lixiviação dos cátions em profundidade, devido à maior retenção na superfície (QUAGGIO, 2000; ALLEONI et al., 2009).

Assim a extensão dos efeitos da calagem em profundidade se dá de forma lenta, quando a solubilização do calcário possibilitar uma elevação dos valores de pH na superfície para que  $\text{HCO}_3^-$  se torne estável na solução do solo e, conjuntamente com outros ânions inorgânicos, seja mobilizado em profundidade como ânion acompanhante associado aos cátions polivalentes (AMARAL, 2002). Neste primeiro ano agrícola (234 dac) evidenciou-se que esse efeito, batizado por Rajj (2011) de “onda alcalinizante”, alcançou até a profundidade de 10 cm, pois na camada de 5-10 cm, também houve, para todas as parcelas, aumento do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  por efeito de doses de calcário (Figura 14).

Potencialmente nas doses baixas de calcário (com menor influência na carga líquida negativa e, assim, menor repulsão dos complexos orgânicos hidrossolúveis) poderia haver aporte de  $\text{Ca}^{2+}$  por efeito da brachiaria na camada de 5-10 cm. Isso uma vez que evidenciou-se que nessa circunstância houve efeito de elevação do pH pelos AOBMM (Figura 2), o que implica em aumentar o teor de

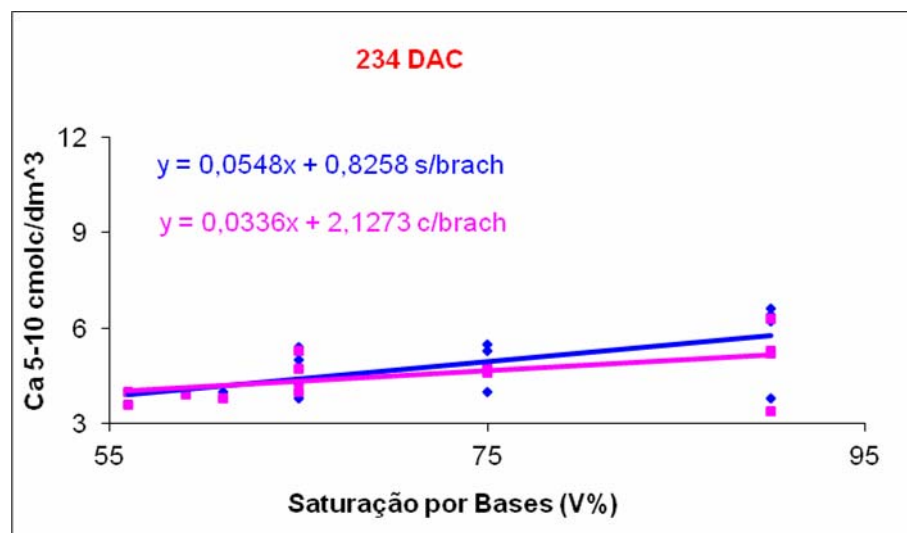
cátions no solo, sejam de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  ou  $Mg^{2+}$ , conforme modelo apresentado por Miyazawa, Pavan e Franchini (2000), da seguinte forma:  $R-COOM + H^+ \rightarrow R-COOH + M$ , onde  $M = K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ .

**Figura 13** - Variação do teor de  $Ca^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 14** - Variação do teor de  $Ca^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



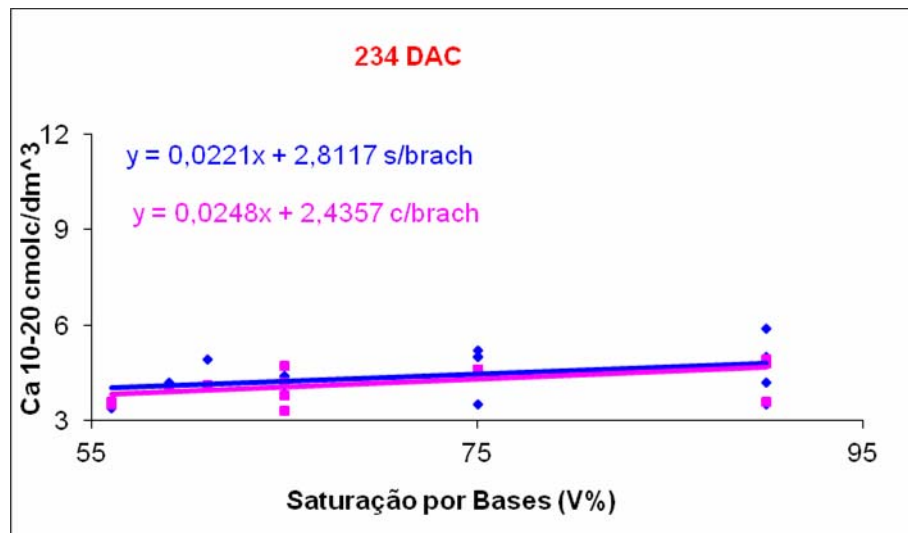
Fonte: O autor.

Entretanto isso não ocorreu, uma vez que houve absorção de cálcio nas sub-parcelas com brachiaria, enquanto que as outras permaneceram em pouso

no 1º ano agrícola. Assim, nas parcelas com brachiaria o aporte de  $\text{Ca}^{2+}$  na profundidade de 5-10 cm, trazido pelos AOBMM possivelmente foi compensado pela absorção deste nutriente por esta forrageira.

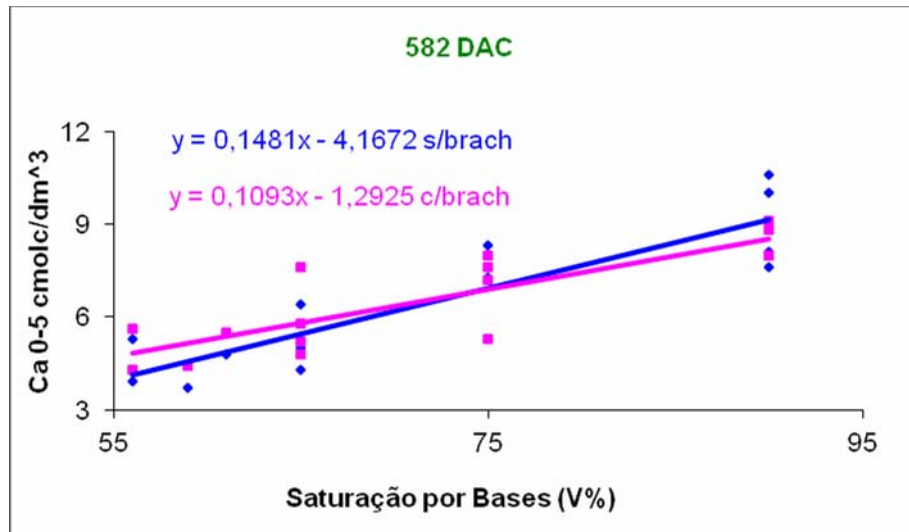
Ainda aos 234 dac, na camada de 10-20 cm constatou-se que somente para as sub-parcelas com brachiaria houve aumento do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  por efeito das doses de calcário (Figura 15). Apesar disso, é provável que nas sub-parcelas com brachiaria não tenha havido aumento deste cátion. Isso infere-se em razão da dispersão dos pontos não permitir resolução suficiente para constatar ou não o efeito do calcário. Essa interpretação se harmoniza com o fato de não ter havido influência dos tratamentos no pH na camada de 10-20 cm (Figura 3).

**Figura 15** - Variação do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm



Fonte: O autor.

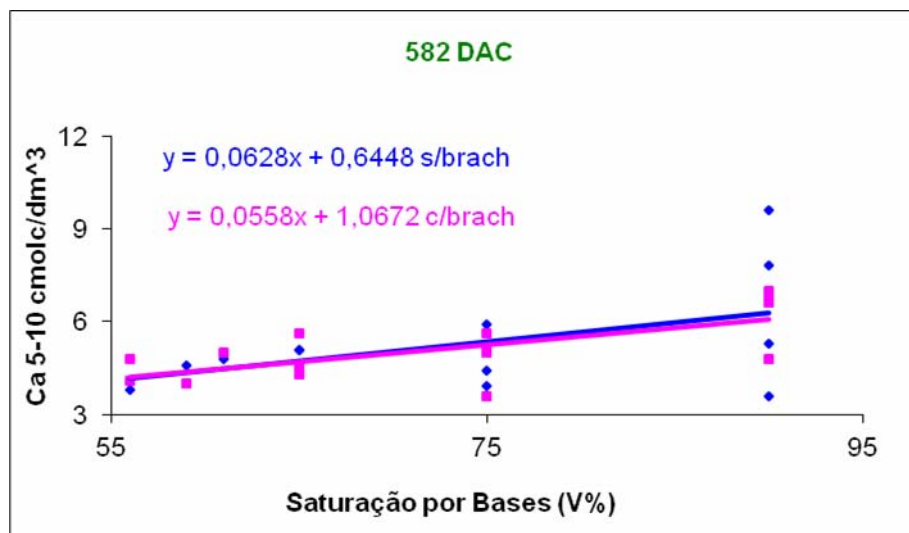
**Figura 16** - Variação do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



Fonte: O autor.

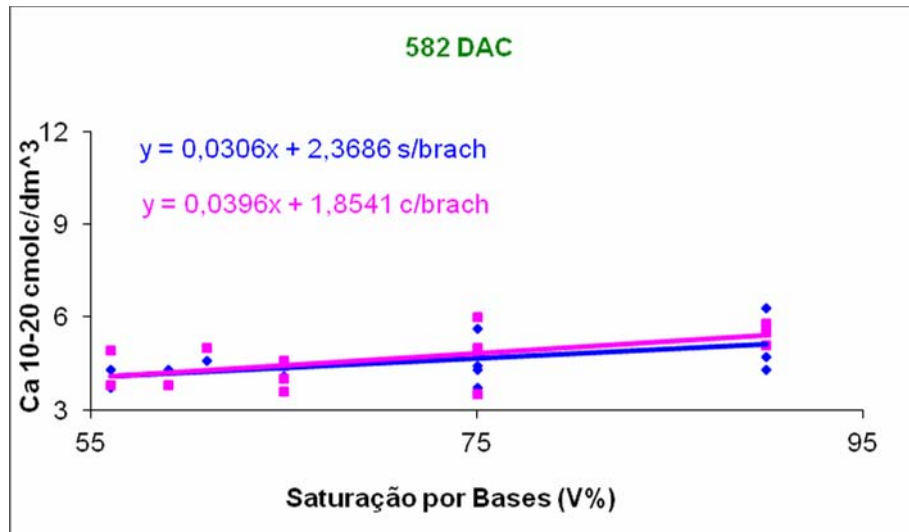
Ao final do 2º ano agrícola (582 dac) constatou-se, para todas as parcelas e todas as profundidades, que houve aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  por efeito das doses de calcário como seria o esperado (Figura 15 a 17), não sendo detectado, contudo, qualquer influência da presença da brachiaria nesse incremento (Tabelas 7).

**Figura 17** - Variação do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 18** - Variação do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

Do 1º para o 2º ano agrícola houve, contudo, aumento das médias de  $\text{Ca}^{2+}$  somente nas sub-parcelas com brachiaria nas profundidades de 5 a 10 e de 10 a 20 cm. Isso seguramente pode ser atribuído à ação da brachiaria em produzir AOBMM, que mobilizaram  $\text{Ca}^{2+}$  da superfície para a subsuperfície comprovando seu poder de mobilização deste cátion básico (Tabelas 7).

## Magnésio

No 1º ano agrícola, na camada de 0-5 cm, observou-se o efeito da brachiaria no sentido de aumentar a variável teor de  $\text{Mg}^{2+}$  (Tabelas 8), não obstante tenha havido consumo deste nutriente por esta cultura, o que obviamente não ocorreu nas sub-parcelas em pousio.

**Tabela 8 -** Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de  $Mg^{2+}$  ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ).

Profundidade		234dac		582dac		media	
0 a 5 cm	s/ brach	2,02±0,32	aA	2,28±0,41	bA	<b>2,15±0,36</b>	A
	c/ brach	2,41±0,43	aB	2,24±0,34	aA	<b>2,33±0,38</b>	B
	média	<b>2,22±0,37</b>	a	<b>2,26±0,37</b>	a		
		234dac		582dac		media	
5 a 10 cm	s/ brach	1,76±0,38	aA	1,91±0,36	aA	<b>1,84±0,37</b>	A
	c/ brach	1,89±0,35	aA	1,98±0,37	aA	<b>1,94±0,36</b>	A
	média	<b>1,83±0,36</b>	a	<b>1,95±0,36</b>	b		
		234dac		582dac		media	
10 a 20 cm	s/ brach	1,71±0,12	aA	1,76±0,30	aA	<b>1,71±0,21</b>	A
	c/ brach	1,75±0,29	aA	1,83±0,31	aA	<b>1,75±0,30</b>	A
	média	<b>1,73±0,20</b>	a	<b>1,79±0,30</b>	a		

Fonte: O autor.

Letras iguais (minúscula nas linhas ou maiúsculas nas colunas) não diferem no teste  $t$   $p < 0,05$ . Linhas: teste  $t$  para dados pareados. Colunas: teste  $t$  para dados não pareados considerando variâncias equivalentes ou diferentes conforme resultados da análise de variância para cada par de amostras.

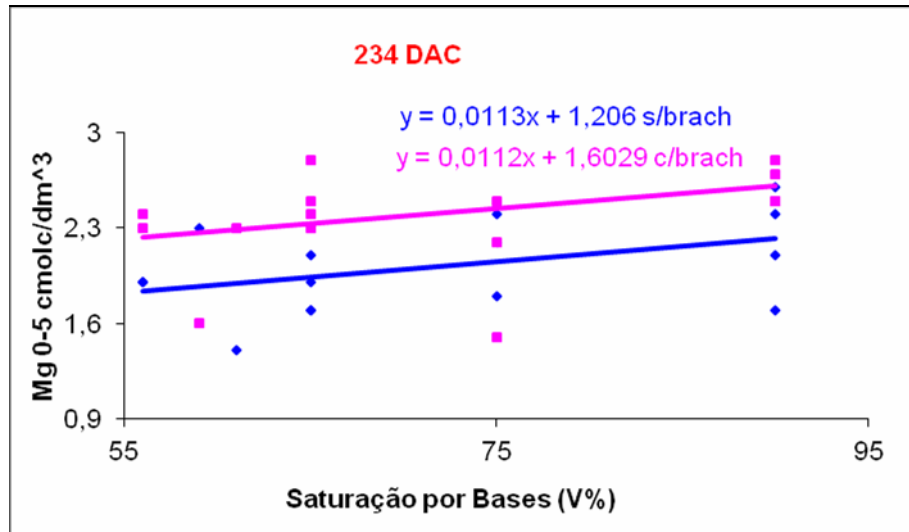
O aumento do teor de magnésio nesta camada, por efeito da brachiaria, infere-se que tenha ocorrido em razão da reciclagem promovida pela brachiaria. Essa forrageira, que tem raízes profundas, tem o poder de colocar esse nutriente absorvido da subsuperfície na sua parte aérea, liberando-o no solo ao ser decomposta (KLUTCHCOUSCI et al., 2004). Essa reciclagem ocorre no caso do  $Mg^{2+}$  em razão de sua boa redistribuição na planta, diferentemente do  $Ca^{2+}$  que é relativamente imóvel (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Infere-se que esse aporte de  $Mg^{2+}$  ficou restrito à camada de 0-5 cm em razão da retenção desse cátion pelas cargas negativas dependentes de pH, as quais foram criadas em razão do efeito do calcário em aumentar o pH e assim determinar o fenômeno de deprotonação (Figura 1).

Nesta camada não foi observado, contudo, efeito significativo de doses de calcário nem nas sub-parcelas em pousio nem nas que receberam a brachiaria, possivelmente em razão do menor teor de  $Mg^{2+}$  (21% MgO) em relação a  $Ca^{2+}$  (31% CaO) contido no calcário utilizado, classificado como dolomítico.

Embora na camada de 5-10 cm tenha sido constatado a descida de  $\text{Ca}^{2+}$  em razão de seu aumento por efeito de doses de calcário, para o caso do  $\text{Mg}^{2+}$  nem nesta camada e nem na de 10-20 cm foi observado qualquer efeito dos tratamentos empregados (Tabela 8 e Figuras 20 e 21).

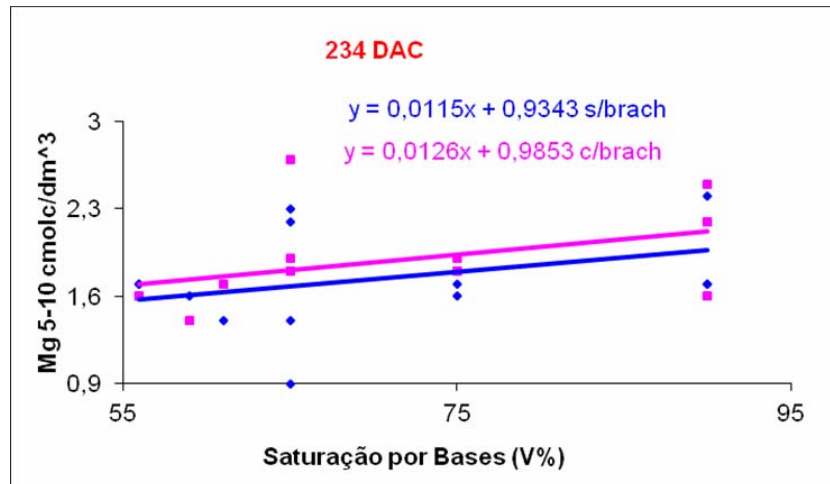
**Figura 19** - Variação do teor de  $\text{Mg}^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm



Fonte: O autor.

Isso ocorreu provavelmente em razão de dois motivos: a) os ânions  $\text{HCO}_3^-$  e outros ânions inorgânicos, bem como os AOBMM preferencialmente transportaram  $\text{Ca}^{2+}$  em razão do maior teor deste elemento em comparação ao de  $\text{Mg}^{2+}$  na composição do calcário; b) a preferência de adsorção no complexo de troca é do  $\text{Ca}^{2+}$  em relação ao  $\text{Mg}^{2+}$  (LEPSCH, 2011), o que aumenta a possibilidade de  $\text{Mg}^{2+}$  se perder pela lixiviação, retardando a adsorção deste cátion nestas camadas.

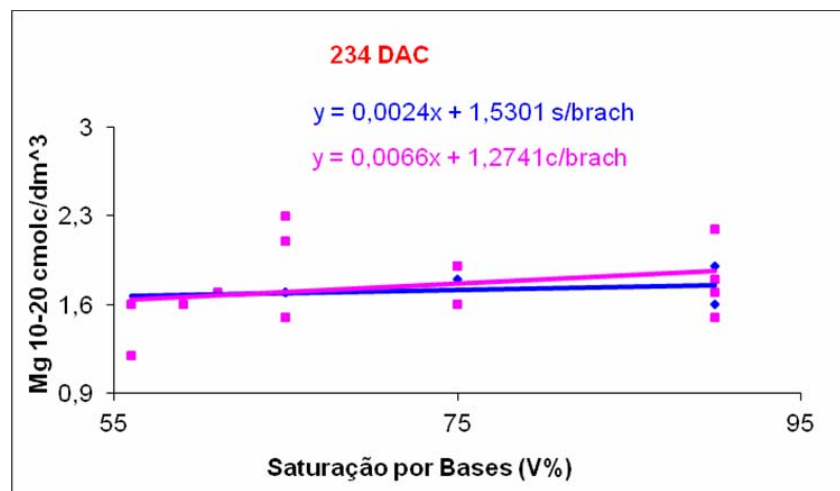
**Figura 20** - Variação do teor de  $Mg^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm



Fonte: O autor.

No 2º ano agrícola (582 dac), não houve efeito das doses residuais de calcário na elevação do teor de  $Mg^{2+}$  no solo na camada de 0-5 cm (Figura 22). Isso possivelmente deva-se, neste ano, à descida do  $Mg^{2+}$  ao associar-se aos AOBMM e ou ao formar par iônico com  $HCO_3^-$  e outros ânions orgânicos. Isso em razão do 1º para o 2º ano agrícola haver aumento de pH independente de camada ou sistema de produção agrícola considerado (Tabela 8), o que favoreceu a estabilidade do bicarbonato e a sua descida como ânion acompanhante do  $Mg^{2+}$  bem como o aumento da carga líquida negativa, favorecendo a mobilização dos AOBMM em profundidade.

**Figura 21** - Variação do teor de  $Mg^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm

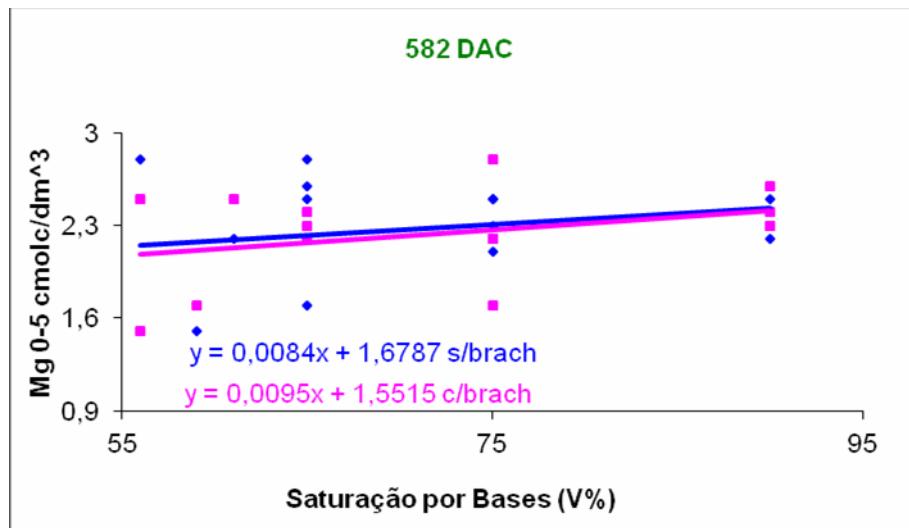


Fonte: O autor.

Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm (Figuras 23 e 24) por efeito de doses foi registrado aumento no teor de  $Mg^{2+}$ , o que comprova que de fato houve a mobilização deste nutriente em profundidade.

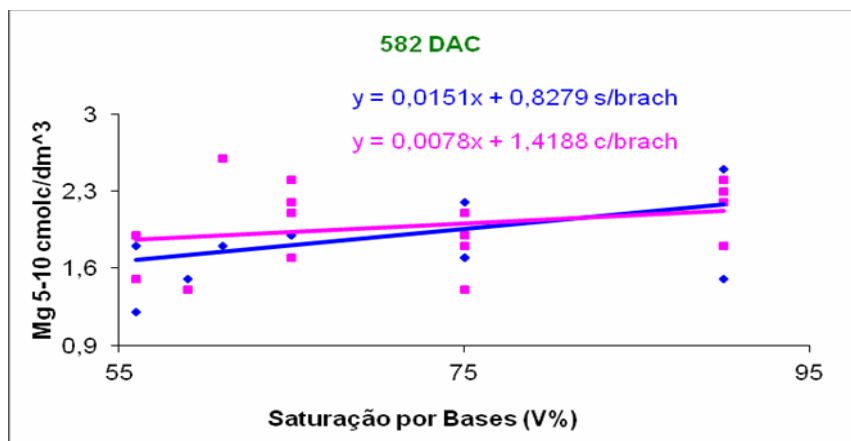
Esse aumento ocorreu apenas nas parcelas sem brachiaria, o que, por sua vez, comprova que o  $Mg^{2+}$  foi totalmente consumido pela absorção das raízes do consórcio soja-brachiaria, principalmente em razão da mais alta densidade de plantas/m<sup>2</sup> deste cultivo comparado às parcelas com soja solteira e ao período vegetativo relativamente longo da brachiaria, que permaneceu vegetando após a colheita da soja até 57 dias antes do início da safra 2013/2014.

**Figura 22** - Variação do teor de  $Mg^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 23** - Variação do teor de  $Mg^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.

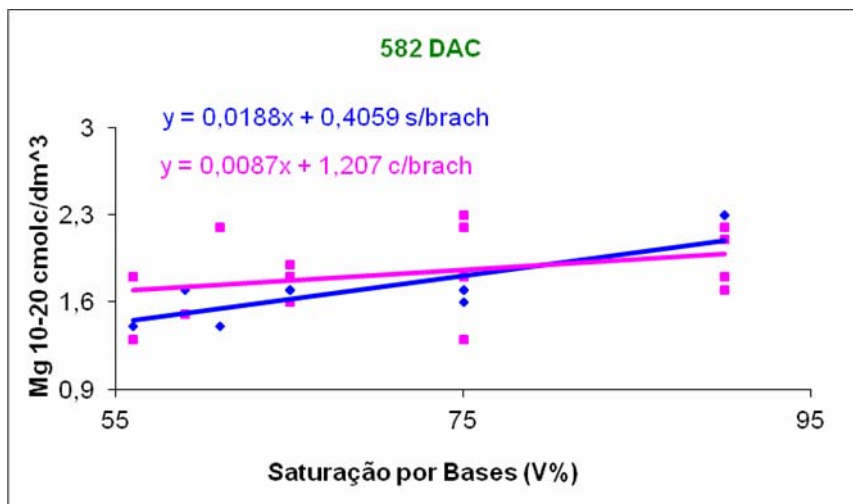


Fonte: O autor.

Possivelmente pela mesma causa não houve efeito de brachiaria nestas camadas (Tabela 8).

O teor de  $Mg^{2+}$  aumentou do 1º para o 2º ano agrícola somente na camada de 0-5 cm e nas parcelas sem brachiaria (Tabela 8). Isso, inferese-se que possa ser atribuído ao aumento da solubilidade do calcário ao longo do tempo e ao fato de nas parcelas com brachiaria o aumento do teor de  $Mg^{2+}$  ter sido compensado por uma maior absorção desta forrageira.

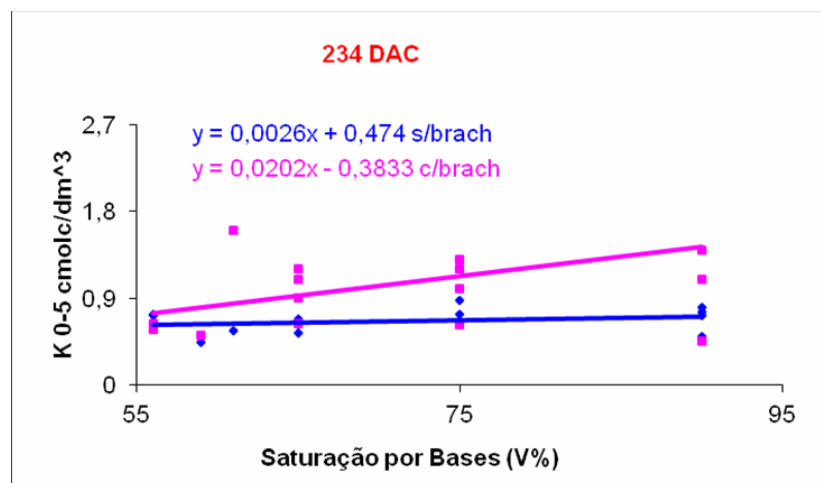
**Figura 24** - Variação do teor de  $Mg^{2+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

Potássio

**Figura 25** - Variação do teor de  $K^+$  por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



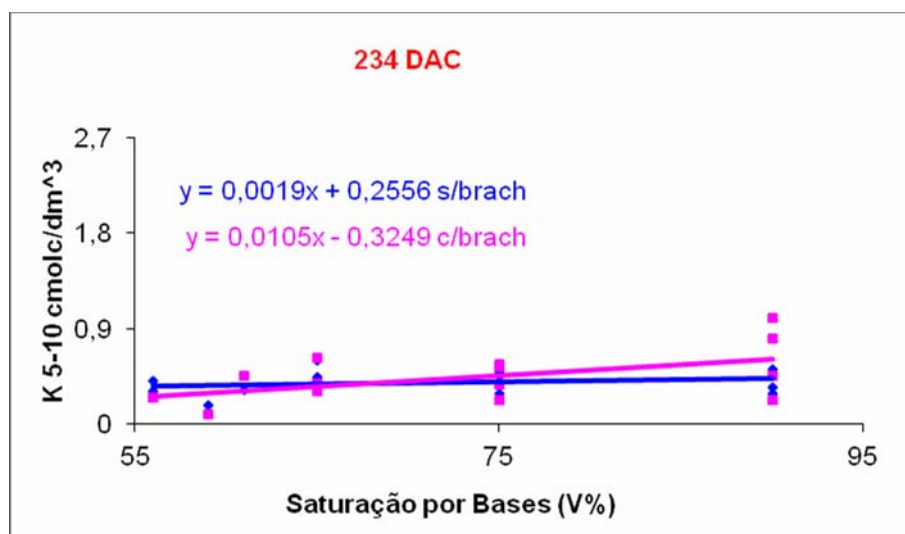
Fonte: O autor.

Ao final do 1º ano agrícola (234 dac) constatou-se que na camada de 0-5 cm não houve aumento significativo no teor de  $K^+$  por efeito de doses de calcário, uma vez que este nutriente não faz parte da composição deste corretivo (Figura 25).

Entretanto, houve diferença nas médias dos teores de  $K^+$  entre as parcelas com e sem brachiaria (Tabela 9), que, infere-se, tenha ocorrido em razão da reciclagem promovida pela brachiaria possibilitada em razão de suas raízes profundas e tempo relativamente longo de vegetação. Este cátion retorna à superfície do solo, devido à lixívia das folhas, conforme Brady e Weil (2013), tendo em parte permanecido nesta camada possivelmente em razão do aumento das cargas negativas dependentes, em decorrência da calagem.

O verificado acúmulo de  $K^+$  trocável na superfície do solo foi uma ocorrência semelhante a que foi encontrada por Crusciol, Borghi e Guaragna (2006) que verificaram que a quantidade de  $K^+$  trocável no solo da área de consórcio milho-brachiaria foi maior do que a observada na área de cultivo de milho solteiro. Esses autores também atribuíram o ocorrido ao fato de no período de outubro/primavera a brachiaria ter procedido grande reciclagem de  $K^+$ , determinando o acúmulo deste nutriente na superfície do solo após a decomposição da palhada formada com a sua dessecação.

**Figura 26** - Variação do teor de  $K^+$  por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

Em parte, contudo,  $K^+$  foi mobilizado para a camada de 5-10 cm, uma vez que nesta camada houve aumento deste nutriente por efeito de doses de calcário nas parcelas com brachiaria. O fato do aumento ocorrer apenas nas parcelas com brachiaria permite inferir-se que os AOBMM tiveram importante papel na mobilização do  $K^+$  (Figura 26).

Apesar deste aumento, não houve, contudo, diferença significativa nas médias do teor de  $K^+$  entre as sub-parcelas com e sem brachiaria, possivelmente em razão de expressivo aumento das cargas negativas na camada de 0-5 cm, uma vez que neste ano agrícola a mesma experimentou a maior elevação no valor pH (Figuras 1 a 3), elevando a carga líquida negativa e assim retendo mais  $K^+$  na forma trocável (Tabela 9).

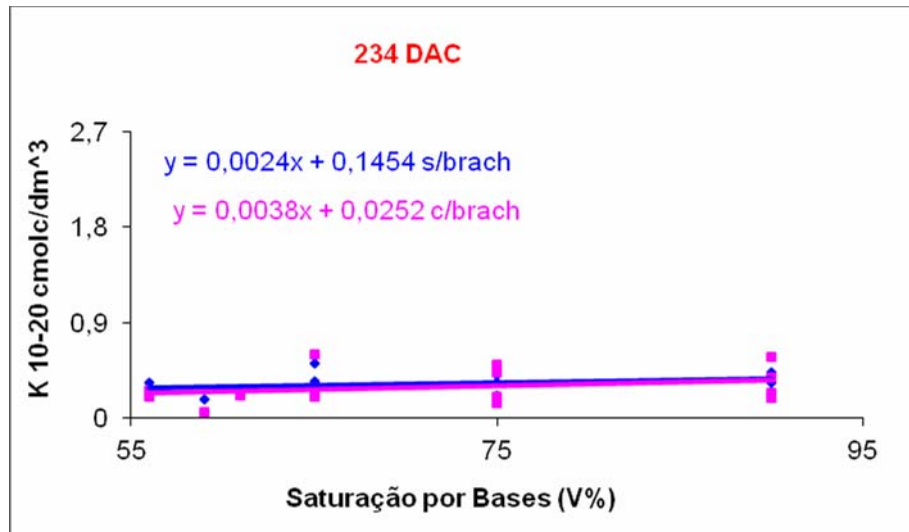
Na camada de 10-20 cm (Figura 27 e Tabela 9) não houve nenhum efeito dos tratamentos, o que reforça a inferência que os mecanismos de mobilização de íons no solo não conseguiram atingir esta camada ou o fizeram de forma inexpressiva neste 1º ano agrícola. Isso, conforme já explanado, em parte dado a lentidão com que se opera a correção do pH em profundidade, pelos motivos já apresentados, e, em parte, em razão de em profundidade chegar menor quantidade de água, com conseqüente menor aporte de complexos orgânicos e sais.

No 2º ano agrícola, aos 582 dias após a calagem, também não foi registrado aumento do teor  $K^+$  na camada de 0-5 cm por efeito de doses de calcário, tal como seria o esperado (Figura 28) em razão deste nutriente não figurar na composição do calcário. Entretanto obteve-se maior média dos teores de  $K^+$  nas parcelas com brachiaria (Tabela 9), revelando que a reciclagem de  $K^+$  continuou a operar-se no 2º ano agrícola.

Miyazawa, Pavan e Franchini (2000) ressalta que o aumento do teor de cátions monovalentes na superfície do solo é dificultado pela sua lixiviação preferencial em relação aos cátions polivalentes. No entanto afirmam que a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo no SPD e em culturas perenes favorece o acúmulo de  $K^+$  na superfície do solo.

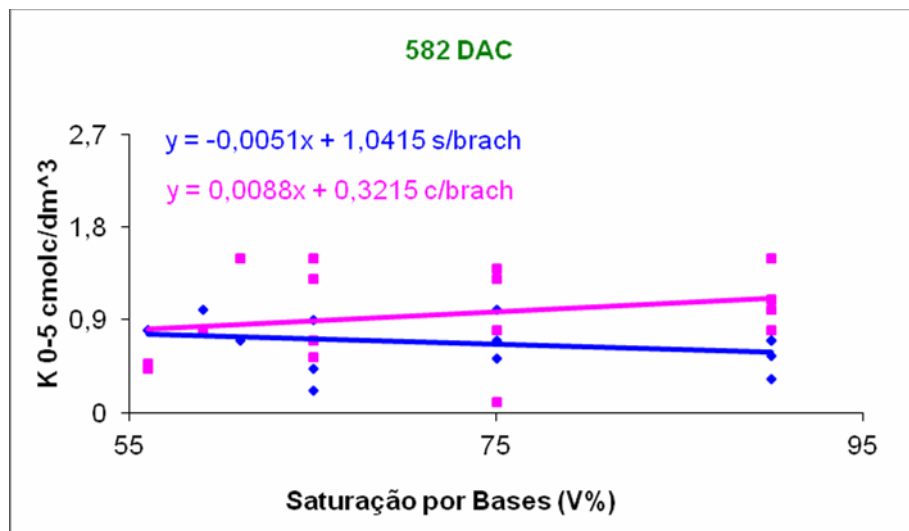
Na camada de 5-10 cm bem como na camada de 10-20 cm igualmente não se verificou aumento no teor de  $K^+$  por efeito de doses de calcário (Figuras 29 e 30).

**Figura 27** - Variação do teor de  $K^+$  por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



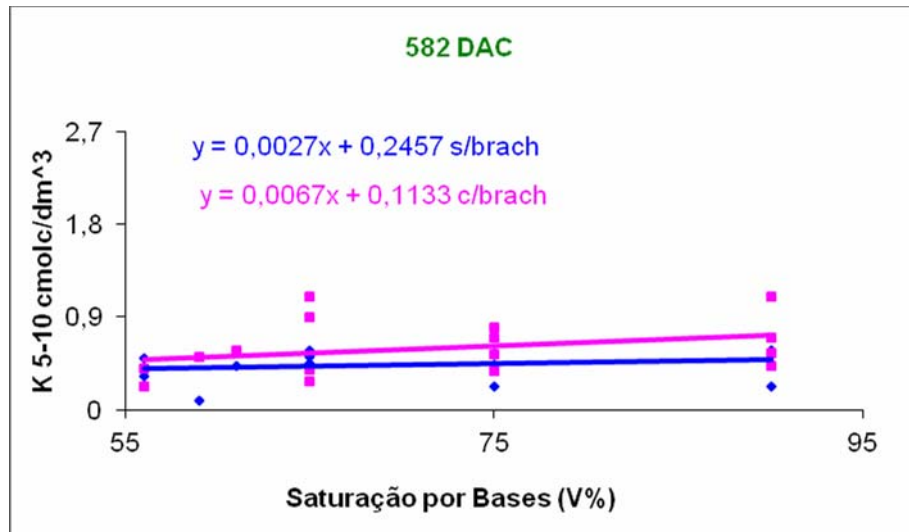
Fonte: O autor.

**Figura 28** - Variação do teor de  $K^+$  por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



Fonte: O autor.

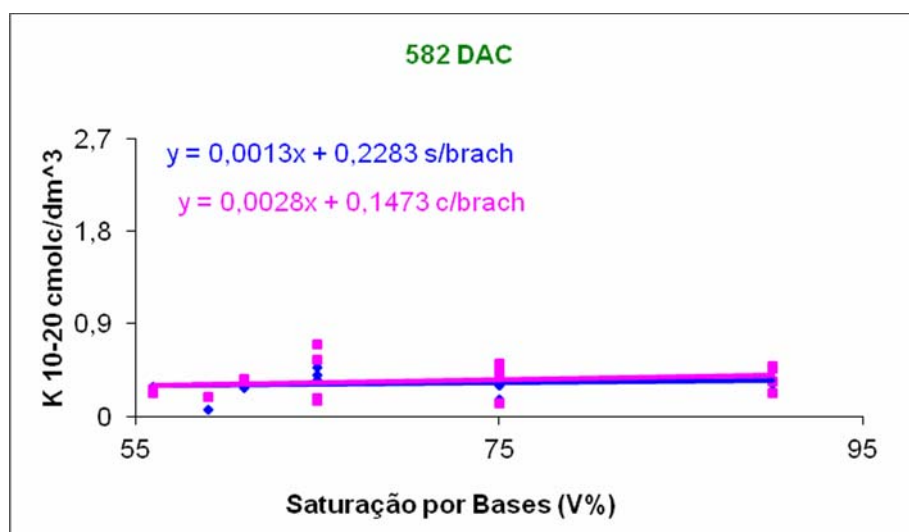
**Figura 29** - Variação do teor de  $K^+$  por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

Isso seria o esperado, não só em razão da ausência deste nutriente na composição do calcário, mas também em razão do seu maior consumo neste 2º ano agrícola. Isso em razão do estabelecimento do consórcio soja-brachiaria nas parcelas que anteriormente estavam ocupadas somente com a brachiaria e da cultura de soja nas parcelas que anteriormente estavam ocupadas só com o pousio.

**Figura 30** - Variação do teor de  $K^+$  por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

Na camada de 5-10 cm, contudo, ocorreu efeito de brachiaria no aumento do teor de  $K^+$  (Tabela 9), o que permite inferir-se que isso decorreu do transporte operado pelos AOBMM oriundos da camada suprajacente. Assim, o aumento de pH e conseqüente elevação das cargas negativas do solo (Tabela 5) não inibiram a retenção de  $K^+$  nesta camada, pois a alteração da carga líquida de cátions pela formação de complexos orgânicos de carga nula ou até negativa não ocorre para o  $K^+$ . Nesse sentido, Franchini et al. (1999a) quando procederam lixiviação em colunas de solo com soluções puras de ácidos cítrico e succínico e extratos aquosos de resíduos de nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e aveia preta (*Avena strigosa*), explicaram a grande retenção do  $K^+$  e a lixiviação do  $Ca^{2+}$  no solo, afirmando que na forma complexada o  $Ca^{2+}$  teria sua carga líquida alterada pela formação de complexos orgânicos de carga nula ou até negativa. Diante da carga líquida negativa do solo, esses complexos seriam preferencialmente lixiviados em relação ao  $K^+$ , sendo que este cátion apresentou indiferença ao tipo de ânion, sendo preferencialmente retido pelo solo. Assim, o aumento de pH e elevação das cargas negativas do solo não inibiram a retenção de  $K^+$  transportado pelos AOBMM para a camada de 5-10 cm, nada restando para ser adsorvido na camada subjacente, de 10-20 cm.

**Tabela 9 -** Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de  $K^+$  ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ).

Profundidade		234dac	582dac	media
0 a 5 cm	s/ brach	0,66±0,11 aA	0,68±0,22 aA	<b>0,67±0,16 A</b>
	c/ brach	1,07±0,60 aB	0,95±0,44 aB	<b>1,01±0,52 B</b>
	média	<b>0,87±0,35 a</b>	<b>0,82±0,33 a</b>	
		234dac	582dac	media
5 a 10 cm	s/ brach	0,39±0,11 aA	0,44±0,15 bA	<b>0,42±0,13 A</b>
	c/ brach	0,43±0,23 aA	0,60±0,27 bB	<b>0,51±0,25 B</b>
	média	<b>0,41±0,17 a</b>	<b>0,52±0,21 b</b>	
		234dac	582dac	media
10 a 20 cm	s/ brach	0,32±0,09 aA	0,30±0,16 aA	<b>0,32±0,12 A</b>
	c/ brach	0,30±0,16 aA	0,32±0,11 aA	<b>0,32±0,13 A</b>
	média	<b>0,31±0,12 a</b>	<b>0,34±0,13 a</b>	

Fonte: O autor.

Letras iguais (minúscula nas linhas ou maiúsculas nas colunas) não diferem no teste t  $p < 0,05$ . Linhas: teste t para dados pareados. Colunas: teste t para dados não pareados considerando variâncias equivalentes ou diferentes conforme resultados da análise de variância para cada par de amostras.

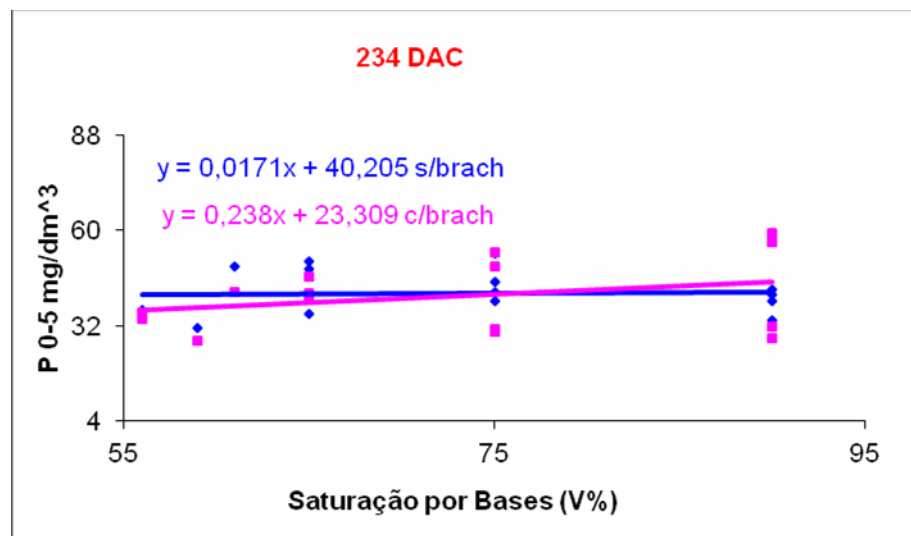
De registrar-se também que no 1º ano agrícola  $K^+$  não foi transportado para a camada de 5-10 cm a ponto de haver efeito de brachiaria no aumento do teor deste nutriente (Tabela 9), provavelmente em razão da maior CTC na camada suprajacente, pois no 1º ano agrícola havia maior teor de MOS que foi sendo reduzida ao longo do tempo em razão da verificada ampliação dos efeitos do pH no 2º ano agrícola (Tabela 5). Neste ano agrícola, contudo, com menor teor de MOS e, assim, de CTC, sobrou mais  $K^+$  para ser transportado pelos AOBMM, que restou retido na camada de 5-10 cm pelas razões já expostas.

Dessa forma do 1º para o 2º ano agrícola houve aumento do teor de  $K^+$  somente na camada de 5-10 cm (Tabela 9). Na camada de 10-20 cm não houve aumento em razão dos mecanismos de mobilização de nutrientes terem atuado nesta camada com menor intensidade, conforme já discutido.

## Fósforo

Ao final do 1º ano agrícola (234 dac), nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm constatou-se que não houve alteração no teor de P disponível por efeito das doses de calcário, pela razão que este corretivo não é fonte deste nutriente (Figuras 31 a 33).

**Figura 31** - Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.

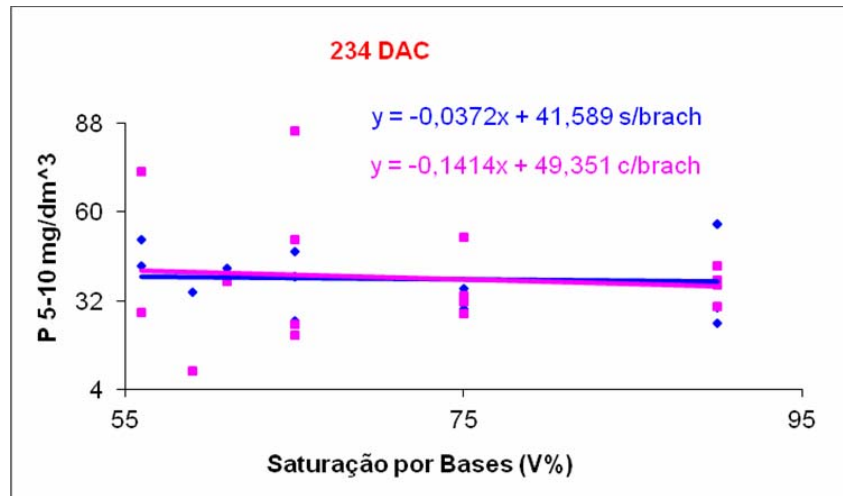


Fonte: O autor.

Por outro lado constatou-se, também, que não houve alteração no teor de P disponível por efeito da brachiaria (Tabela 10), o que permite concluir-se que a absorção de P nas parcelas com brachiaria não foi suficiente para causar decréscimo significativo no teor de P disponível no 1º ano agrícola.

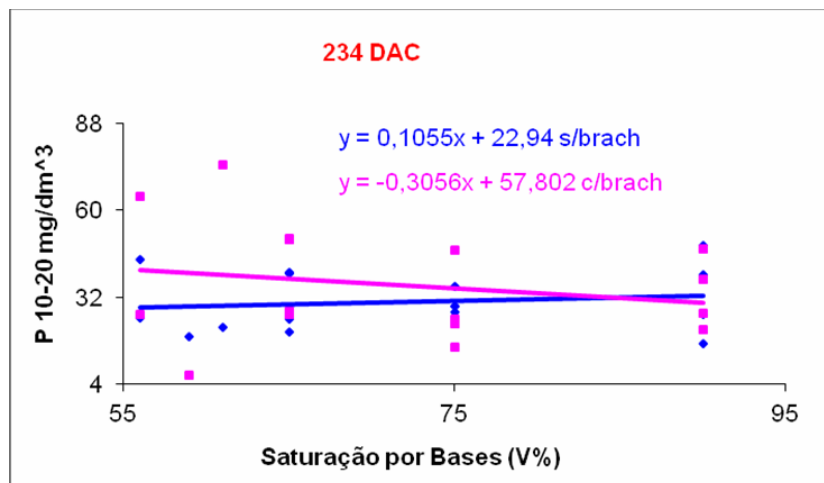
Ao final do 2º ano agrícola (582 dac), constatou-se que também não houve efeito dos tratamentos (Tabela 10 e Figuras 34 a 36), exceptuando-se na camada de 0-5 cm.

**Figura 32** - Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



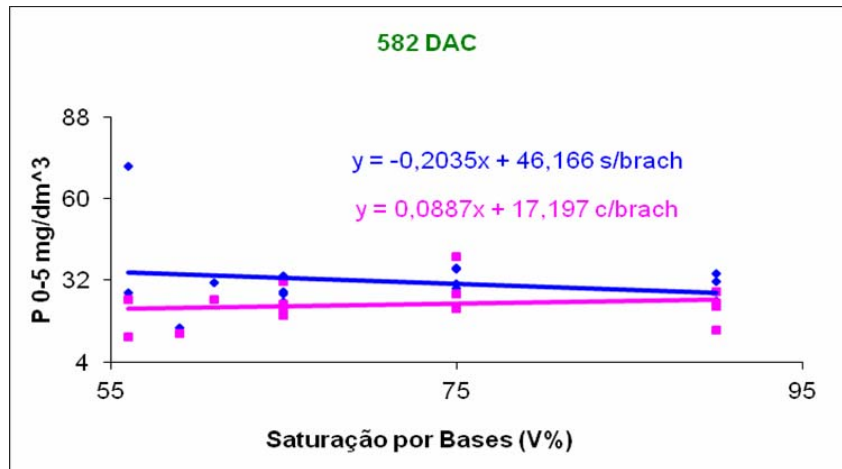
Fonte: O autor.

**Figura 33** - Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 34 -** Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.

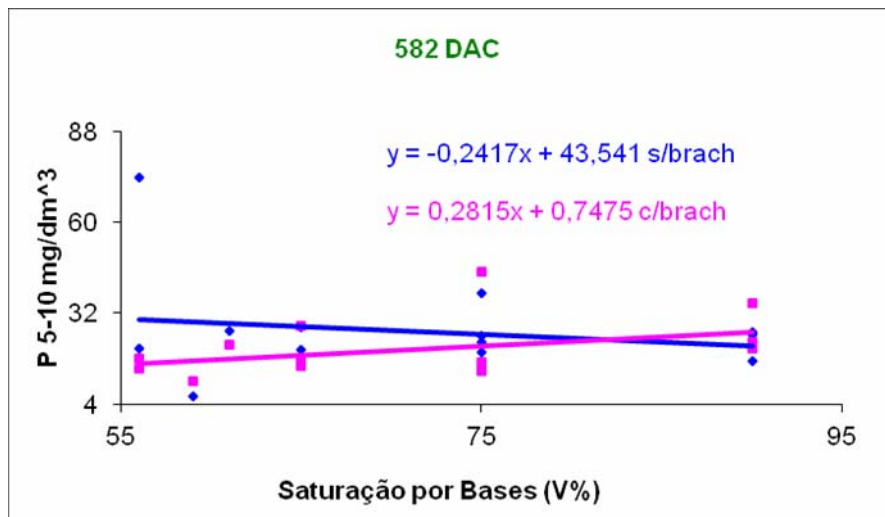


Fonte: O autor.

Nesta, a média do teor de P disponível diminuiu por efeito da brachiaria. Isso, uma vez que nas parcelas com a brachiaria consorciada com soja houve muito maior densidade de plantas/m<sup>2</sup> comparado às parcelas com soja solteira e muito maior tempo de exploração do solo dado ao ciclo vegetativo relativamente longo dessa forrageira, favorecendo a absorção de fósforo.

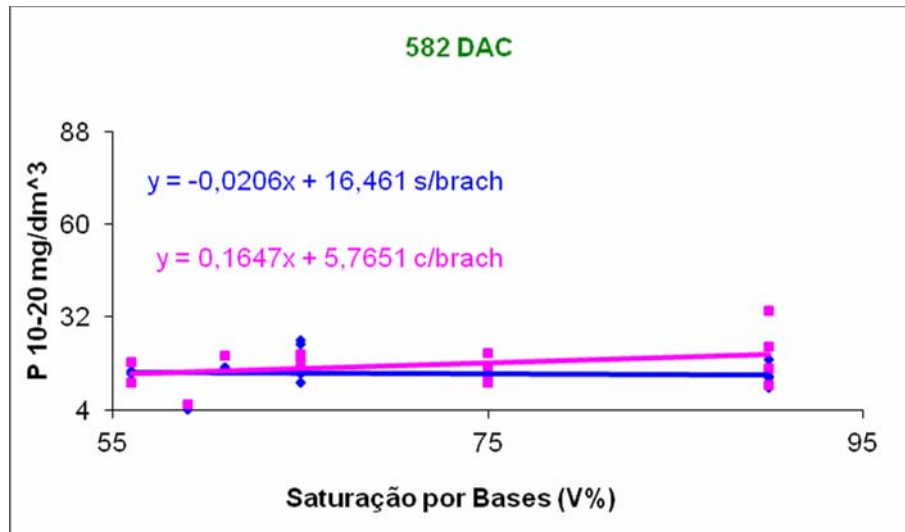
Assim, restou claro que antes de ser estabelecido o consórcio de cultura granífera com brachiaria, a adubação fosfatada deve ser suplementada em razão de uma maior absorção de P do consórcio em comparação à cultura granífera solteira.

**Figura 35 -** Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 36** - Variação do teor de P por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm não houve efeito da brachiaria em decrescer o teor de P disponível (Tabela 10), possivelmente em razão de um menor teor MOS nesse sentido (Tabela 6), havendo, assim, menor poder tampão de fósforo (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007), o que impediu maior absorção e assim um decréscimo significativo deste nutriente.

Constatou-se, ainda, que do 1º para o 2º ano agrícola houve redução dos teores de P disponível para todas as camadas, independentemente do tipo de produção agrícola considerada (Tabela 10). Isso era esperado em razão do aumento da extração deste nutriente e sua exportação do solo pela colheita de grãos.

**Tabela 10** - Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ).

Profundidade		234dac		582dac		media	
0 a 5 cm	s/ brach	41,46±6,50	aA	31,51±11,54	bA	<b>36,49±9,02</b>	A
	c/ brach	40,44±10,21	aA	23,58±6,81	bB	<b>32,01±8,51</b>	A
	média	<b>40,95±8,35</b>	a	<b>27,55±9,17</b>	b		
		234dac		582dac		media	
5 a 10 cm	s/ brach	38,95±9,98	aA	26,14±14,36	bA	<b>32,54±12,17</b>	A
	c/ brach	39,17±19,04	aA	21,02±9,75	bA	<b>30,09±14,39</b>	A
	média	<b>39,06±14,51</b>	a	<b>23,58±12,05</b>	b		
		234dac		582dac		media	
10 a 20 cm	s/ brach	30,58±9,50	aA	14,98±4,85	bA	<b>22,78±7,17</b>	A
	c/ brach	35,80±18,39	aA	17,63±6,31	bA	<b>26,71±12,35</b>	A
	média	<b>33,19±13,94</b>	a	<b>16,30±5,58</b>	b		

Fonte: O autor.

Letras iguais (minúscula nas linhas ou maiúsculas nas colunas) não diferem no teste t  $p < 0,05$ . Linhas: teste t para dados pareados. Colunas: teste t para dados não pareados considerando variâncias equivalentes ou diferentes conforme resultados da análise de variância para cada par de amostras.

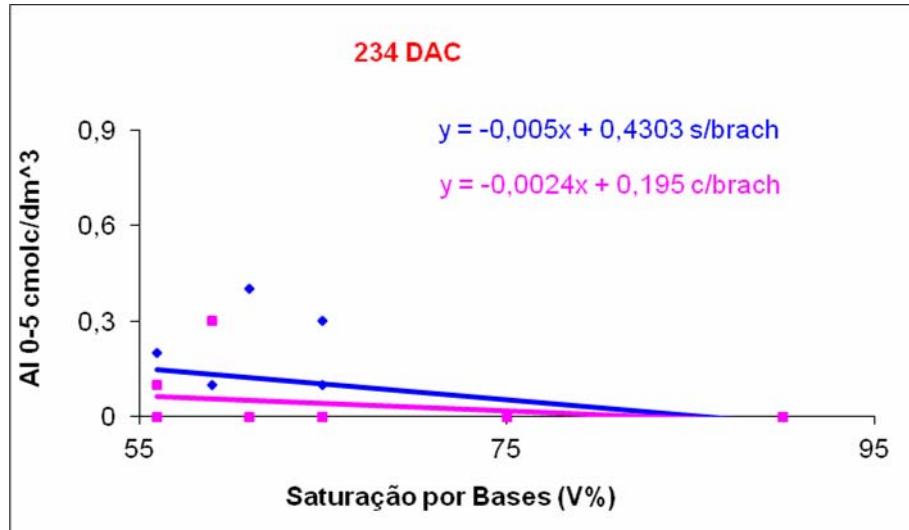
Outra causa atribui-se ao efeito de decréscimo da MOS do 1º para o 2º ano, que igualmente ocorreu em todas as camadas e para todas as subparcelas (Tabela 6). Isso possivelmente reduziu os teores de fósforo disponível em razão do aumento da adsorção específica deste elemento, pois com menos MOS no solo houve a liberação de sítios de adsorção dos óxidos carregados com cargas positivas (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

## Alumínio

Ao final do 1º ano agrícola (234 dac) observou-se na camada de 0-5 cm que apenas nas sub-parcelas sem brachiaria houve decréscimo significativo do

teor de  $\text{Al}^{3+}$  por efeito de doses de calcário (Figura 37), embora em todas as sub-parcelas tenha havido aumento do pH por efeito de doses de calcário (Tabela 5).

**Figura 37** - Variação do teor de  $\text{Al}^{3+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



Fonte: O autor.

Isso possivelmente em razão de nas sub-parcelas com brachiaria além de ter havido aumento no pH ter havido também consumo de  $\text{Al}^{3+}$  pela absorção desta forrageira, o que obviamente não ocorreu nas sub-parcelas em pousio. Isso impediu uma maior amplitude de decréscimo do teor de  $\text{Al}^{3+}$  por efeito de doses de calcário nas parcelas com brachiaria, o que concorreu para a ausência de efeito significativo no decréscimo deste cátion. Por outro lado, na camada de 0-5 cm houve maior teor de MOS nas parcelas com brachiaria (Tabela 6), o que por certo determinou numa maior formação de complexos com  $\text{Al}^{3+}$ , diminuindo, assim, o efeito das doses de calcário em decrescer o teor de  $\text{Al}^{3+}$ .

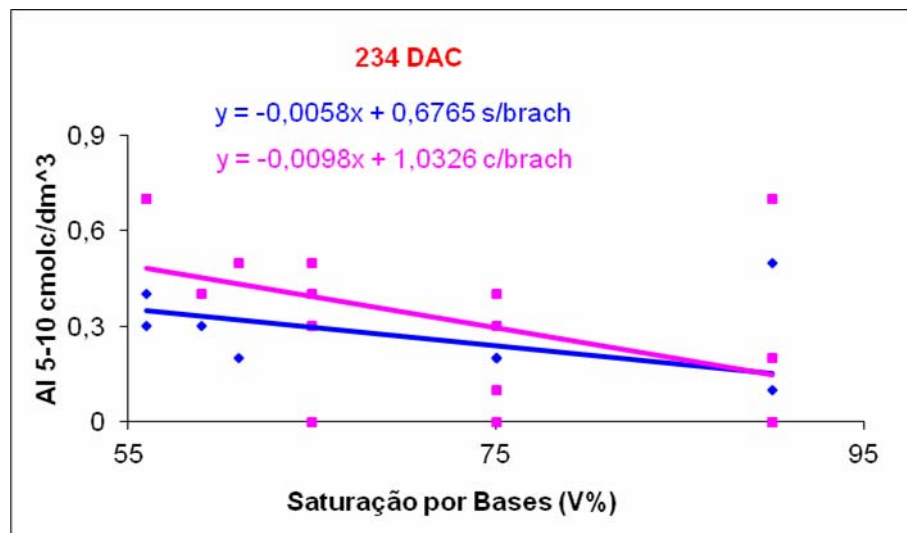
Não houve, contudo, nenhum efeito de brachiaria no sentido de diferenciar as médias obtidas (Tabela 11).

Na camada de 5-10 cm, da mesma forma que na camada de cima, observou-se que apenas nas sub-parcelas sem brachiaria houve decréscimo significativo do teor de  $\text{Al}^{3+}$  por efeito de doses de calcário (Figura 38). Isso, infere-se, seja em razão de apenas nesta camada ter havido aumento do pH por efeito de doses de calcário (Figura 2) e também dado ao consumo do  $\text{Al}^{3+}$  pela brachiaria, diminuindo a amplitude de decréscimo de  $\text{Al}^{3+}$  em função das doses de calcário.

Da mesma forma que na camada de cima, não houve, contudo, nenhum efeito da brachiaria a ponto de diferenciar as médias obtidas (Tabela 11).

Na camada de 10-20 cm não houve efeito de doses de calcário no decréscimo do teor de  $\text{Al}^{3+}$  (Figura 39), isso em razão da “onda alcalinizante” ter operado seus efeitos de forma inexpressiva nesta camada pelos motivos já expostos. Houve, contudo, efeito de brachiaria estabelecendo diferença nas médias das sub-parcelas com e sem brachiaria (Tabela 11).

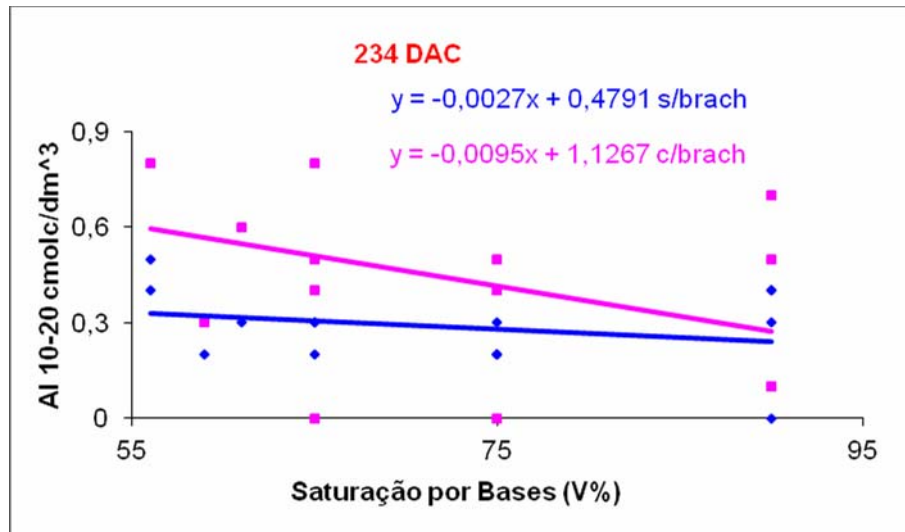
**Figura 38** - Variação do teor de  $\text{Al}^{3+}$  disponível por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

O maior teor de  $\text{Al}^{3+}$  nas parcelas com brachiaria está coerente com o decréscimo de MOS nas parcelas com brachiaria nesta profundidade (Tabela 6), pois com menor teor de MOS menos complexos organo-metálicos foi formado com  $\text{Al}^{3+}$ , aumentando a sua disponibilidade na solução do solo; por outro lado, dado a perda do poder tamponante do solo com o decréscimo da MOS espera-se que haja aumento da atividade de  $\text{H}^+$  na solução do solo, decrescendo o valor pH e, assim, aumentando a solubilidade de  $\text{Al}^{3+}$ .

**Figura 39** - Variação do teor de  $\text{Al}^{3+}$  por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



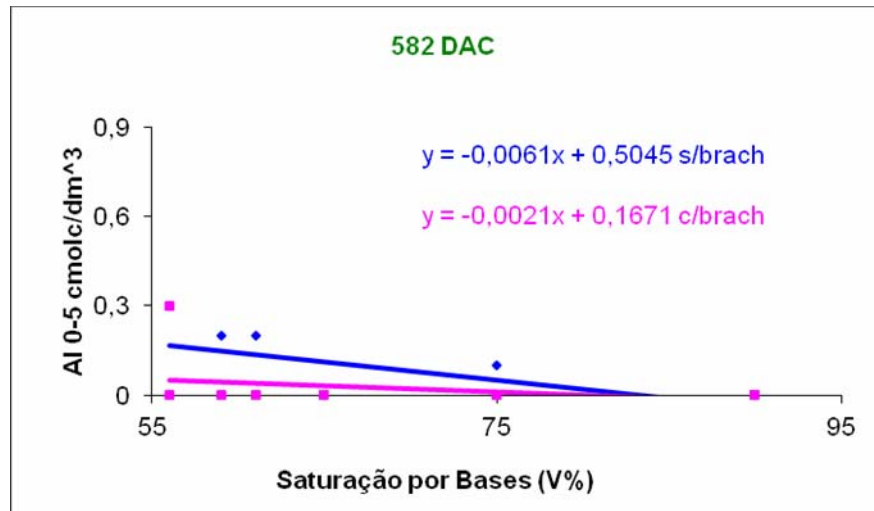
Fonte: O autor.

Ao final do 2º ano agrícola (582 dac) na camada de 0-5 cm constatou-se que não houve efeito de brachiaria no sentido de diferenciar as médias obtidas. Houve, contudo, efeito de doses de calcário decrescendo o teor de  $\text{Al}^{3+}$  apenas nas sub-parcelas sem brachiaria, à exemplo do que também ocorreu no 1º ano agrícola (Tabela 11 e Figura 40).

Isso está coerente com o fato de nesta mesma camada ter havido aumento comparativo de MOS por efeito de doses de calcário apenas nas sub-parcelas com brachiaria (Tabela 6).

Assim, nestas sub-parcelas houve maior possibilidade de formação de complexos organo-metálicos com  $\text{Al}^{3+}$ , a ponto de decrescer a amplitude do teor deste cátion entre as doses mais baixas e mais altas de calcário. Assim, nas sub-parcelas com brachiaria não ocorreu decréscimo significativo na amplitude do teor deste cátion por efeito de doses de calcário (Figura 40). Por outro lado, nas sub-parcelas com brachiaria houve maior absorção de  $\text{Al}^{3+}$ , dado a uma maior densidade de plantas/m<sup>2</sup> no consórcio soja-brachiaria em relação a soja solteira. Assim, houve menor amplitude de decréscimo do teor de  $\text{Al}^{3+}$  com o aumento das doses de calcário, o que explica o efeito de doses de calcário apenas nas sub-parcelas sem brachiaria.

**Figura 40** - Variação do teor de  $\text{Al}^{3+}$  disponível por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



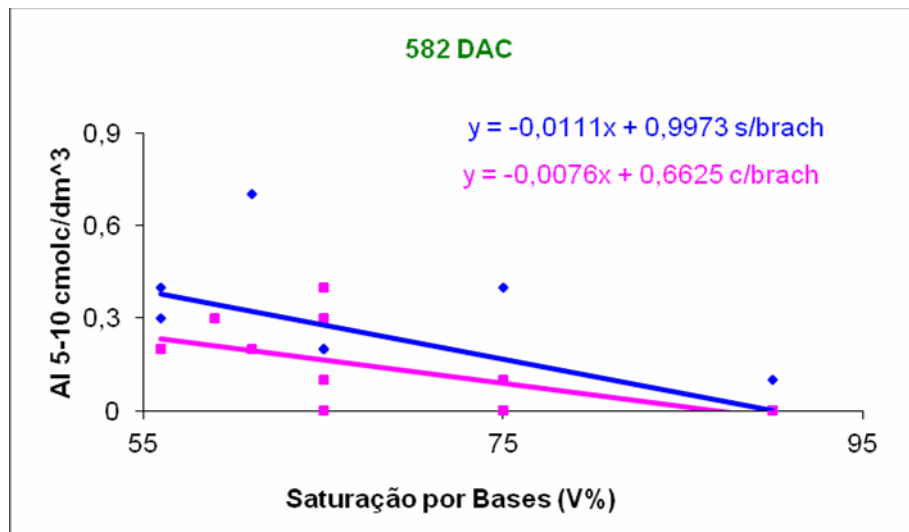
Fonte: O autor.

Na camada de 5-10 cm constatou-se que em todas as sub-parcelas (com e sem brachiaria) houve decréscimo do teor de  $\text{Al}^{3+}$  por efeito de doses de calcário (Figura 41), não obstante também tenha havido aumento comparativo de MOS por efeito de doses de calcário apenas para as sub-parcelas com brachiaria, tal como na camada suprajacente. Neste caso infere-se que a formação de complexos organo-metálicos com  $\text{Al}^{3+}$  não interferiu no decréscimo deste cátion por efeito de doses de calcário. Isso, possivelmente em razão da esperada tendência do teor de MOS decrescer em profundidade e, assim, haver uma menor quantidade de complexos organo-metálicos formados com  $\text{Al}^{3+}$ , o que está coerente com a tendência, também observada, de aumentar os teores de  $\text{Al}^{3+}$  em profundidade (Tabela 11). Não foi constatado efeito de brachiaria em alterar o teor de  $\text{Al}^{3+}$ , apesar da maior densidade de plantas/m<sup>2</sup> e ciclo relativamente longo desta forrageira com consequente maior consumo deste cátion metálico.

Na camada de 10-20 cm constatou-se que não houve efeito dos tratamentos em decrescer o teor de  $\text{Al}^{3+}$ , o que se atribui a uma compensação de efeitos. Isso uma vez que registra-se uma tendência de aumento do teor de  $\text{Al}^{3+}$  em profundidade em todas as camadas independente das doses de calcário empregadas (Figura 42). Esse aumento possivelmente seja devido, por um lado, à observada tendência de decréscimo da MOS em profundidade (Tabela 6), formando menor quantidade de complexos orgânicos estáveis com formas monoméricas de  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007), e, por outro, dado a atenuação

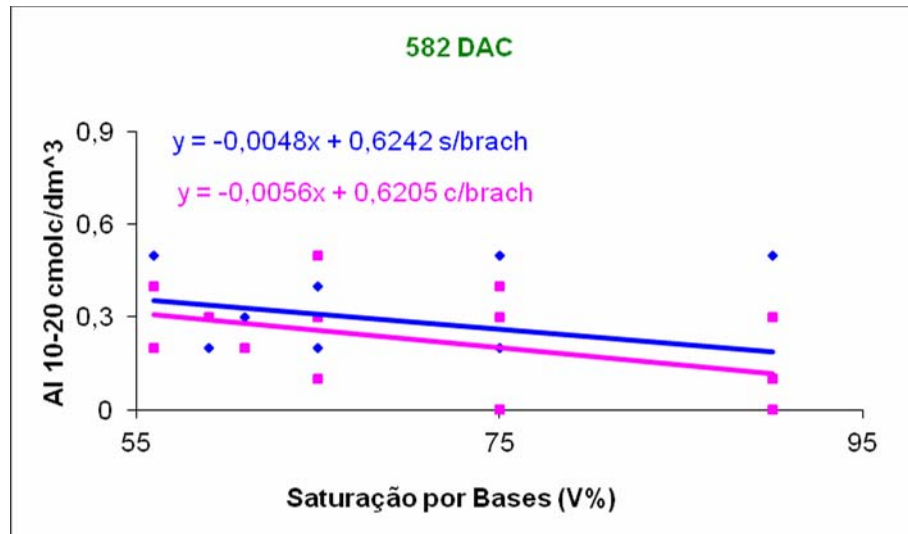
do efeito da “onda alcalinizante” e menor efeito tamponante da MOS em profundidade. Assim, houve decréscimo de pH neste mesmo sentido (Tabela 5), fazendo com que este parâmetro permanecesse com valores médios numa amplitude de 4,43 a 4,73, condição em que o  $\text{Al}^{3+}$  ainda apresenta relativa solubilidade (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

**Figura 41** - Variação do teor de  $\text{Al}^{3+}$  disponível por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 42** - Variação do teor de  $\text{Al}^{3+}$  disponível por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

**Tabela 11** - Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre o teor de  $\text{Al}^{3+}$  ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ).

Profundidade		234dac		582dac		media	
0 a 5 cm	s/ brach	0,07	aA	0,07	aA	<b>0,07</b>	A
	c/ brach	0,03	aA	0,02	aA	<b>0,02</b>	B
	média	<b>0,05</b>	a	<b>0,04</b>	a		
		234dac		582dac		media	
5 a 10 cm	s/ brach	0,26	aA	0,20	aA	<b>0,23</b>	A
	c/ brach	0,33	aA	0,11	bA	<b>0,22</b>	A
	média	<b>0,29</b>	a	<b>0,16</b>	b		
		234dac		582dac		media	
10 a 20 cm	s/ brach	0,29	aA	0,28	aA	<b>0,28</b>	A
	c/ brach	0,44	aB	0,22	bA	<b>0,33</b>	A
	média	<b>0,37</b>	a	<b>0,25</b>	b		

Fonte: O autor.

Letras iguais (minúscula nas linhas ou maiúsculas nas colunas) não diferem no teste t  $p < 0,05$ . Linhas: teste t para dados pareados. Colunas: teste t para dados não pareados considerando variâncias equivalentes ou diferentes conforme resultados da análise de variância para cada par de amostras.

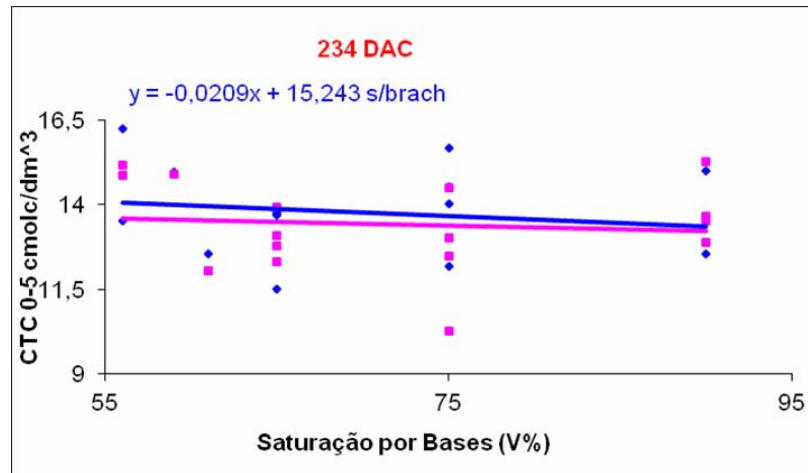
Comparando-se os dados da Tabela 11, vê-se que do 1º ano para o 2º ano houve decréscimo do teor de  $Al^{3+}$  por efeito de doses de calcário apenas nas camadas de 5-10 e 10-20 cm. Isso ocorreu apenas para as parcelas com brachiaria possivelmente em razão de uma maior absorção de  $Al^{3+}$ , dado a maior densidade de plantas/m<sup>2</sup> e ciclo vegetativo relativamente longo desta forrageira. Na camada de 0-5 cm, contudo, não houve redução do teor de  $Al^{3+}$ , nas parcelas com brachiaria. Isso, tendo em vista que houve uma acentuada tendência, em todas as sub-parcelas, deste cátion metálico diminuir no sentido das camadas mais superficiais (Tabela 11), em razão de nesse mesmo sentido também ter havido aumento no pH (Tabela 5), insolubilizando  $Al^{3+}$ , e na MOS, formando mais complexos organo-metálicos com  $Al^{3+}$  (Tabela 11).

Assim, com baixíssimo teor de  $Al^{3+}$  na camada de 0-5 cm, não houve amplitude de  $Al^{3+}$  suficiente para, do 1º para o 2º ano, haver, tal como ocorreu nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, decréscimo significativo deste cátion em razão das doses de calcário nas parcelas com brachiaria (Tabela 11).

### **Capacidade de Troca Catiônica à pH 7,0**

Ao final do 1º ano agrícola (234 dac) observou-se que não houve efeito dos tratamentos na camada de 0-5 cm (Figura 43 e Tabelas 12) como seria o esperado. Isso uma vez CTC à pH 7,0 independe da variação do valor pH e também em razão de nesta camada não ter havido qualquer efeito dos tratamentos no teor de MOS (Figura 7 e Tabelas 6).

**Figura 35** - Variação da CTC à pH 7,0 por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.

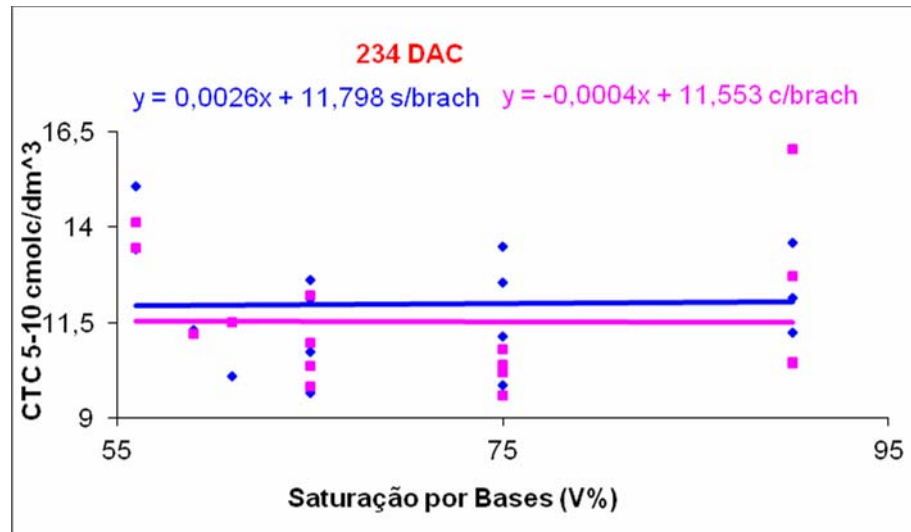


Fonte: O autor.

Avalia-se, conforme já discutido, que a ausência de aumento da CTC à pH 7,0 provavelmente ocorreu em razão da palhada produzida pela brachiaria ter permanecido apenas por pouco tempo na superfície do solo, pois entre a aplicação de herbicida para a dessecação desta forrageira e a coleta de solo para análise houve um interregno de apenas 50 (cinquenta dias). Ademais, o pequeno teor de matéria orgânica incorporada pelo incremento de palhada na superfície do solo, possivelmente foi compensada pelo aumento do valor pH nessa camada, provocando maior atividade de microorganismos e consequente maior decomposição da MOS (Figura 1).

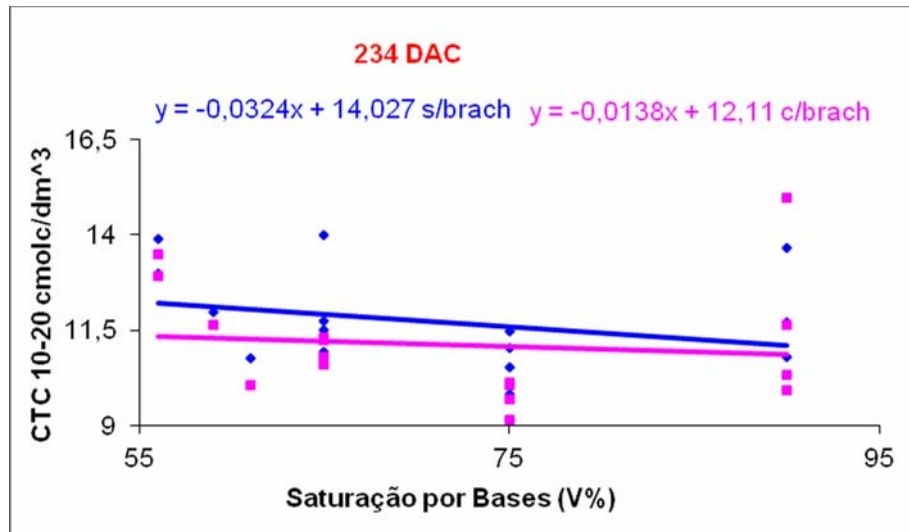
Na camada de 5-10 e 10-20 cm também não houve qualquer efeito dos tratamentos. Nem das doses de calcário em alterar a CTC à pH 7,0, uma vez este parâmetro independe da variação do valor pH, e nem influência da brachiaria (Tabelas 12), apesar desta forrageira ter determinado decréscimo na MOS nestas camadas (Tabelas 6) em razão do efeito dos AOBMM no pH do solo, conforme já discutido.

**Figura 36** - Variação da CTC à pH 7,0 por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

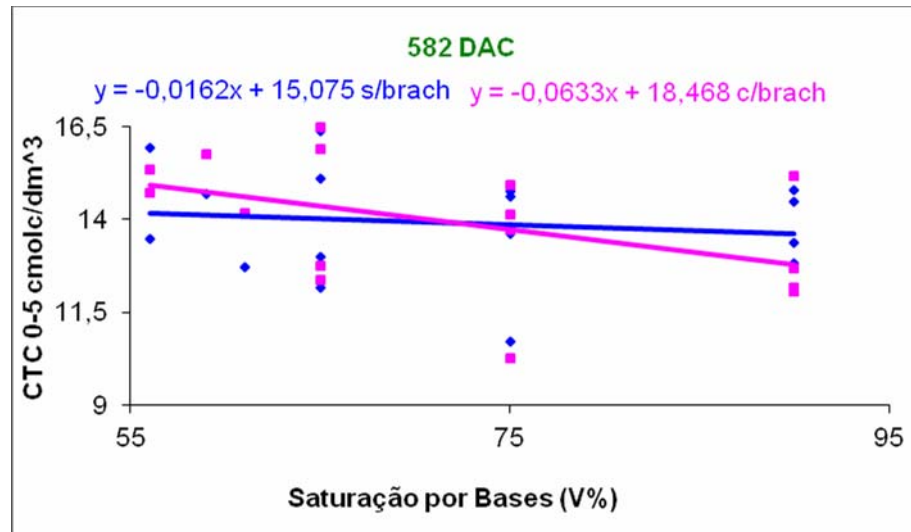
**Figura 42** - Variação da CTC à pH 7,0 por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

No caso, o decréscimo da MOS pode não ter correspondido à sua fração humificada, uma vez que as forragens perenes são bastante resistentes ao processo de humificação, sendo que é o húmus que efetivamente tem influência sobre a CTC (DICK et al., 2009; LEPSCH, 2011). Ou seja, a MOS que efetivamente decresceu no solo pertencia ao seu grupo de componentes em estágio inicial de decomposição, que ainda não haviam atingido o estágio de fração húmica e, portanto, com baixa contribuição para a formação da CTC do solo. Nesse sentido analise-se que Crusciol, Calonego e Borghi (2007) afirmam que uma das principais características que tem conferido sucesso às forragens perenes nos sistemas de produção de grãos em SPD, em regiões de inverno seco, é a sua maior persistência sobre o solo. Assim, testando a percentagem de matéria seca remanescente após o manejo químico de *B. brizantha*, milho e *P. maximum*, esses autores verificaram que aos 51 dias restavam menos de 50% da palhada de milho, enquanto ainda havia cerca de 70% da palhada de *B. brizantha* e de *P. maximum* remanescentes sobre o solo.

**Figura 43** - Variação da CTC à pH 7,0 por efeito de doses de calcário na camada de 0-5 cm.



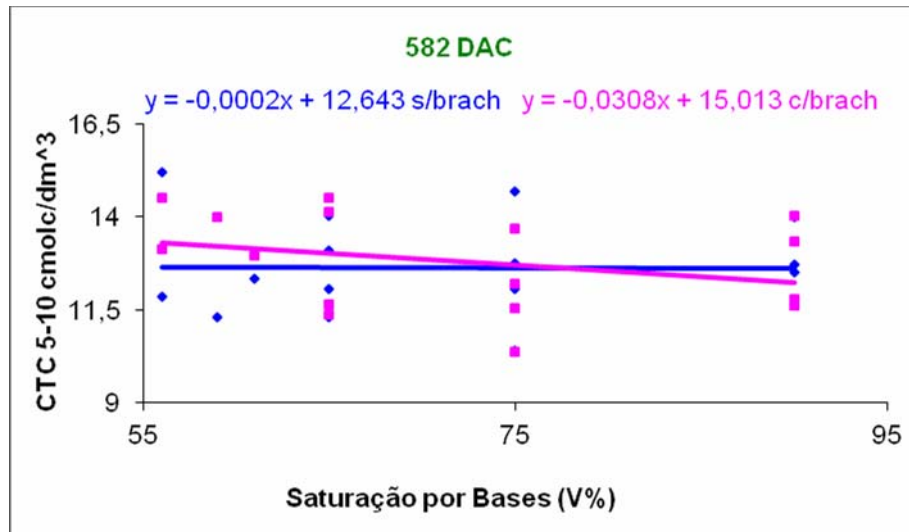
Fonte: O autor.

Ao final do 2º ano agrícola (582 dac) observou-se, igualmente, que não houve efeito dos tratamentos em qualquer das camadas (Figura 46 a 48 e Tabelas 12), apesar de neste ano ter sido registrado aumento comparativo no teor de MOS por efeito de doses de calcário nas camadas de 0-5 e 5-10 cm nas parcelas que receberam o cultivo de brachiaria. Este aumento de MOS infere-se que também não corresponda à sua fração humificada, com baixa contribuição para formação da CTC do solo, pela mesma causa considerada anteriormente. Ou seja, os componentes da MOS ainda se encontram em estágio inicial de decomposição, não tendo atingido o estágio de fração húmica (Figuras 7 a 12).

Observou-se, também, que do 1º para o 2º ano houve aumento da CTC à pH 7,0 nas camadas de 5-10 e 10-20 cm para as sub-parcelas com brachiaria (Tabela 12).

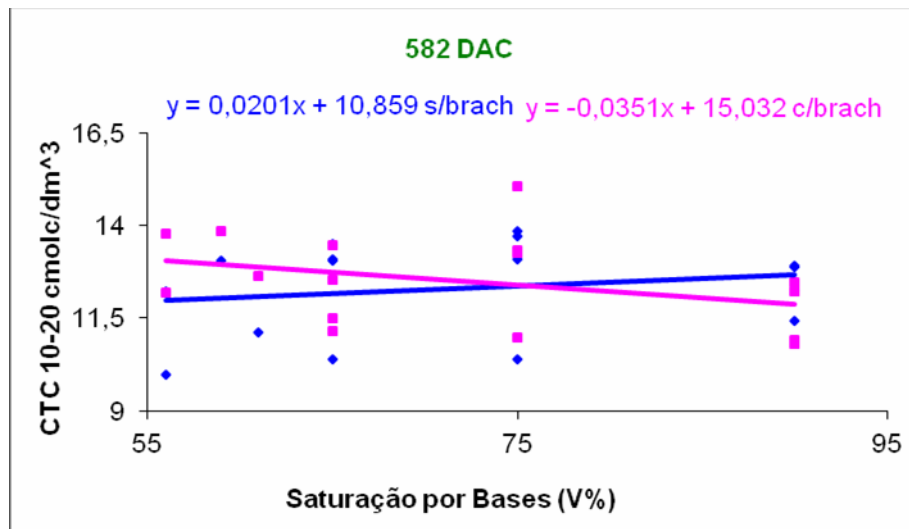
Aparentemente tal resultado não encontra suporte teórico, pois para todas as camadas houve redução da MOS do 1º para o 2º ano, a qual é a principal constituinte da fase sólida responsável pela CTC da maioria dos solos brasileiros (Tabela 6).

**Figura 44** - Variação da CTC à pH 7,0 por efeito de doses de calcário na camada de 5-10 cm.



Fonte: O autor.

**Figura 45** - Variação da CTC à pH 7,0 por efeito de doses de calcário na camada de 10-20 cm.



Fonte: O autor.

A redução da MOS decorreu do aumento do pH verificado em todas as camadas (Tabela 5), mas a CTC à pH 7,0 não poderia aumentar com o pH, pois a CTC que varia com o pH é a CTC efetiva e não a CTC a pH 7,0. Assim, cogita-se que o ocorrido teve como causa a deficiência metodológica na determinação da CTC a pH 7,0.

**Tabela 12 -** Efeito do sistema de produção agrícola e do tempo após calagem sobre a CTC à pH 7,0(  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Profundidade		234dac		582dac		media	
0 a 5 cm	s/ brach	13,74±1,31	aA	13,91±1,46	aA	<b>13,82±1,37</b>	A
	c/ brach	13,42±1,35	aA	13,91±1,73	aA	<b>13,66±1,55</b>	A
	média	<b>13,58±1,32</b>	a	<b>13,91±1,57</b>	a		
		234dac		582dac		media	
5 a 10 cm	s/ brach	11,94±1,52	aA	12,63±1,31	aA	<b>12,31±1,43</b>	A
	c/ brach	11,52±1,77	aA	12,80±1,30	bA	<b>12,16±1,66</b>	A
	média	<b>11,76±1,64</b>	a	<b>12,71±1,29</b>	b		
		234dac		582dac		media	
10 a 20 cm	s/ brach	11,69±1,30	aA	12,31±1,26	aA	<b>12,00±1,30</b>	A
	c/ brach	11,12±1,55	aA	12,51±1,23	bA	<b>11,81±1,55</b>	A
	média	<b>11,404±1,43</b>	a	<b>12,41±1,23</b>	b		

Fonte: O autor.

Letras iguais (minúscula nas linhas ou maiúsculas nas colunas) não diferem no teste t  $p < 0,05$ . Linhas: teste t para dados pareados. Colunas: teste t para dados não pareados considerando variâncias equivalentes ou diferentes conforme resultados da análise de variância para cada par de amostras.

Corroborando com esta possibilidade, Motta e Melo (2009) destacam uma provável justificativa para a subestimativa da capacidade-tampão dos solos a pH 7,0 e 8,2 pelos métodos do acetato de Ca e  $\text{BaCl}_2\text{-TEA}$ , respectivamente: i) a não-determinação de todo  $\text{H}^+$  dissociável (acidez potencial não trocável) entre o pH do solo e o pH da solução-tampão; ii) parte do  $\text{Al}^{3+}$  pode não ser retirado pelo acetato de Ca ou pelo  $\text{BaCl}_2\text{-TEA}$ , visto que as reações de liberação do Al não-trocável podem ocorrer lentamente e não ser detectada por métodos rápidos em laboratório.

Outra possível causa, não excludente, é que durante a extração da acidez potencial possa ter havido alteração no pH da suspensão obtida, dado a uma possível contaminação com  $\text{CO}_2$  atmosférico, conforme possibilidade considerada por Tomé Júnior (1997). Assim, em função dessas possibilidades de erro analítico

por limitação metodológica, cogita-se que a CTC à pH 7,0 possa ter sido subestimada no 1º ano agrícola nas sub-parcelas com brachiaria, justificando, assim, o verificado aumento deste parâmetro do 1º para o 2º ano agrícola acompanhando coincidentemente o aumento do pH.

### **Considerações Finais**

Os resultados demonstraram que o efeito do calcário no solo se estendeu para o 2º ano agrícola, promovendo, através dos mecanismos de mobilização de íons no solo, aumento no pH para todas as camadas e ambos os sistemas de produção agrícola testados, o que determinou uma maior decomposição e consequente redução da MOS.

No 1º ano agrícola os tratamentos não tiveram efeito no teor de MOS. Entretanto, no 2º ano agrícola as parcelas nas quais estabeleceu-se a ILP já apresentaram maior teor de MOS, comparativamente à área onde não houve a adoção deste sistema de produção. Isso sinaliza que num tempo maior de adoção da ILP o teor de MOS poderia vir a ser aumentado em relação ao sistema de produção agrícola sem a adoção da ILP, como foi observado nas revisões de Vilela et al. (2003), Kluthcouski et al. (2004), Séguy, Bouzinac e Maronezzi (2001), Goedert (1985) e Dick et al. (2009). Este último autor, inclusive, afirma que na ILP o pastejo estimula o rebrote da parte aérea de plantas e, ao mesmo tempo, do sistema radicular e, conseqüentemente, estimula a adição de "C" via raízes, tratando-se de uma verdadeira bomba de fixação de C no solo.

Em razão da ILP restou comprovado o poder das raízes das brachiarias em proceder reciclagem, aumentando o teor de  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  no 1º ano (camada de 0-5 cm) e de  $K^+$  no 2º ano agrícola (camadas de 0-5 e 5-10 cm).

Restou evidenciado, também, que a ILP promoveu esgotamento nos teores de fósforo na camada de 0-5 cm no 2º ano agrícola.

Do 1º para o 2º ano agrícola, contudo, restou claro o esgotamento de fósforo para todas as camadas, acompanhando a redução do teor de MOS do 1º para o 2º ano, o que também foi verificado para todas as camadas. Isso põe em evidência a necessidade de uso mais frequente das adubações fosfatadas quando for adotada a ILP incluído a brachiaria no sistema de cultivo.

Não houve interação entre o efeito das doses de calcário e da brachiaria, sendo que as crescentes doses promoveram, para ambos os sistemas de produção agrícola, uma tendência geral de aumentos em pH, CTC, teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e reduções nos teores de  $\text{Al}^{3+}$ .

No 1º ano agrícola não houve expressiva contribuição dos AOBMM produzido pela brachiaria no sentido de estender os efeitos da calagem em profundidade, mas do 1º para o 2º ano agrícola esse efeito aumentou, elevando o valor pH e teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e, assim, diminuindo o teor de  $\text{Al}^{3+}$ . Assim, restou comprovado que esses ligantes orgânicos efetivamente podem mobilizar íons e aumentar os efeitos da calagem em profundidade e em função do tempo, como fora constatado por diversos autores que trabalharam com resíduos de plantas, entre os quais Diehl, Miyazawa e Takahashi (2008), Franchini et al. (1999a, 1999b, 2001), Miyazawa, Pavan e Franchini (1998, 2000).

A pretensa extensão dos efeitos da calagem em profundidade e melhoria no ambiente radicular em função dos tratamentos, portanto, foi apenas parcialmente observada nas mudanças verificadas do 1º para o 2º ano agrícola nos atributos químicos estudados, dado ao decréscimo da MOS. Isso ocorreu muito provavelmente pela exiguidade do tempo de observação e insuficiência da profundidade de amostragem.

## Conclusões

1. Os efeitos do calcário foram estendidos em profundidade e ao longo do tempo através dos mecanismos de mobilização de íons no solo, promovendo redução da MOS e teores de  $\text{Al}^{3+}$ , bem como aumento no pH e teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .
2. A ILP promoveu aumento no teor de  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , esgotou os teores de P e não aumentou os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .
3. No 1º ano agrícola a adoção da ILP não teve efeito na MOS mas no 2º ano agrícola impediu que houvesse um maior decréscimo desta variável.

4. A extensão dos efeitos da calagem em profundidade e melhoria no ambiente radicular em função dos tratamentos somente foi observada parcialmente nas mudanças verificadas nos atributos químicos estudados.

## Referências

- ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 381-447.
- AMARAL, A. S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107 fls. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BORGHI, E. **ILP do milho consorciado com Brachiaria brizantha em SPD**. 2004. 102 fls. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- BORGHI, E. **Produção de milho e capins ‘Marandu’ e ‘Mombaça’ em função de modos de implantação do consórcio**. 2007. 142 fls. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- CAMBRI, M. A.; ALLEONI, L. R. F.; Argila dispersa em água em função da calagem em Sistema de plantio direto no cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. **Resumos ...** Cuiabá: UFMT, 2002. p. 123.
- CASSIOLATO, M. E.; MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M.; OLIVEIRA, J. C. Evaluation of oat extracts on the efficiency of lime in soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 43, p. 533-536, 2000.
- CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 143 fls. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997.
- CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E.; GUARAGNA, J. G. Alterações na Fertilidade do Solo após Dois Anos de Integração Agricultura-Pecuária. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO (FERTBIO), 27., 2006, Bonito. **Resumos ...** Bonito: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. (CD-ROM).

CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; BORGHI, E. Atributos físicos e físico-hídricos do solo com o cultivo de milho solteiro ou consorciado com *Brachiária*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2006, Gramado, 2006. **Resumos ...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. (CD-ROM).

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Integração lavoura-pecuária: benefícios das gramíneas perenes nos sistemas de produção. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 125, p. 2-15, 2009.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SANTI, A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. **Efeito da consorciação milho-braquiária (*Brachiária brizantha*) na mitigação da compactação do solo**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 2008. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 54).

DICK, D. B.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 1-67.

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2653-2659, 2008.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; FARIAS, J. R.B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa-CNPQ, 2009. (Documentos, 314).

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999b.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agrícola**, Piracicaba-SP, v. 58, p. 357-360, 2001.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 2267-2276, 1999a.

GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados**. São Paulo: Nobel, 1985.

GONZALEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E. J.; NADERMAN, G. C.; SOARES, W. V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an oxisol of central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 1155-1158, 1979.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. Integração lavoura-pecuária e o manejo de plantas daninhas. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, v. 106, 2004. P. 1-20.

LAMAS, F. M.; STAUT, L. A. **Espécies vegetais para cobertura de solo no cerrado de Mato Grosso**. Dourados: Embrapa-CPAO, 2005. (Comunicado Técnico, 97).

LARACH, J. O. I.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P.; HOCHMÜLER, D.; FASOLO, P. J.; RAÜEN, M. J. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: Embrapa-SNLCS, 1984. (Embrapa. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 27).

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Organic mobility of surface applied lime under no tillage. In: INTERNATIONAL MEETING OF THE INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCE SOCIETY, 9., 1998, Adelaide. **Anais...** Adelaide: International Humic Substance Society, 1998. p. 166.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 92, p. 1-8, 2000.

MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F. Química dos solos ácidos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do Solo: Parte II- Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 313-380.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

OLIVEIRA, E.; PAVAN, M. A. The control of soil acidity in no-till system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47-57, 1996.

PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Mobilização do calcário no solo através de resíduos da aveia. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, 18., Londrina, 1998. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1998. p. 72-79.

QUAGGIO, J. A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000.

RAIJ, B. van. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, p. 8-18, v. 135, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2013.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A. C. O conceito de multifuncionalidade das biomassas de cobertura em plantio direto. **Informe Agrônomo**, Piracicaba, v. 96, p. 30-33, 2001.

SILVA, F. C. M.; BOGNOLA, I. A.; SANTOS, D.; DEDECEK, R. A.; REIS, L. C.; JANUÁRIO, M. Distribuição, morfologia, física e química de solos do Campus da Fundação Faculdade de Agronomia “Luiz Meneghel”, de Bandeirantes (PR). **Ciência e Prática**, Lavras, v. 19, p. 256-264, 1995.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.,V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

TIRITAN, C. S. **Alterações dos atributos químicos do solo e resposta do milho à calagem superficial e incorporada em região de inverno seco**. 2001. 108 fls. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997.

VILELA, L.; MACEDO, M. C. M.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; KLUTHCOUSKI, J. Benefícios da integração lavoura-pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 143-170.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M.; FERREIRA, D. J.; CARVALHO, G.G. Potencialidade da integração lavoura-pecuária: relação planta-animal. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, 2006. Disponível em: <<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, p. 257-262, 1999.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

**Tabela 13-** Caracterização do estado inicial de fertilidade do solo da área experimental

Parcela /Prof.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O. (g/ dm <sup>3</sup> )	P (g/ dm <sup>3</sup> )	K (cmolc/ dm <sup>3</sup> )	Ca (cmolc/ dm <sup>3</sup> )	Mg (cmolc/ dm <sup>3</sup> )	Al (cmolc/ dm <sup>3</sup> )	H + Al (cmolc/ dm <sup>3</sup> )	SB (cmolc/ dm <sup>3</sup> )	CTC (cmolc/ dm <sup>3</sup> )	V(%)	m (%)
P1/ 0-5 cm	4,7	36,2	40,5	0,79	5,07	2,27	0,1	5,07	8,13	13,2	61,7	1,2
P1/ 5-10 cm	4,5	28,2	31,3	0,6	4,77	1,83	0,4	4,75	7,2	11,95	60,3	5,3
P1/10-20 cm	4,6	25,1	19,6	0,47	5,17	1,87	0,3	5,67	7,5	13,18	57	3,4
P2/ 0-5 cm	4,9	38,9	36,3	0,81	6,2	2,2	0	4,05	9,21	13,26	70	0
P2/ 5-10 cm	4,6	32,7	31,4	0,69	5,2	1,93	0,3	5,18	7,82	13	60,5	3,7
P2/10-20 cm	4,5	27,8	23,2	0,63	5,13	2,07	0,3	5,59	7,83	13,42	58,4	3,7
P3/ 0-5 cm	5,1	38,9	44,3	0,9	6,43	2,33	0	3,97	9,67	14,22	68	0
P3/ 5-10 cm	4,7	32,7	31,8	0,79	5,57	2,1	0,2	5,08	8,46	13,53	62,5	2,3
P3/10-20 cm	4,6	29,5	24	0,62	5,67	2,1	0,3	4,99	8,38	13,37	63,5	3,4
P4/ 0-5 cm	4,9	38,5	39,6	0,8	6,37	1,97	0	3,71	9,14	14,03	65,13	0
P4/ 5-10 cm	4,6	33,1	30,2	0,59	5,27	1,97	0,2	4,12	7,82	11,94	65,6	2,5
P4/10-20 cm	4,6	27,3	21,3	0,37	5,47	1,93	0,2	4,53	7,77	12,31	63,2	2,5

Continua...

## Continuação...

Parcela/Prof.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O. (g/dm <sup>3</sup> )	P(g/dm <sup>3</sup> )	K (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	H + Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	SB (cmolc/dm <sup>3</sup> )	CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	V(%)	m (%)
P5/ 0-5 cm	5,4	42,5	38,7	1,3	8,17	2,03	0	3,88	11,5	17,69	65,0	0
P5/ 5-10 cm	5	36,7	30	1,03	6,4	2,37	0	4,78	9,8	15,55	63,0	0
P5/10-20 cm	4,9	34,4	19,9	0,81	6,3	2,27	0	4,45	9,38	15,27	61,4	0
P6/ 0-5 cm	4,6	40,2	39,9	0,87	5,43	2,07	0,2	5,18	8,37	13,55	61,9	2,4
P6/ 5-10 cm	4,4	32,2	40	0,66	4,57	1,83	0,4	4,46	7,06	11,52	61,3	4,9
P6/10-20 cm	4,4	25	24,6	0,48	4,67	1,83	0,4	4,05	6,98	11,03	63,3	5,4
P7/ 0-5 cm	4,9	36,2	33,1	0,7	6,67	1,93	0	3,99	9,3	14,3	65,00	0
P7/ 5-10 cm	4,8	30	28,1	0,48	5,9	1,87	0	4,73	8,25	12,98	63,8	0
P7/10-20 cm	4,7	27,3	33,5	0,53	6,03	2,07	0,1	4,71	8,64	13,34	64,8	1,1
P8/ 0-5 cm	4,9	34,9	39,3	0,82	6,13	2,47	0	4	9,42	13,85	68,0	0
P8/ 5-10 cm	4,5	28,7	34,9	0,63	5,07	2,33	0,3	4,66	8,03	12,69	63,3	3,6
P8/10-20 cm	4,5	25,5	32,2	0,48	5,23	2,37	0,3	4,79	8,08	12,87	62,8	3,6

Continua...

## Continuação...

Parcela/Prof.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O. (g/dm <sup>3</sup> )	P(g/dm <sup>3</sup> )	K (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	H + Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	SB (cmolc/dm <sup>3</sup> )	CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	V(%)	m (%)
P9/ 0-5 cm	4,7	34,5	43,9	0,8	5,13	2,3	0,2	3,95	8,23	12,18	67,6	2,4
P9/ 5-10 cm	4,5	29,5	39,1	0,61	4,7	1,8	0,4	4,79	7,11	11,89	60	5,3
P9/10-20 cm	4,5	26,8	25,2	0,46	5,13	1,97	0,3	4,39	7,56	11,95	63,4	3,8
P10/ 0-5 cm	4,9	38,5	52,3	0,78	6,23	2,43	0	4,65	9,45	14,09	67,4	0
P10/ 5-10 cm	4,5	27,7	41,3	0,55	5,17	1,97	0,4	5,86	7,68	13,55	57,3	4,9
P10/1 0-20 cm	4,6	24,1	21,2	0,42	5,6	1,87	0,3	4,52	7,89	12,41	63,6	4
P11/ 0-5 cm	5	35,8	50,9	0,87	7,13	2,53	0	4,22	10,53	15,46	68,1	0
P11/ 5-10 cm	4,5	27,7	43,9	0,68	5,23	2,37	0,3	4,05	8,28	12,73	65,0	3,1
P11/1 0-20 cm	4,5	25	40	0,51	4,9	1,87	0,3	4,2	7,27	11,72	62	4
P12/ 0-5 cm	4,9	36,2	26,4	0,61	6,23	2,27	0	4,54	9,11	14,35	63,46	0
P12/ 5-10 cm	4,5	30,4	27,3	0,34	5,07	2,13	0,3	4,95	7,54	12,49	60,5	3,8
P12/1 0-20 cm	4,6	28,2	12,4	0,22	5,77	1,73	0,3	4,54	7,72	12,26	63	3,4

Continua...

## Continuação...

Parcela/Prof.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O. (g/dm <sup>3</sup> )	P(g/dm <sup>3</sup> )	K (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	H + Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	SB (cmolc/dm <sup>3</sup> )	CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> )	V(%)	m (%)
P13/ 0-5 cm	5,1	35,3	58,1	0,93	7,23	2,1	0	3,59	10,27	15,76	65,16	0
P13/ 5-10 cm	4,5	29,5	47,6	0,8	5,03	2,1	0,4	5,24	7,94	13,17	60,3	4,4
P13/1 0-20 cm	4,4	26,4	42	0,67	4,97	2	0,4	4,89	7,64	12,53	61	5
P14/ 0-5 cm	4,9	38,5	37,2	0,73	7	2,53	0	3,89	10,26	15,72	65,23	0
P14/ 5-10 cm	4,7	34,5	50,2	0,57	6,5	1,77	0,1	4,41	8,84	13,25	66,8	0,7
P14/1 0-20 cm	4,4	28,2	22,8	0,31	4,87	1,67	0,4	4,6	6,84	11,44	59,9	5,5
P15/ 0-5 cm	4,8	39,4	31,2	0,7	6,77	2,17	0	3,92	9,64	14,38	67	0
P15/ 5-10 cm	4,5	29,1	42,7	0,46	6	2,4	0,4	4,57	8,86	13,63	65	4,3
P15/1 0-20 cm	4,5	25,1	22,7	0,24	5,5	1,93	0,4	4,21	7,67	12,17	63	4,6
P16/ 0-5 cm	4,6	37,1	39,5	0,77	7,03	2,5	0,1	3,8	10,3	14,71	70	1,3
P16/ 5-10 cm	4,5	32,7	37,3	0,52	5,5	2,23	0,3	4,55	8,25	12,8	64,6	3,1
P16/1 0-20 cm	4,5	29,5	19,5	0,38	6,23	2,2	0,3	5,89	8,81	14,7	60,6	2,9

## ANEXO B

**Tabela 14 -** Características do calcário utilizado nos tratamentos

Teor dos constituintes (%)		Peneiras - ABNT (%)			PR (%)	PRNT (%)
CaO	MgO	Nº 10	Nº 20	Nº50		
31	21	100	86	65	107	86