

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU**

**GRANULOMETRIA E DOSES DE CALCÁRIO NA CULTURA DO MILHO E  
EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, EM SISTEMAS CONVENCIONAL E  
DIRETO**

**JOSÉ RICARDO PUPO GONÇALVES**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia – Área de  
Concentração em Agricultura.

**BOTUCATU – SP  
Setembro – 2003**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**GRANULOMETRIA E DOSES DE CALCÁRIO NA CULTURA DO MILHO E  
EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, EM SISTEMAS CONVENCIONAL E  
DIRETO**

**JOSÉ RICARDO PUPO GONÇALVES**  
**Engenheiro Agrônomo**

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia – Área de  
Concentração em Agricultura.

BOTUCATU – SP  
Setembro – 2003

*À minha esposa*

Gabriela.

*Aos meus pais*

Maria Helena e Eduardo.

*Aos meus irmãos,*

Rita de Cássia, Lígia Maria, Paulo Eduardo e Luís Rogério.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrônômicas/Unesp, Campus de Botucatu, pela oportunidade.

À Fapesp, pelo apoio concedido.

Ao Dr. Leonardo Theodoro Büll pela orientação e pelo exemplo de caráter e dedicação.

Ao Dr. Shoji Matsumura, da Universidade de Agricultura e Tecnologia de Tóquio, pela recepção no Japão e pela colaboração nos trabalhos.

Aos funcionários dos Departamentos de Produção Vegetal e Recursos Naturais da FCA/UNESP, que possibilitaram a realização do experimento.

Aos professores Dr. Roberto Lyra Villas Boas e Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol que não pouparam esforços para a concretização da tese.

Aos técnicos e companheiros que contribuíram nas diferentes etapas deste trabalho.

**SUMÁRIO**

	Página
LISTA DE TABELAS,.....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	XVI
1- RESUMO .....	01
2 - SUMMARY .....	02
3 - INTRODUÇÃO .....	05
4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	08
4.1. Sistema de semeadura direta .....	08
4.2. Acidez do solo e sistema de semeadura direta .....	11
4.3. Corretivos da acidez do solo e suas características .....	12
4.4. Correção da acidez do solo em sistema de semeadura direta .....	15
4.5. Reações de compostos orgânicos no solo .....	18
4.5. A cultura do milho em sistema de semeadura direta .....	23
5 - MATERIAL E MÉTODOS.....	26
5.1. Localização e descrição da área experimental.....	26
5.2. Delineamento experimental e descrição dos tratamentos.....	30
5.3. Instalação e condução do experimento .....	32
5.4. Variáveis analisadas .....	33
5.4.1. No solo .....	33
5.4.2. Na cobertura morta.....	37
5.4.3 Nas plantas de milho. ....	37
5.5. Análises estatísticas .....	38
6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
6.1. Análise química do solo .....	39
6.1. 1. Índice pH .....	39
6.1. 2. Matéria orgânica.....	44

6.1. 3. Fósforo – ( $P_{resina}$ ).....	48
6.1. 4. Acidez potencial – H+Al.....	50
6.1. 5. Potássio trocável.....	56
6.1. 6. Cálcio trocável.....	59
6.1. 7 Magnésio trocável.....	63
6.1. 8. Soma de bases (SB).....	65
6.1. 9. CTC do solo .....	68
6.1.10. Saturação por bases (V%).....	71
6.2. Solução do solo .....	74
6.2.1. pH.....	75
6.2.2. Potássio .....	78
6.2.3. Cálcio .....	79
6.2.4. Magnésio.....	98
6.3. Ácidos húmicos da matéria orgânica do solo.....	81
6.4. Cobertura vegetal do solo .....	83
6.4.1. Matéria seca da cobertura vegetal .....	83
6.4.2. Teor de macronutrientes na cobertura vegetal.....	86
6.5. Plantas de milho.....	92
6.5.1. Altura.....	92
6.5.2. Diâmetro do colmo .....	94
6.5.3. Matéria seca da parte aérea.....	95
6.5.4. Teores de macronutrientes nas folhas .....	97
6.5.5. Estande .....	103
6.5.6. Índice de espiga .....	105
6.5.7. Massa de 100 grãos.....	106
6.6.8. Produtividade.....	108
7- CONCLUSÕES .....	112
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	114

### LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1- Características químicas do solo, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, antes da instalação do ensaio.....	29
2 - Análises químicas e físicas dos corretivos de acidez do solo empregados no experimento .....	31
3 - Valores médios de pH verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. ....	40
4 - Valores médios de pH verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 24 meses após a aplicação do calcário, antes da semeadura do milho - ano agrícola 2000/2001.....	41
5 - Valores de pH verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.....	42
6- Valores médios de matéria orgânica verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. ....	44
7- Valores médios de M.O. ( $\text{g dm}^{-3}$ ) verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 1999/2000.....	46
8- Valores de M.O. ( $\text{g dm}^{-3}$ ) verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 1999/2000 .....	46
9- Valores de M.O. ( $\text{g dm}^{-3}$ ) verificados na interação de sistema de cultivo dentro de granulometria x dose, verificados na camada 20-40 cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 1999/2000 .....	47

10-	Valores médios de P resina ( $\text{mg dm}^3$ ) verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm, em amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	49
11-	Valores médios de acidez potencial - H+Al, verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm, aos 12 , 24 e 36 meses após a aplicação do calcário .	51
12-	Valores médios de acidez potencial (H+Al), em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.....	52
13 -	Valores médios de acidez potencial (H+Al), em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.....	53
14 -	Resultado da análise de regressão dos valores de acidez potencial (H+Al), em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de dose x sistema de cultivo e dose x granulometria, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.....	54
15 -	Médias de H+Al ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e resultados da análise de regressão de dose dentro da interação sistema de cultivo x granulometria na profundidade 0-5cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.....	54
16 -	Valores de acidez potencial (H+Al), em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo dentro de granulometria x dose, nas camadas 0 a 5 e 5 a 10cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.....	55
17 -	Valores médios de K ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho- anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	57
18 -	Valores médios de Ca ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 meses após a aplicação do calcário .....	59

- 19 - Valores médios de Ca, em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001..... 60
- 20 - Valores médios de acidez potencial (H+A1),  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados nas interações entre sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2001/2002..... 61
- 21 - Valores de Ca, em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo dentro de granulometria e dose, na camada 0-5cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001 ..... 62
- 22 - Valores médios de Mg ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 ..... 63
- 23 - Valores médios de Mg, em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo e granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, 24 meses após a aplicação do calcário ..... 64
- 24 - Valores de Mg, em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 5-10 cm, 24 meses após a aplicação do calcário ..... 64
- 25 - Valores médios de soma de bases ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 ..... 66
- 26 - Valores médios de SB, em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 24 meses da aplicação do calcário. .... 67
- 27 - Valores de SB, em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 0-5cm, 36 meses após a aplicação de calcário..... 67

- 28 - Valores de SB, em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 5-10cm, 24 e 36 meses após a aplicação de calcário ..... 68
- 29 - Valores médios de capacidade de troca catiônica – C.T.C., em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002..... 69
- 30 - Valores médios de C.T.C. efetiva do solo, em  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001..... 70
- 31 - Valores médios de V% verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 ..... 71
- 32 - Valores médios de V% verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, 24 meses após a aplicação do calcário ..... 72
- 33 - Valores de V% verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 0-5cm, 24 meses após a aplicação do calcário ..... 73
- 34 - Valores de V% verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 5-10 cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001 ..... 74
- 35 - Valores médios de V% verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 36 meses após a aplicação do calcário ..... 74
- 36 - Valores médios pH verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 após a aplicação do calcário ..... 75

37 - Valores médios de pH verificados na solução do solo, na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.....	76
38 - Valores médios K, em mg L <sup>-1</sup> verificados na solução da pasta de saturação do solo, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 após a aplicação do calcário .....	77
39 - Valores médios Ca, em mg L <sup>-1</sup> , verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 após a aplicação do calcário .....	78
40 - Valores médios de Ca, em mg L <sup>-1</sup> , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 1999/2000.....	79
41 - Valores médios Mg , em mg L <sup>-1</sup> , verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 após a aplicação do calcário .....	79
42 - Valores médios de Mg, em mg L <sup>-1</sup> , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 1999/2000.....	80
43 - Valores médios de Mg trocável, em mg L <sup>-1</sup> , verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 24 meses após a aplicação do calcário .....	80
44- Valores médios ácidos húmicos e fúlvicos verificados no solo, em g kg <sup>-1</sup> , nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 12 meses após a aplicação do calcário .....	81
45 - Valores médios de massa seca da cobertura vegetal do solo, em kg.ha <sup>-1</sup> , verificados aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário. ....	83
46 - Valores de massa seca da cobertura vegetal, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria x dose, 24 meses após a aplicação do calcário .....	84

47 - Teores de nutrientes na cobertura vegetal do solo, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário .....	86
48 - Valores médios de Ca, Mg e S, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados na cobertura do solo, 12 meses após a aplicação do calcário .....	88
49 - Valores médios de Ca e Mg, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, na cobertura vegetal do solo, 12 meses após a aplicação de calcário.....	89
50 - Valores de cálcio, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados na interação sistema de cultivo x granulometria x dose, na cobertura vegetal, 12 meses após a aplicação do calcário. ....	89
51 - Valores de Mg, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados na interação sistema de cultivo x granulometria x dose, na massa seca da cobertura vegetal, amostrada 12 meses após a aplicação do calcário.....	90
52 - Valores de Mg, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados na interação sistema de cultivo x granulometria x dose, na massa seca da cobertura vegetal, amostrada 12 meses após a aplicação do calcário.....	90
53 - Teores de K e S, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, na cobertura do solo, 12 meses após a aplicação do calcário .....	91
54 - Teores de K, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados na interação tripla entre sistema de cultivo x granulometria x dose, na massa seca da cobertura vegetal, amostrada 12 meses após a aplicação do calcário .....	91
55 - Teores de S, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados na interação tripla entre sistema de cultivo x granulometria x dose, na massa seca da cobertura vegetal, amostrada 12 meses após a aplicação do calcário .....	91
56 - Valores médios de altura das plantas de milho (cm), verificados nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	92

57 - Valores médios de altura das plantas, em centímetros (cm), verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. ....	93
58- Valores médios de altura das plantas de milho, em cm, verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	93
59 - Valores médios de diâmetro do colmo, em mm, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados antes da semeadura do milho .	94
60 - Valores médios de diâmetro do colmo das plantas de milho, em mm, verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	95
61 - Valores médios de matéria seca da parte aérea, em g.planta <sup>-1</sup> das plantas de milho verificados nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. ....	96
62 - Valores médios de massa seca da parte aérea das plantas de milho, em g.planta <sup>-1</sup> , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	97
63 - Valores médios do teor foliar de macronutrientes das plantas de milho, em g kg <sup>-1</sup> , verificados nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 .....	97
64 - Valores de P, K, Ca e Mg, em g kg <sup>-1</sup> , verificados na interação entre sistema de cultivo x granulometria, nas plantas de milho cultivadas no ano agrícola de 2000/2001 .....	101
65 - Teores de P, K e S, em g kg <sup>-1</sup> , verificados na interação entre sistema de cultivo x granulometria, nas plantas de milho cultivadas no ano agrícola de 2000/2001.....	102
66 - Teores de P e S, em g kg <sup>-1</sup> , verificados na interação entre sistema de cultivo x dose, nas plantas cultivadas no ano agrícola de 2002/2003 .....	102
67 - Número de plantas de milho por hectare verificado nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 .....	103

68 - Valores médios de número de plantas de milho por hectare verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 .....	104
69 - Valores médios de número de plantas de milho por hectare verificados na interação de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	104
70 - Número médio de espigas por planta verificado em plantas de milho cultivadas nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 .....	105
71 - Número médio de espigas por planta de milho, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2003.....	105
72 - Número médio de número de espigas por planta de milho, verificados no desdobramento de granulometria dentro da interação de sistema de cultivo x dose, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	106
73 - Valores médios da massa de 100 grãos de milho produzidos pelas plantas de milho cultivadas nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 ....	106
74 - Valores médios de massa de 100 grãos, em gramas, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	107
75 - Valores médios de massa de 100 grãos, em gramas, determinados nas interações entre de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	108
76 - Valores médios de produtividade, kg.ha <sup>-1</sup> , da cultura do milho nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.....	109
77 - Valores médios de produtividade da cultura do milho, em kg.ha <sup>-1</sup> , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. ....	109

78 - Valores médios de produtividade das plantas de milho, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , verificados nas interações entre de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 .....	110
---	-----

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 - Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 1998....	27
2 - Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 1999....	27
3 - Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 2000....	28
4 - Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 2001....	28
5 - Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 2002....	29
6 – Desenho esquemático da disposição das parcelas e subparcelas do experimento .....	31
7 - Esquema de dissolução dos ácidos fúlvicos e húmicos da matéria orgânica do solo .....	34
8 – Esquema de extração dos ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do solo .....	35
9 – Esquema para obter soluções com concentração de carbono conhecida.....	36
10- Esquema para determinação dos ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do solo.....	36

## 1- RESUMO

O trabalho objetivou avaliar as alterações nas propriedades químicas do solo, no desenvolvimento e produção do milho (*Zea mays* L.) sob cultivo convencional e semeadura direta em função da aplicação de calcário dolomítico com diferentes granulometrias e doses. O experimento foi conduzido no município de Botucatu, no período de 1999 a 2002, em um Latossolo Vermelho Distroférico. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas foram constituídas por dois sistemas de cultivo: convencional (CC) e semeadura direta (SD); as subparcelas foram estabelecidas pela aplicação de calcário dolomítico com duas granulometrias: fino, com PRNT de 95%, e grosso, com PRNT de 56%; as subsubparcelas foram estabelecidas pela aplicação de três doses de calcário definidas em função da dose para elevar a saturação de bases a 70%: dose recomendada (DR), 1/3 de DR e 2/3 de DR.

Os resultados evidenciaram alterações nas propriedades químicas do solo, com aumento de pH, Ca e Mg trocáveis, soma de bases, CTC, V% e redução da acidez potencial, no SD, até 10cm de profundidade, com diferenças significativas em relação ao CC até 36 meses após a aplicação do calcário. Nas maiores profundidades, 10-20 e 20-40 cm, houve uma inversão, e os efeitos na neutralização da acidez do solo foram mais pronunciados no CC que no SD. O calcário com PRNT de 95% proporcionou melhor neutralização da acidez do solo em relação ao calcário com PRNT de 56%, até 10 cm de profundidade. Na camada 20 a 40cm, os níveis de matéria orgânica foram mais elevados no CC que no SD, 12 meses após aplicação do calcário. Neste mesmo período, o calcário fino apresentou melhor efeito que o calcário grosso sobre o teor de matéria orgânica na camada 5 a 10cm. Os teores de ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do solo, determinados 12 meses após a aplicação do calcário, não apresentaram diferenças entre os tratamentos,

o mesmo acontecendo com a quantidade de massa da cobertura vegetal. O teor de N na cobertura vegetal do solo apresentou incremento com a dose de calcário aplicada e o teor de magnésio foi mais elevado em CC que em SD, 12 meses após aplicação do corretivo.

De maneira geral, as plantas de milho em CC foram mais altas e finas que as cultivadas no SD, mas não houve diferença na massa seca da parte aérea. Os teores foliares de N, K, P e Mg foram alterados pelos tratamentos, mas os efeitos produzidos variaram a cada ano agrícola. Houve maior estande e produtividade de acordo com o aumento da dose aplicada, com maiores respostas em CC que em SD, 12 meses após a aplicação do calcário.

O calcário com granulometria fina apresentou maior eficiência na neutralização da acidez do solo que o calcário grosso, cuja reatividade foi maior no SD que no CC.

A aplicação em superfície de calcário em áreas com baixa V% não corrigidas antes da implantação do SD, não foi suficiente para elevar a V% a níveis adequados para o desenvolvimento da cultura do milho, necessitando de reaplicação após um ou dois anos.

A metodologia de determinação de ácidos húmicos e fúlvicos empregada mostrou grande potencial de utilização nas condições brasileiras.

GRANULOMETRIC FRACTIONS AND RATES OF DOLOMITE LIME ON CORN AND SOIL ATTRIBUTES IN CONVENTIONAL AND NO-TILLAGE SYSTEM. Botucatu, 2003. 160p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JOSÉ RICARDO PUPO GONÇALVES

Adviser: LEONARDO THEODORO BÜLL

## 2 – SUMMARY

This experiment was carried out on a Red Distroferric Latossol (Oxisol) at Botucatu, SP, Brazil, from 1999 to 2002, with the aim to evaluate the changes in the soil chemical characteristics, development and yield of corn under no-tillage and conventional tillage system as a function of granulometric fraction and rates of dolomite lime. A randomized block design was used, with four replications, in the split-split-plot design. In the main plots, two tillage systems were applied: no-tillage (NT) and conventional tillage (CT); subplots were constituted by two granulometric fractions of lime: fine, with PRNT (Relative Power of Total Neutralization)=56%, and thick, with PRNT=95%; subsubplots were defined as function of amount calculated to increase the soil base saturation (V%) to 70%: CA(calculated amount); 1/3 CA; 2/3 CA.

The results have shown changes in the soil chemical properties, with increases of pH, exchangeable calcium and magnesium, sum of bases, base saturation, CEC (cations exchange capacity) and reduction of potential acidity (H + Al), in NT, at 10 cm layer, with significative differences in relation to CT, 36 months after applied the lime. In the deeper layers (10-20cm and 20-40cm), there was an inversion, and the effects observed in the neutralization of soil acidity were more

pronounced in CT than NT. The lime with PRNT=95% provided better neutralization of soil acidity than lime with PRNT=56%, at the 10 cm layer. There was increase in the soil organic matter rates, in the 0-5 cm layer, in both tillage systems, verified 12 months after applied the lime, followed by decrease at 24 and 36 months. In the 20-40 cm layer, soil organic matter rates were higher in the CT than NT, 12 months after applied the lime. In this same period, the lime with PRNT=95% showed better effect than lime with PRNT=56% on the soil organic matter, in the 5-10 cm layer. The fulvic and humic acids contents in the soil organic matter, determined 12 months after applied the lime, didn't show differences between the treatments, the same occurring with the amount of dry matter in the mulch. In general, corn plants under CT was higher and with less straw diameter of those under NT, but didn't have differences in the dry matter values. The N, P, K, Ca and Mg contents were affected by the treatments, but these effects were variables in each year. There was higher stand and yield in function of the dosage applied, and the grain production was higher in the CT than NT, 12 months after applied the lime.

In the NT, there was movement of lime to 10 cm layer, with positive effects at 40 cm layer. The lime with PRNT=95% presented higher efficiency on the soil acidity neutralization than the lime with PRNT=56%, which reactivity was higher in the NT than CT. The development and yield of corn was better in the CT and lime with PRNT=95%, with proportional increases to applied rates, 12 months after applied the lime.

The determination of humic and fulvic acids applied showed potential to be used in the Brazilian conditions.

Keywords: no-tillage, liming, corn, *Zea mays*.

---

### 3 – INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta tem se destacado na região Centro-Sul do Brasil como um sistema efetivo para diminuir os processos erosivos, bem como manter, ou eventualmente aumentar, a fertilidade dos solos agrícolas. Atualmente, estima-se que mais de 30% da área cultivada com cereais no país já tenha adotado este sistema de cultivo.

No Brasil, um dos fatores limitantes para a produção agrícola, é que grande parte dos solos agrícolas apresentam baixo pH, baixa capacidade de troca catiônica, baixa saturação por bases, deficiência de cálcio, além de níveis tóxicos de alumínio em superfície e subsuperfície.

A correção da acidez do solo através da calagem é considerada uma das operações de maior retorno econômico tendo em vista a elevação da produtividade e lucratividade agrícola. No entanto, a calagem no sistema de semeadura direta tem gerado intenso questionamento no meio agrônomo, pois as recomendações de calagem normalmente empregadas são destinadas ao sistema de cultivo convencional do solo que utiliza arados e grades para incorporação do corretivo.

No sistema de semeadura direta, a aplicação é realizada em superfície e a não incorporação reduz a superfície de contato com os colóides diminuindo a reatividade, com tendência a se acumular na superfície, formando um gradiente bastante definido, afetando negativamente a eficiência da aplicação em subsuperfície.

Em alguns casos, o calcário aplicado em superfície tem apresentado movimentação física no perfil do solo, melhorando a disponibilidade de cátions e precipitando o alumínio tóxico em subsuperfície. Além da movimentação química, pode haver também caminhamento físico do calcário, possibilitado pela

formação de canais e microcanais produzidos por raízes, minhocas e atividades de insetos.

A movimentação do calcário no perfil do solo sob sistema de semeadura direta pode estar relacionado às reações do corretivo com compostos orgânicos presentes na cobertura vegetal que alteram a carga do cálcio e magnésio formando compostos mais estáveis que movimentam-se até camadas mais profundas.

A correção da acidez antes da implantação do sistema de semeadura direta tem sido um pré-requisito para a estabilidade do sistema. Contudo, em muitas áreas esta prática não tem sido realizada resultando no retorno ao sistema de cultivo convencional.

Como as características físicas e químicas do solo sob sistema de semeadura direta são distintas daquelas observadas no sistema de cultivo convencional, as recomendações de doses e modos de aplicação do corretivo devem ser adequadas a este sistema de cultivo.

Normalmente é utilizado no Brasil, calcário dolomítico com alto poder relativo de neutralização total (PRNT), que caracteriza-se por ser um corretivo com granulometria fina e alta reatividade. O calcário com granulometria mais grossa, apesar de apresentar menor reatividade, possui maior poder residual. Como as recomendações utilizadas para a aplicação do corretivo são aquelas indicadas para o sistema de cultivo convencional, a aplicação em superfície de calcário com alto PRNT promove um acúmulo do produto na região aplicada.

O presente trabalho teve como objetivo estudar as alterações químicas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à aplicação de calcário dolomítico com diferentes granulometrias e doses, avaliando seus efeitos no desenvolvimento e produção do milho sob cultivo convencional e semeadura direta.

## **4- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Sistema de semeadura direta**

Os sistemas mais utilizados para o preparo primário do solo envolvem grades e arados que pulverizam excessivamente o solo, provocando o aparecimento de camadas compactadas (pés-de-grade), o aumento da erosão pelo impacto da gota de chuva e pelo escoamento superficial e a redução na capacidade de infiltração (Freitas, 1995).

O revolvimento da camada superficial causa também a ruptura de capilares e canais que surgem das partes inferiores do solo. Nestas condições, a camada de solo cultivada fica isolada das inferiores, não podendo ser reumedecida pela água do subsolo (Jorge, 1985).

O sistema de semeadura direta é um processo de semeadura em solo não revolvido, devidamente protegido por resíduos vegetais de culturas anteriores, no qual as sementes são colocadas em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato destas com a terra (Muzilli, 2000).

De acordo com Caires et al. (2000), o sistema de semeadura direta surgiu na década de 70 principalmente para minimizar as perdas de solo e nutrientes que, segundo Los (1995), ocorrem principalmente sob uso intensivo da mecanização, que predispõe o solo à ação dos agentes erosivos.

Por não haver revolvimento do solo, a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo no sistema de semeadura direta promove condições distintas nas propriedades do solo em relação a sua incorporação através do sistema de cultivo convencional. O não revolvimento do solo leva a uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico, tendo como consequência alterações físicas,

químicas e biológicas do solo que irão repercutir na fertilidade e na produtividade das culturas (Holtz & Sá, 1995).

Segundo Mondardo & Biscaia (1981), o sistema de semeadura direta constitui, indiscutivelmente, a forma mais eficiente de conservação do solo, principalmente para as culturas de milho, trigo e soja, permitindo reduzir em mais de 80% as perdas de solo por erosão de áreas cultivadas.

Após 25 anos de experimentos com semeadura direta, Dick et al. (1991) verificaram menores perdas por erosão no sistema de semeadura direta em relação a outros tipos de sistema de cultivo, com produções de milho menores em sistema de semeadura direta nos primeiros anos de cultivo, que aumentaram seu potencial a partir do terceiro ano de implantação do sistema.

Tormena & Roloff (1983) relatam que o sistema de semeadura direta destaca-se como um sistema conservacionista efetivo para o controle das perdas de solo e água sob as condições do sul do Brasil, mas a compactação do solo em superfície motivada pela ausência de revolvimento e a ocorrência de tráfego de máquinas agrícolas, constitui-se num dos principais problemas. Aliada ao fator compactação, a colocação superficial de fertilizantes e corretivos tem motivado aos agricultores a proceder o revolvimento do solo após alguns anos de semeadura direta.

Segundo Mazuchowski & Derpsch (1984), o emprego de semeadura direta em larga escala nas propriedades que consigam dominar o sistema é de extrema importância para a manutenção ou melhoria da produtividade dos solos, evitando a erosão e a perda de fertilidade, fatos estes observados em todas as áreas de cultivo intensivo no estado do Paraná e no sul do Brasil.

Derpsch et al. (1991) verificaram que no sistema de semeadura direta, a camada de 0 a 10 cm do solo, 67% dos agregados da classe 9,52 a 5,66 mm, originalmente existentes, ainda permaneciam estáveis na água, enquanto que no sistema de cultivo convencional apenas 3% dos agregados desta classe foram encontrados. Esta diminuição na estabilidade dos agregados pode ser relacionada com uma

correspondente diminuição no teor de húmus e na atividade biológica do solo. Devido à maior estabilidade dos agregados, o risco de selamento superficial é comparativamente baixo no SD.

De acordo com Muzzili (2000), para ser viabilizado técnica e economicamente, o SD não deve ser focado apenas como um método alternativo de semeadura ou manejo do solo. Necessita ser tratado como um sistema de produção, abrangendo um complexo ordenado de práticas agrícolas interrelacionadas e interdependentes que incluem, além do não revolvimento do solo, a rotação diversificada de culturas, o uso de plantas de cobertura para formar e manter a palhada sobre o terreno e, mais recentemente, a integração lavoura-agropecuária.

O SD possui uma série de vantagens inquestionáveis em relação ao CC: reduz a erosão, aumenta o nível de matéria orgânica e, conseqüentemente, a fertilidade, diminui o uso de combustíveis, preserva e recupera mananciais de água, ajuda no controle de CO<sub>2</sub> e seus efeitos no aquecimento global, reduz os custos gerais da lavoura, com aumento gradativo de produtividade, entre outras (Borges 1997).

Segundo Benez (1980), há maior viabilidade prática nos sistemas de cultivos com menor mobilização do solo em relação ao sistema de cultivo convencional, como a menor dependência das condições climáticas para preparo do solo e semeadura. Por outro lado, Hass (1999) observa que a palhada deixada na superfície pode trazer alguns problemas como dificuldade na operação de semeadoras, imobilização de nitrogênio, possibilidade de ocorrência de alelopatia com a cultura seguinte, risco de fogo e sobrevivência de patógenos.

Hargrove et al. (1982), em estudos realizados nos Estados Unidos, verificaram que os teores de matéria orgânica nos solos em que foi utilizado o semeadura direta não foram superiores aos dos solos preparados convencionalmente.

#### **4.2. Acidez do solo e sistema semeadura direta**

Grandes áreas do território brasileiro são de solos ácidos que apresentam deficiência generalizada de bases trocáveis (Ca, Mg, K), níveis tóxicos de Al, baixa capacidade de troca de cátions e baixos teores de matéria orgânica (Meda et al. 2002), com características desfavoráveis ao crescimento das plantas, e condições inadequadas para a vida microbiana, além de alto poder de fixação do fósforo, menor disponibilidade de molibidênio e níveis tóxicos de manganês (Malavolta, 1985).

Algumas características intrínsecas dos solos, principalmente aquelas relacionadas com o tamponamento, afetam a profundidade de atuação das reações de compostos dos corretivos, que em alguns casos podem atingir camadas de até 40-60 cm de profundidade (Ernani et al., 2001).

Amaral et al. (1999) relatam que os resíduos vegetais deixados na superfície do solo no sistema de semeadura direta podem alterar a acidez do solo e influenciar, inclusive, o comportamento dos herbicidas comumente utilizados na agricultura.

Cassol et al. (1993) afirmam que, após alguns anos de cultivo em semeadura direta, ocorre um abaixamento do pH na camada superficial e concomitantemente o aparecimento de alumínio trocável em níveis tóxicos para as plantas o que torna necessário correção da acidez para a viabilidade do sistema.

O não revolvimento do solo no sistema semeadura direta e o conseqüente acúmulo de resíduos vegetais, corretivos e fertilizantes na sua superfície promovem modificações nas características químicas do solo em relação ao sistema convencional. Estas modificações ocorrem de forma gradual e progressiva a partir da superfície do solo, e afetam tanto a disponibilidade de nutrientes quanto o processo da acidificação do solo (Amaral & Anghinoni, 2001)

### 4.3. Corretivos da acidez do solo e suas características

De acordo com Raij (1991), corretivo é um material apto a corrigir uma ou mais características desfavoráveis do solo. A eficiência de um corretivo de acidez depende de seu conteúdo em material neutralizante, de sua granulometria e da natureza de sua composição. Os corretivos mais comumente utilizados no Brasil são as rochas calcárias moídas que são encontradas com relativa frequência e abundância, tendo como constituinte neutralizante o carbonato de cálcio, normalmente associado ao magnésio. Em solos ácidos recomenda-se a sua utilização para elevar o pH, precipitar o alumínio e elevar a saturação de bases. (Mello, 1989).

Alcarde et al. (1989) salientam que, para obter boa eficiência dos corretivos é necessário conhecer como eles atuam no solo e algumas de suas características. Entre estas, o teor, a natureza química dos neutralizantes e o tamanho das partículas são os fatores de maior importância, pois é a partir deles que é calculado o poder relativo de neutralização total (PRNT) desses materiais.

Na avaliação do material calcário leva-se em conta somente a efetividade química (equivalência em carbonato de cálcio) e a reatividade (medida pela separação dimensional das partículas em uma série de peneiras) que, segundo Quaggio et al. (1995), é uma avaliação incompleta, já que a efetividade das diferentes frações dimensionais das partículas têm sido determinada por incubação com amostras de solos sem plantas, em experimentos de curto período, desprezando-se as respostas de colheita e os respectivos efeitos residuais, de fundamental importância para a otimização dos benefícios da calagem.

Trabalhando com dois tipos de calcários (sedimentar e metamórfico), aplicados em solos com diferentes propriedades físicas e químicas, Bellingieri (1983), citado por Tiritan (2001), verificou que na reatividade dos calcários, o mais importante é a granulometria, independente da origem da rocha calcária.

Mielniczuk et al. (1971), Verlengia & Gargantini (1972), Souza & Neptune (1979) afirmam que quanto menor a granulometria do calcário, mais rápida é a sua reação de neutralização. No entanto, Quaggio (1995) através de um experimento desenvolvido em solo ácido no Estado de São Paulo cultivado com soja e sorgo durante quatro anos, no qual foram aplicados três materiais calcários: bruto, refinado e calcinado, com teores similares de magnésio, constatou que pedra calcária com 66% das partículas passando através de uma peneira de malha 70 foi tão efetiva quanto pedra calcária com 100% de partículas passando através da mesma peneira.

Natale & Coutinho (1994) analisando a eficiência agrônômica em condições de campo de frações granulométricas de calcário dolomítico constataram que a saturação por bases do solo mostrou-se adequada para avaliar a eficiência das frações do calcário em questão e verificaram que a fração granulométrica retida entre as peneiras 4,0-2,0 mm foi ineficiente em elevar a saturação por bases do solo no decorrer de 30 meses.

Alcarde (1986) define efeito residual de um corretivo como sendo o tempo de duração da calagem efetuada. Sanches & Salinas (1983), Mielniczuk (1983), Rajj & Quaggio (1984) consideram o efeito residual de um corretivo um fator primordial no manejo dos solos ácidos e principalmente na economicidade da calagem.

A velocidade de reação do corretivo e seu efeito residual são grandezas inversas, que se contrapõem e, de acordo com Tisdale & Nelson (1985), os materiais finamente divididos reagem rapidamente no solo, mas o efeito é mantido por um período mais curto do que os materiais que contém uma razoável quantidade de partículas mais grossas, o que foi confirmado por Barros et al. (1985) nas condições brasileiras.

Camargo et al. (1982), ao estudar o efeito da calagem na produção de milho em um solo Podzólico Vermelho Amarelo, observou que a resposta da cultura era crescente, com a diminuição do alumínio e aumento de cálcio, magnésio

e pH, acompanhados com o aumento da produtividade. A calagem também apresentou efeito residual de pelo menos sete anos e constituiu num excelente investimento no aumento da produção.

Conforme o pH do solo aumenta, o  $Al^{3+}$  sofre hidrólise deixando vago sítios de troca de cátions, ou ainda ocasiona a dissociação do hidrogênio aumentando assim a CTC efetiva do solo, fato que há muito tempo já vem sendo constatado e é bem conhecido, podendo haver aumento de 50% na CTC efetiva do solo com carga variável quando o pH sobe de 5,0 para 6,0. Entretanto, a CTC a pH 7,0 não parece sofrer alteração com a calagem. (Camargo et al., 1997).

Em experimento realizado para avaliar os efeitos da acidez do solo sobre diferentes cultivares de milho, Oliveira et al. (1983), observaram que acidez superficial pode ser facilmente eliminada pela calagem na camada superficial, mas não é eliminada com facilidade nas camadas subsuperficiais, o que impede o desenvolvimento normal do sistema radicular.

Segundo recomendações de Raij et al. (1996), o corretivo deve ser espalhado de forma mais uniforme possível sobre o terreno e incorporado. Os arados, tanto de disco como de aiveca, proporcionam incorporações mais profundas que as grades aradoras. Melhor uniformidade de incorporação consegue-se com a aplicação de calcário de uma só vez, realizando uma pré-mistura com grade semi-pesada e, a seguir, de preferência com o solo úmido, aração profunda para completar a incorporação.

A quantidade de calcário a ser utilizada dependerá do tipo de solo, do sistema de produção e da disponibilidade de recursos financeiros para a sua aquisição. O desejável será manter a saturação por bases (V%) entre 55 e 70% e a saturação de Al trocável abaixo dos 5% no complexo coloidal do solo. Para que o calcário possa produzir os efeitos desejáveis, é necessário haver umidade suficiente no solo para a sua reação (Muzzili, 2000).

Os materiais utilizados como corretivos da acidez do solo são pouco solúveis e os produtos da reação do calcário com o solo têm mobilidade limitada. Devido a isto, a ação da calagem em sistemas de cultivo sem revolvimento do solo fica restrita às camadas superficiais do solo (Caires et al. 2000).

#### **4.4. Correção da acidez do solo em sistema de semeadura direta**

Muzilli (1983) ao estudar a influência do sistema de semeadura direta, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável de um Latossolo Vermelho Escuro durante quatro anos de cultivo, observou um aumento na matéria orgânica no sistema de semeadura direta com o decorrer dos anos. Os níveis de fósforo nas camadas superficiais sob este sistema foram maiores que no sistema de cultivo convencional, já os teores de potássio, cálcio e magnésio mostraram tendência de diminuição gradativa de sua disponibilidade à medida que se aprofundou na camada arável. Quanto aos efeitos sobre o pH do solo, os resultados obtidos não evidenciaram nenhum efeito de acidificação na camada arável do solo.

Por outro lado, Cassol et al. (1993) verificaram após alguns anos de cultivo em semeadura direta, um abaixamento do pH na camada superficial e concomitantemente o aparecimento de alumínio trocável em níveis tóxicos para as plantas. Resultados semelhantes encontraram Petreire et al. (1999) ao avaliar o efeito da aplicação superficial de doses de calcário em área de campo nativo sobre as características químicas no perfil do solo, conduzida nos sistemas de semeadura direta e convencional, em que verificaram no no tratamento testemunha (sem calcário), em ambos os sistemas de manejo, diminuição substancial do teor de matéria orgânica, e aumento de pH e cátions trocáveis, quando comparados às condições de campo nativo.

De acordo com Fontoura et al. (1999) a forma de realizar a calagem é bastante questionada, já que o revolvimento do solo não é mais desejável e

o calcário é um produto de baixa solubilidade em água, necessitando entrar em contato com o solo para reagir.

Kray et al. (1999) relatam que, após alguns anos de cultivo sob semeadura direta, surge a necessidade de reaplicação de calcário e, com ela a dúvida de aplicar o calcário na superfície, dando continuidade ao sistema, ou incorporá-lo à camada arável, seguindo a recomendação do sistema convencional, o que pode destruir características físicas favoráveis sob o ponto de vista conservacionista, desenvolvidas ao longo do tempo de cultivo no sistema de semeadura direta.

Do ponto de vista econômico, a calagem deve ser considerada um investimento cuja participação relativa no custo de “construção” da fertilidade do solo está ao redor de 5 a 8% ao ano e cujo cálculo de economicidade deve ser realizado considerando-se um período de amortização entre 3 e 5 anos. Caso o produtor não disponha de recursos financeiros suficientes para proceder a melhoria em toda a propriedade, deve iniciar a calagem pelas glebas com maior potencialidade de resposta ao uso de corretivo (Muzzili, 2000).

Caires et al. (1999) ao avaliarem a correção da acidez do solo e a resposta das culturas em rotação no sistema de semeadura direta, em função da calagem na superfície, em um experimento conduzido num Latossolo Vermelho Escuro em Ponta Grossa-PR, observaram um aumento significativo no pH, dos teores de Ca+Mg trocáveis e da saturação de bases e na redução significativa da acidez potencial até profundidade de 60cm.

Oliveira & Pavan (1994) verificaram movimentação física do calcário em profundidade e redução da acidez revelada pela elevação do pH e redução do alumínio trocável, até 40cm de profundidade, após trinta e dois meses da aplicação de calcário na superfície em sistemas de cultivo sem preparo do solo. De acordo com esses autores, houve movimentação física do calcário provavelmente através de canais formados por raízes mortas mantidos intactos em razão da ausência de movimentação do solo.

Costa (2000), em estudos com calagem superficial em SD verificou aumentos nos teores de Mg na solução da pasta de saturação do solo, em todo o perfil do solo, indicando uma movimentação para as camadas subsuperficiais do Mg oriundo da reação de hidrólise do calcário dolomítico aplicado em superfície. Os resultados confirmaram a hipótese estabelecida por Oliveira & Pavan (1996) de formação de pares iônicos entre o bicarbonato, cálcio e magnésio facilitando o seu movimento no perfil do solo

Segundo Blevins et al. (1978), a maior parte das recomendações de calagem sugerem a incorporação do calcário com arados. Entretanto, a efetividade da aplicação superficial e a não incorporação do corretivo no sistema de semeadura direta tem sido uma questão bastante discutida.

Por não mobilizar o solo após o seu estabelecimento, o sistema de semeadura direta poderá dificultar, no curto prazo, a correção da acidez em profundidade, resultando numa estratificação química ao longo do perfil cultural do solo. Um vez estabelecido o sistema, a calagem poderá ser procedida mediante a distribuição uniforme do material corretivo sobre a superfície do terreno, sem haver necessidade de incorporação ao solo, conforme ficou evidenciada em experiências de validação realizadas na região Centro-Oeste do Paraná (Muzilli, 2000).

#### **4.5. Reações de compostos orgânicos no solo**

Segundo Malavolta (1979), durante a decomposição da matéria orgânica no solo, os nutrientes são colocados gradualmente em liberdade, tornando-se aproveitável pelas plantas. À medida que a matéria orgânica se decompõe, formam-se quantidades consideráveis de gás carbônico que se dissolve na solução do solo, juntamente com ácidos ajudando a solubilizar os minerais que contém os nutrientes para as plantas.

A transformação dos resíduos é constituída de duas etapas: uma física (desintegração) e outra química (decomposição). A primeira diz respeito à quebra mecânica dos resíduos promovida principalmente pela mesofauna, e na última os resíduos são primeiramente decompostos em suas unidades estruturais básicas por enzimas extracelulares, sendo depois absorvidas e oxidadas pelos microorganismos a fim de obterem energia para o seu desenvolvimento, com conseqüente produção de biomassa. Portanto, o húmus é o produto final da decomposição da matéria orgânica, e esta pode ter origens de resíduos orgânicos animais ou vegetais, exsudados radiculares, organismos e substâncias orgânicas lavadas das folhas (Peixoto, 2000).

De acordo com Miyazawa et al. (1996), o provável mecanismo de lixiviação de cálcio em áreas de cultivo sem preparo do solo está relacionado à formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas. Na camada superficial do solo, os ligantes orgânicos complexam o cálcio trocável do solo, formando um composto estável ou com carga negativa, o que facilita sua mobilidade no solo. Na camada subsuperficial, o cálcio dos complexos Ca-Orgânico é deslocado pelo alumínio trocável do solo, porque os íons  $Al^{3+}$  formam complexos mais estáveis que  $Ca^{2+}$ , diminuindo a acidez trocável e aumentando o cálcio trocável. Para o magnésio as reações são semelhantes.

Franchini (1997) relata que o manejo de solos ácidos com resíduos vegetais que apresentem teores elevados de cátions e de carbono orgânico solúvel é uma importante estratégia para melhoria da fertilidade de solos ácidos e conseqüente aumento do volume de solo explorado pelas raízes, aumentando o potencial produtivo destes solos.

Peixoto (2000) realizaram estudos sobre acúmulo de matéria orgânica do solo em Ponta Grossa –PR, num experimento de perdas do solo e água em áreas com 16 anos de Semeadura Direta (SD), Grade Aradora (GA), Cultivo Convencional (CC) e área de Floresta Secundária (FS), num Latossolo Vermelho Escuro distrófico, textura argilosa, empregando sistema de rotação envolvendo

milho/aveia preta/soja/trigo/soja/aveia preta+ervilhaca. Nos tratamentos onde houve incorporação da matéria orgânica do solo, os resultados foram semelhantes no que tange à distribuição de matéria orgânica nas camadas do solo. Os resultados para o sistema de Semeadura Direta assemelharam-se com a situação de Floresta Secundária que é um processo natural. Notou-se que a principal diferença de manejo do solo quanto ao acúmulo de C está nos primeiros 5cm e que, quanto menos intensificado é o processo de revolvimento, maior será o acúmulo de matéria orgânica.

Pavan (1997) relata que a eficácia das plantas de cobertura possibilitam a correção da acidez do solo por processo organo-químicos no sistema semeadura direta graças ao papel desempenhado na dinâmica de íons, onde os ácidos orgânicos hidrossolúveis e de baixo peso molecular, oriundos da decomposição dos resíduos vegetais, promovem a ciclagem de elementos químicos no solo. Nas experiências desenvolvidas, o uso de aveia preta, centeio e nabo forrageiro, em sistemas de rotação de culturas sob semeadura direta, permitiu a ciclagem de íons, reduzindo as perdas de cálcio por lixiviação, aumentando a retenção de potássio e imobilizando o alumínio tóxico em solos ácidos. Em tais circunstâncias, o uso de plantas de cobertura eficientes na ciclagem de nutrientes constitui importante medida coadjuvante para melhorar as condições de fertilidade, sem a necessidade de recorrer-se aos processos mecânicos-químicos de manejo do solo.

Caires (2000) relata que, em trabalhos realizados com calagem em superfície, verificou alterações na V% do solo até 60 cm de profundidade, e atribuiu o movimento das bases a diversos mecanismos. A formação e a migração de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  para camadas mais profundas do solo constituem uma possível explicação, tendo em vista que, no SD, a acidez superficial é diminuída por diferentes mecanismos, dentre os quais os resíduos orgânicos desempenham importante papel.

A perda ou acúmulo da matéria orgânica do solo e a expressão da capacidade de troca catiônica das partículas do solo dependem não só do tipo de

manejo do solo, mas também da intensidade de ocorrência de diversos fatores que interferem nessas transformações. Uma vez que estes processos de transformações são entendidos, a sua adaptação e aplicação na efetivação dos diversos sistemas agropecuários particularmente relacionados ao semeadura direta, permitirá garantir a sua sustentabilidade e combater os problemas de degradação do meio ambiente com um manejo racional dos recursos naturais e os recursos esgotáveis existentes (Peixoto 2000 ).

Neto et al. (1994) estudaram em um Latossolo Roxo, o efeito do sistema de semeadura direta e sistema de cultivo convencional na qualidade das substâncias húmicas, num experimento com 11 anos de rotação soja/trigo/milho/trigo em comparação com uma mata virgem, e perceberam que houve uma oxidação mais acentuada e uma redução do grau de aromaticidade do ácido húmico (AH) nas áreas com CC em relação ao SD. Isto sugere uma maior degradação dos AH no CC. Observou-se também uma tendência ao decréscimo do grau de humificação dos AH tanto em CC, com em SD, quando comparados com a mata virgem, sendo que nos 0-5cm de profundidade havia um maior grau de humificação dos AH em SD que em CC.

Arshad et al. (1990) comparando CC e SD num experimento com 10 anos com cevada contínua num solo franco-siltoso concluíram que o solo com SD tinha maiores quantidades de C orgânico e N total, mas com valores de pH significativamente menores que o CC. A matéria orgânica do solo no SD tinha mais carboidratos, aminoácidos e amino açúcares, e era mais alifática e menos aromática que em CC. Considerando-se os maiores conteúdos de C e N, e o enriquecimento em biopolímeros o SD induziu maior atividade bioquímica que também poderia ser responsável pela redução em aromaticidade e concomitantemente aumento em alifacidade. Portanto do ponto de vista de fertilidade do solo, o SD melhorou não somente a qualidade da matéria orgânica do solo mas também aumentou sua quantidade.

Stearman et al. (1989) comparando SD e CC em experimentos com 7 anos com soja, milho e algodão em solos franco-siltosos caracterizaram a fração de ácidos húmicos e concluíram que a alta quantidade de C orgânico na superfície do solo em SD estava correlacionada com as maiores quantidades de grupos alifáticos dos AH extraídos destas parcelas. Contudo, as maiores diferenças estavam em profundidade, sendo que os AH em superfície tinham uma relação alifático/aromático de 1,4 a 2,6 embora os em maior profundidade esta relação era próximo a 1. As diferenças em composição dos AH foi mais pronunciada em profundidade do que entre os sistemas de cultivo.

De acordo com Peixoto (2000), a reatividade da matéria orgânica do solo e particularmente das substâncias húmicas está relacionada às suas propriedades eletroquímicas, basicamente o grau de acidez de seus grupos funcionais. A reatividade é causada largamente pelo seu alto conteúdo de grupos funcionais contendo oxigênio, tais como: álcool, aldeído, carboxila e cetona. A dissociação do H de cada grupo funcional é fortemente dependente do pH. Em geral, o grupo OH dos ácidos carboxílicos se dissociam mais facilmente do que os alcoois aromáticos ou alifáticos, e os compostos fenólicos são ácidos mais fortes do que água ou alcoois, embora eles sejam mais fracos do os ácidos carboxílicos. A maioria dos grupos funcionais ácidos se dissociam entre valores de pH entre 5 e 7.

O húmus é o compartimento que consiste, na realidade, de substâncias húmicas e não húmicas. As substâncias não húmicas podem chegar a contribuir com 30% desse compartimento, as quais são grupos de compostos orgânicos muito bem caracterizados, com açúcares e proteínas. As substâncias húmicas, que contribuem com cerca de 70% do compartimento do húmus, consistem de macromoléculas humificadas, não muito bem caracterizadas quimicamente. O material humificado consiste de uma série de polieletrólitos de coloração amarelada à preta, com grande peso molecular e muito ácido. Estas substâncias são formadas por reações secundárias de síntese, e têm propriedades distintas dos biopolímeros dos

organismos vivos. Estas substâncias podem ser adsorvidas pelos colóides argilosos, formando complexos argilo-húmicos, ou reagir, por exemplo, com  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  (Mendonça & Oliveira, 2000).

Os sistemas de manejo sem revolvimento do solo e com elevado aporte de resíduos vegetais ao solo, como o sistema semeadura direta, favorece o acúmulo de matéria orgânica do solo e induzem a uma diminuição no seu grau de humificação (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Em solo arenoso do Rio Grande do Sul, Rheinheimer et al. (1998) observaram que o sistema semeadura direta apresentou teores mais elevados de ácidos húmicos nas camadas 0-5 e 5-10cm de profundidade e fúlvicos na camada 0 a 5 cm, comparativamente ao sistema de sistema de cultivo convencional.

A CTC devida à matéria orgânica é dependente do pH, portanto os cátions presentes na solução do solo podem ser trocados com  $\text{H}^+$  dos grupos funcionais orgânicos, bem como os cátions complexados pela matéria orgânica do solo por outros cátions segundo a ordem definida de afinidades, em função da natureza do cátion, natureza e quantidade da matéria orgânica do solo, força iônica da solução e valores de pH da solução. A formação de complexos organo-metálicos pode determinar a fixação de cátions polivalentes, tanto de micronutrientes como dos elementos tóxicos. Segundo as variações estacionais do pH do solo, estes elementos podem ficar no solo, ou ser absorvido pelas plantas, nas quais atuam favoravelmente ou desfavoravelmente, segundo suas respectivas propriedades. Contudo, íons metálicos como  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  são fortemente retidos pelas substâncias húmicas tendo em vista a formação de ligações covalentes, servindo como exemplo de como a concentração de um metal pode ser diminuído pela reação com substâncias húmicas, formando compostos organo-metálicos insolúveis (Peixoto, 2000).

#### **4.6. A cultura do milho em sistema de semeadura direta**

O milho é normalmente incluído no sistema de rotação, pois, além da produção de grãos deixa sobre o solo uma grande quantidade de restos de cultura de muita importância para ser utilizado como cobertura morta. Já no sistema de cultivo convencional, o revolvimento do solo promove a perda de matéria orgânica, a deterioração da estrutura do solo e a conseqüente compactação que se observa normalmente entre 10 a 15 cm de profundidade, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular do milho, ao mesmo tempo que reduz a infiltração da água no solo (Viegas & Peeten, 1987).

Segundo Gomes & Gerage (1991), a cultura do milho, quando manejada de maneira racional, traz benefícios à conservação do solo, pela quantidade de resíduos de difícil decomposição que permanece no solo, pelo sistema radicular volumoso e robusto, e pela massa foliar que protege o solo, que contribui para reduzir as perdas de solo e água por erosão.

Muzilli (1983) relatam que em condições favoráveis à ocorrência de acamamento, chuvas e ventos fortes, observa-se menor índice de danos na cultura do milho sob SD. Tal fato pode ser atribuído à firmeza do solo, o que favorece a fixação das plantas. Além disso, na região norte do estado do Paraná, o milho destaca-se como a cultura mais eficiente, quando comparado com o algodão e soja, na diminuição da incidência de plantas daninhas em semeadura direta, quer de gramíneas quer de invasoras de folha larga. A alternância de soja com milho na rotação com trigo em semeadura direta mostra melhor resultado econômico comparado ao cultivo contínuo de soja com trigo.

De acordo com Scalea (1997), o milho possibilita a antecipação das culturas de verão para permitir a exploração da safrinha. Utilizando-se cultivares

mais precoces, o milho pode ser semeado em outubro visando sua colheita em fevereiro, o que permite a semeadura de feijão ou soja.

Dentro do sistema de rotação de culturas em semeadura direta, deve ser considerada a interferência de uma cultura sobre a outra. Trabalhos realizados em Rio-Verde, GO, por seis anos consecutivos, demonstraram que as maiores produtividades de milho ocorreram, em ordem decrescente, sobre as palhadas de algodão, girassol, guandu e nabo forrageiro, enquanto que para a cultura da soja as maiores respostas foram sobre as palhadas de milho, seguido de aveia, sorgo e milheto (Ferreira, 1997).

Segundo Benez (1980), o porte das plantas de milho sofre pequena influência do tipo de cultivo empregado, pois além do sistema de cultivo, outros fatores influenciam determinantemente no crescimento da planta. O simples fato de a planta apresentar maior altura não significa necessariamente um aumento em sua produtividade.

Azooz et al. (1995), ao estudarem o efeito de sistemas de cultivo e manejo de resíduos no desenvolvimento do milho na região centro-oeste dos Estados Unidos, não encontraram diferenças significativas na matéria seca, índice de área foliar e produtividade das plantas.

Kapusta et al. (1996), ao estudarem a produção da cultura do milho após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta, verificaram que a população final de plantas foi menor no SD que no CC, sendo que, mesmo com menor população de plantas no semeadura direta, não houve diferenças de produção entre os sistemas de cultivo.

Derpsch et al. (1991) relatam resultados experimentais obtidos no Paraná, onde em média de diferentes localidades o sistema de semeadura direta proporcionou aumentos no rendimento de grãos de 19% para a soja, 8% para o trigo e 4% para o feijão, não havendo diferenças significativas para a cultura do milho, quando comparado ao sistema de sistema de cultivo convencional.

Em trabalho efetuado por Moraes & Benez (1996), em solo Terra Roxa Estruturada, a produção dos grãos de milho também não apresentou diferenças significativas entre sistema de cultivo convencional e semeadura direta após um ano de safra agrícola.

Resultados semelhantes encontraram Muzzili (1983) ao estudar o comportamento e as possibilidades da cultura do milho em semeadura direta no estado do Paraná. Em quatro safras consecutivas, os rendimentos de milho entre semeadura direta e sistema de cultivo convencional foram similares, não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos.

Caires et al. (2002) não verificaram diferenças entre a produtividade do milho em SD e CC ao avaliar o efeito da calagem superficial sobre o crescimento radicular e nutrição do milho, mas observaram diminuição da concentração de K e aumento da concentração de Mg nas plantas. Os autores verificaram na soma de bases presentes nas folhas, 54% de K, 30% de Ca e 16 % de Mg, na ausência de calagem; e 36% de K, 34% Ca e 30% Mg, com a utilização da maior dose de calcário.

## **5 - MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. Localização e descrição da área experimental**

O experimento foi instalado e conduzido na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agronômicas - Campus de Botucatu - UNESP, no município de Botucatu, S.P., em solo classificado por Carvalho et al. (1983) como Latossolo Roxo, álico, textura argilosa. Pelo novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), o solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico.

A localização geográfica da área experimental está definida pelas coordenadas 22°58'55'' latitude Sul e 48°23'22'' longitude Oeste. A altitude é de 775m, com 5% de declividade e o clima, baseado no sistema de classificação internacional de Köppen, foi incluído no tipo Cfa, sub-tropical, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. Os dados de balanço hídrico referentes aos anos de 1998 a 2002, época que durou o experimento, encontram-se dispostos nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

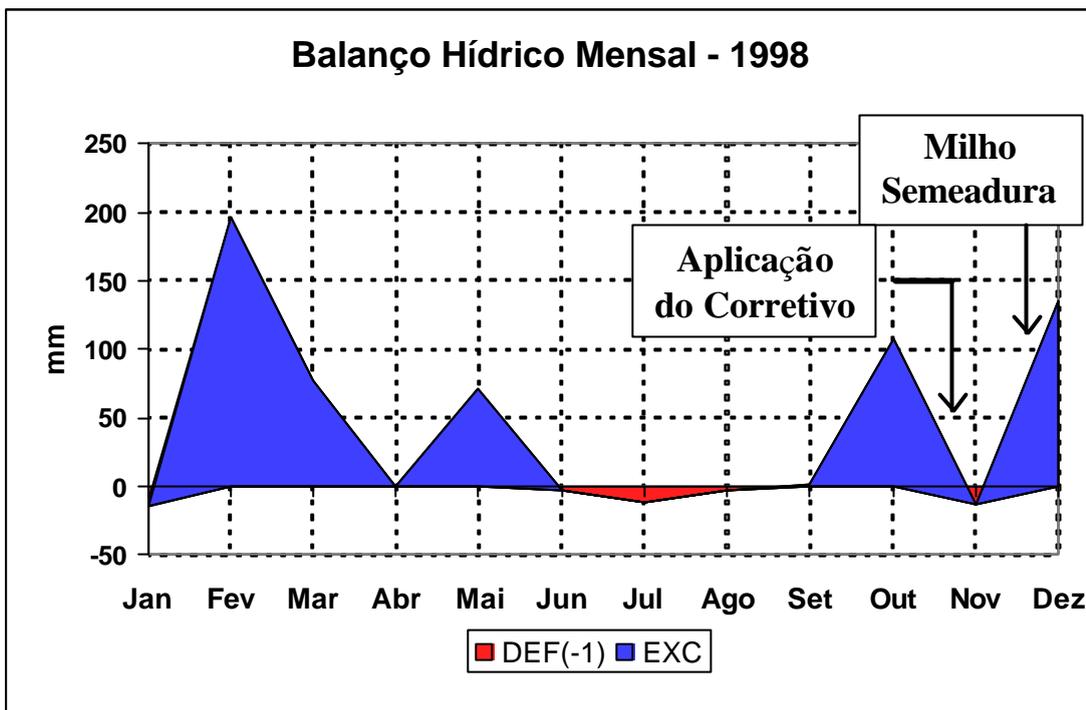


Figura 1- Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 1998.

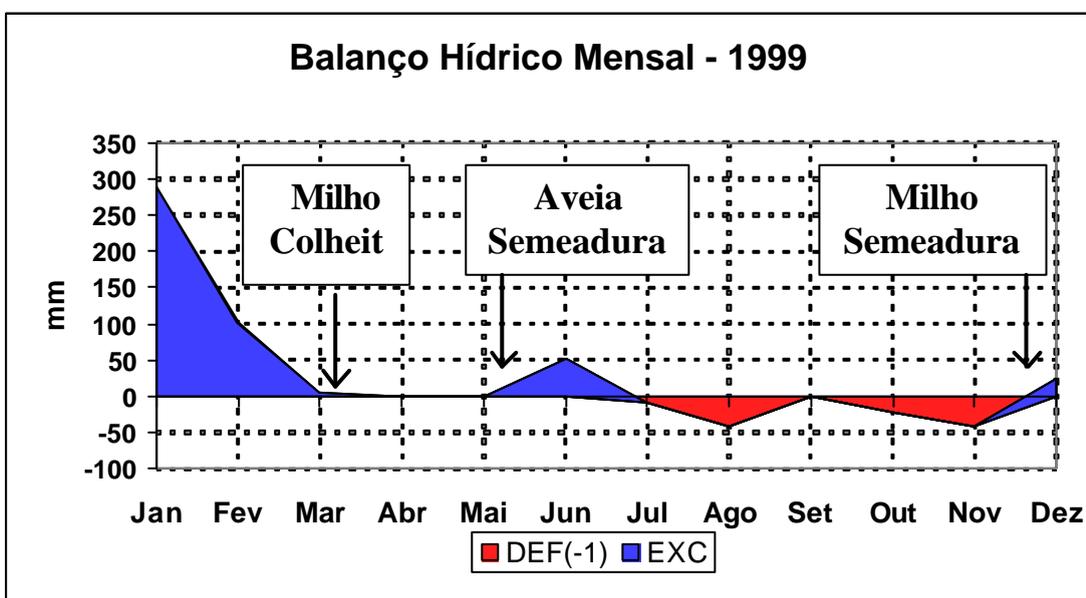


Figura 2- Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 1999.

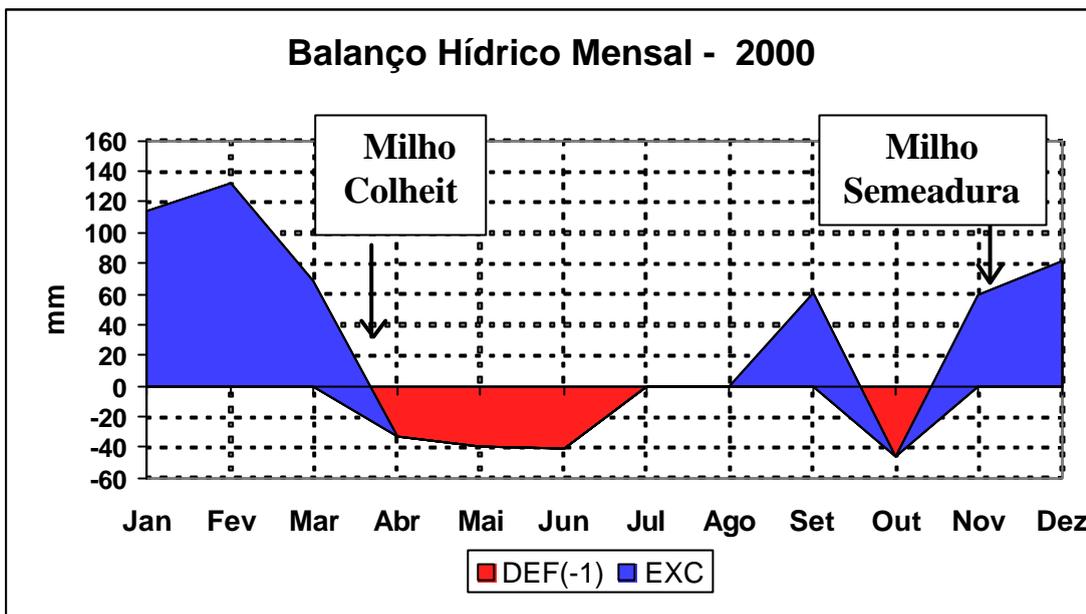


Figura 3- Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 2000.

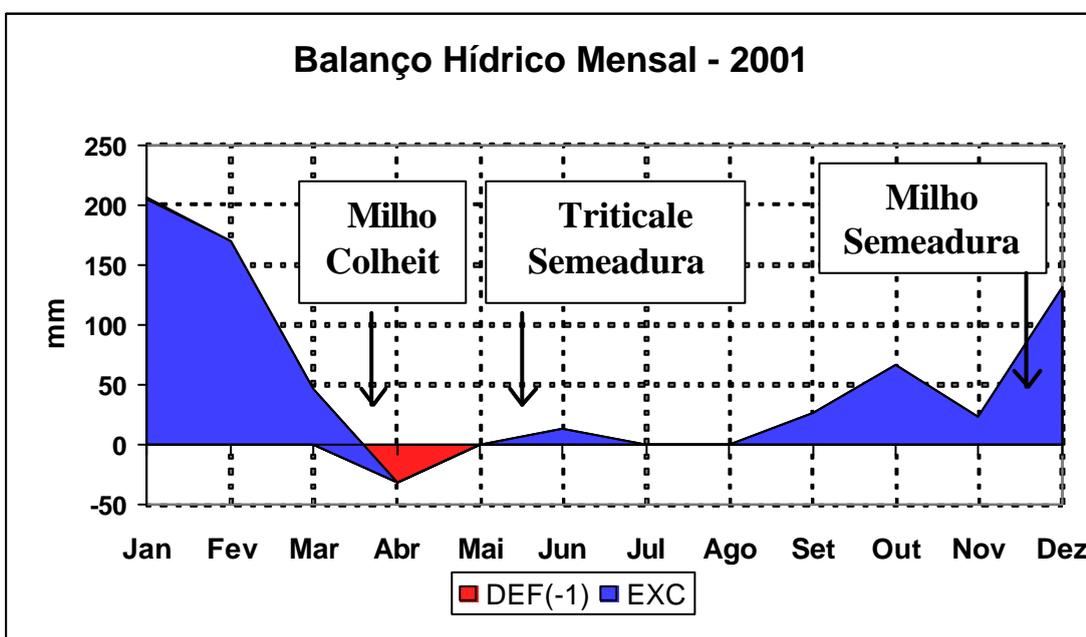


Figura 4- Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 2001.

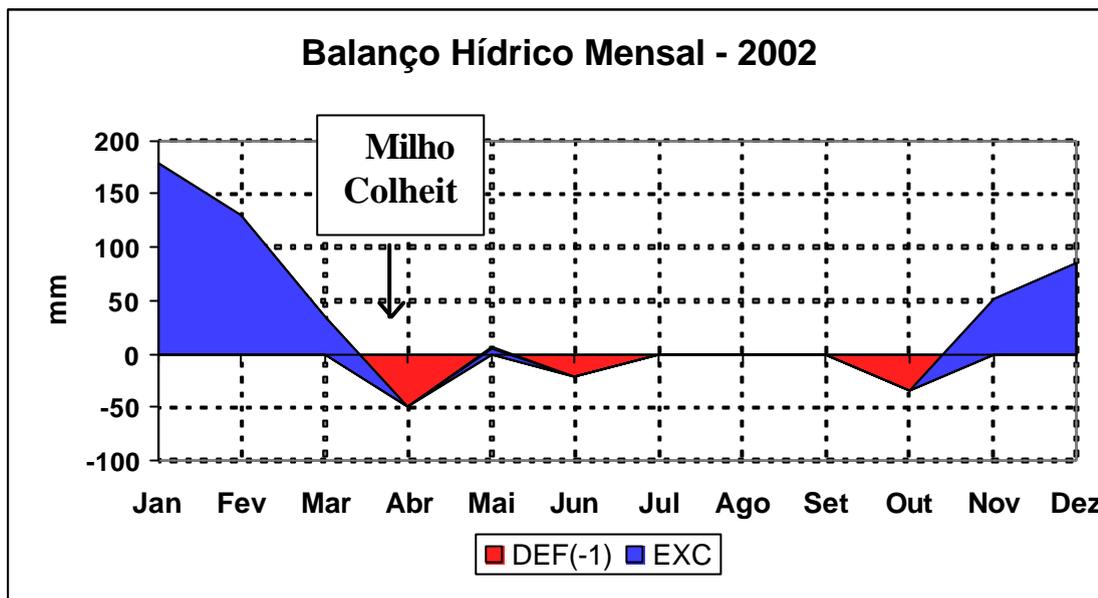


Figura 5- Balanço hídrico verificado na Fazenda Experimental Lageado no ano de 2002.

Por ocasião da instalação do ensaio, o local encontrava-se em pousio por vários anos e a cobertura vegetal era composta por gramíneas, predominantemente *Brachiaria decumbens*.

No início do ano de 1998 foi realizada amostragem de solo da área em quatro profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, cujo resultado é apresentado na Tabela 1. A análise granulométrica avaliada na camada 0-20cm de profundidade revelou um teor de argila de 590 g kg<sup>-1</sup>, 360 g kg<sup>-1</sup> de silte e 50 g kg<sup>-1</sup> de areia.

Tabela 1 – Características químicas do solo, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, antes da instalação do ensaio.

Profundidade	pH	M.O.	Presina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	
cm	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
0-5	4,4	31	6	58	2,8	14	9	26	84	31	
5-10	4,5	33	5	61	4,0	14	10	28	89	32	
10-20	4,5	34	3	58	3,2	17	11	31	89	35	
20-40	4,4	35	4	68	2,8	14	8	25	92	27	

## 5.2. Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas foram definidas por dois sistemas de cultivo: sistema de cultivo convencional (CC), consistindo em preparo do solo com uma aração e duas gradagens, uma após a aração e outra imediatamente antes da semeadura; e sistema de cultivo sem preparo do solo, com semeadura direta (SD). As subparcelas foram constituídas pela aplicação de duas granulometrias de um mesmo calcário dolomítico: a) com granulometria mais grosseira e PRNT de 56% e b) com granulometria mais fina, com PRNT de 95%. As subsubparcelas foram definidas pela aplicação de três doses de calcário em função da dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70%. Foram aplicados 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup> de calcário com PRNT de 56% e 1,2, 2,4 e 3,6 t ha<sup>-1</sup> de calcário com PRNT de 95%, doses correspondentes a 1/3, 2/3 e 3/3 da dose recomendada para elevar o V% para 70%, de acordo com Raij (1999). As doses foram calculadas levando-se em consideração o PRNT do calcário e as médias aritméticas de V% e CTC das camadas de 0-5, 5-10 e 10-20cm.

As subsubparcelas apresentavam dimensões de 5,4 metros de largura e 6 metros de comprimento, totalizando 32,4 m<sup>2</sup>, com área útil de 14,28 m<sup>2</sup>, dispostas conforme esquema da Figura 6.

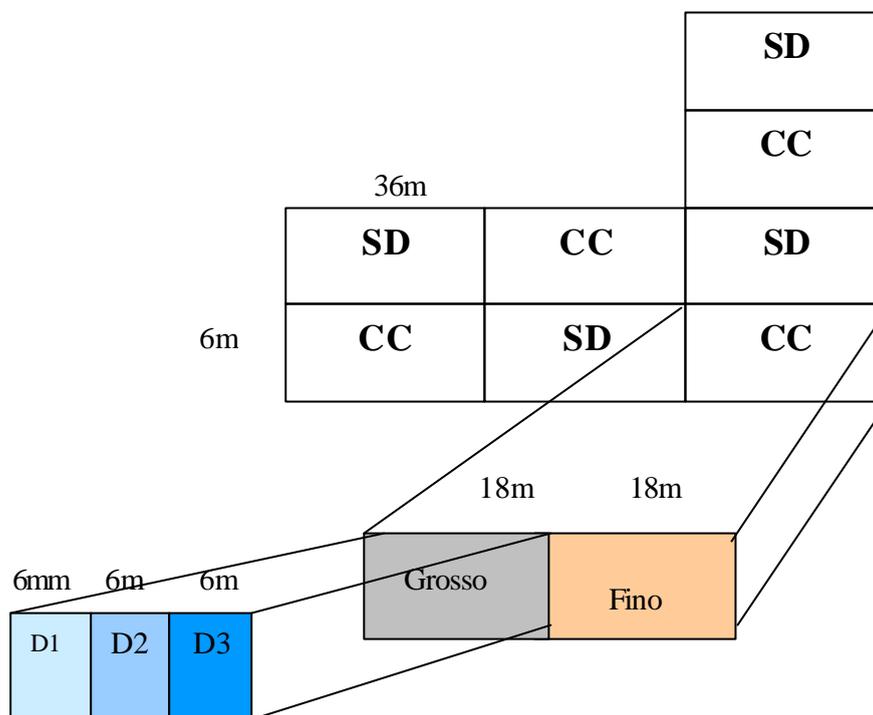


Figura 6 - Desenho esquemático da disposição das parcelas e subparcelas do experimento

Na Tabela 2 são apresentadas as características físicas e químicas dos calcários utilizados no experimento.

Tabela 2- Análises químicas e físicas dos corretivos de acidez do solo empregados no experimento.

Características	Calcário Grosso (PRNT=56%)	Calcário Fino (PRNT=95%)
Umidade (%)	5,00	0,57
CaO (%)	20,50	27,50
MgO(%)	13,60	18,50
Retido na peneira n°10	0,40	-
Retido na peneira n°20	10,69	-
Retido na peneira n°50	29,36	-
Poder de neutralização (PN)	70,50	95,00
Reatividade (RE)	78,94	100,00

### 5.3. Instalação e condução do experimento

O calcário foi aplicado em novembro de 1998 sobre a área com *Brachiaria decumbens*, sendo metade antes da aração e metade antes da gradagem, incorporando-se a 20 cm de profundidade com incorporação utilizando-se arado de discos e grade leve nas parcelas de CC, e sem incorporação nas parcelas de SD.

Em dezembro do mesmo ano foi semeado milho, o que se repetiu por mais três anos agrícolas: 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. O trabalho desenvolvido como parte desta tese iniciou-se após um ano da aplicação do calcário, no segundo ciclo da cultura do milho.

O manejo da área foi executado de acordo com o sistema de cultivo adotado: aração e gradagem nas parcelas de CC e dessecação química da cobertura vegetal nas parcelas de SD, utilizando-se herbicida não seletivo glyphosate na dose de 1440g de i.a. ha<sup>-1</sup>.

No inverno de 1999, foi cultivada aveia preta sem adubação e, no ano seguinte, optou-se por manter a cobertura de *Brachiaria decumbens* em virtude do baixo índice de precipitação pluviométrica no período (Figura 3). No ano

de 2001 foi cultivado triticale, também sem adubação, visando a formação de cobertura de inverno.

Em todos os anos utilizou-se sementes de milho híbrido com alto potencial produtivo, escolhidos em função de ensaios de campo realizado na FCA-Unesp: no ciclo 1999/2000 utilizou-se sementes do milho híbrido Colorado CO 32 e em 2000/2001 e 2001/2002 foi utilizado o híbrido Agroceres AG 9010. Na semeadura, utilizou-se semeadora-adubadora de 4 linhas, espaçadas 0,9m, com regulagem para distribuição de 5 sementes por metro de linha e 320 kg ha<sup>-1</sup> de adubo da fórmula 08-28-16 + 0,5 % de Zn. Foi realizada uma adubação de cobertura utilizando-se 150 kg ha<sup>-1</sup> de uréia, aproximadamente 30 dias após a germinação das sementes.

As doses de calcário e adubo utilizados foram baseadas nas recomendações de Raij et al. (1996) para produtividade esperada de 6000 kg ha<sup>-1</sup>, em função dos resultados das amostras de solo retiradas ano a ano, antes da semeadura do milho.

A colheita do milho foi realizada manualmente, colhendo-se as espigas das plantas localizadas na área útil de cada subsubparcela.

#### **5.4. Variáveis analisadas**

##### **5.4.1. No solo**

Foram coletadas amostras de solo para análises químicas, análises da solução do solo e determinação de ácidos orgânicos, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.

As amostras foram retiradas de cinco pontos de cada subsubparcela evitando-se as linhas de semeadura, que depois foram misturadas formando uma amostra composta.

As análises químicas (pH, matéria orgânica, acidez potencial, P, K, Ca, Mg, S, SB, CTC efetiva e V%) foram realizadas nas amostras de solo coletadas 1, 2 e 3 anos após a aplicação do calcário, antes da semeadura do milho – anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. As análises foram feitas de acordo com métodos descritos por Raij & Quaggio (1983) nos laboratórios de Ciência do Solo do Departamento Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp de Botucatu.

Foram realizadas análises para determinação de Ca, Mg e K, bem como o pH da solução do solo, nas amostras coletadas antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001 e 2001/2002, empregando-se o método da pasta de saturação descrito por Bower & Wilcox (1965).

As determinações dos ácidos húmicos e fúlvicos do solo foram realizadas nas amostras de solo coletadas um ano após a aplicação do calcário, antes da semeadura do milho ano agrícola 1999/2000.

Utilizou-se metodologia adaptada de Kumada (1987) para a solubilização dos ácidos húmicos, sendo as determinações realizadas utilizando-se o metodologia descrita por Tatsukawa (1966) e esquematizadas nas Figuras 7, 8 e 9. As análises dos ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do solo foram realizadas nos laboratórios da Universidade de Agricultura e Tecnologia de Tóquio – TUAT, em Tóquio, Japão.

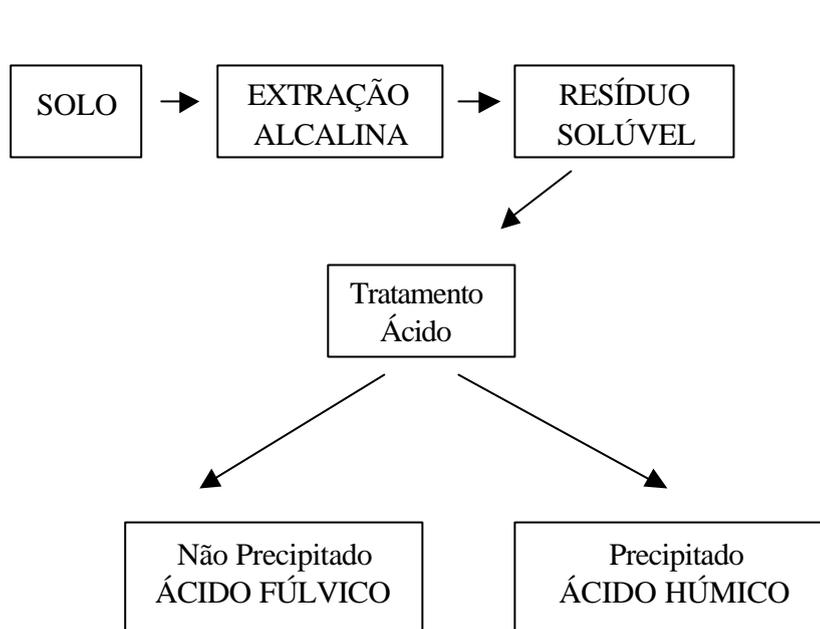


Figura 7 – Esquema de dissolução dos ácidos fúlvicos e húmicos da matéria orgânica do solo.

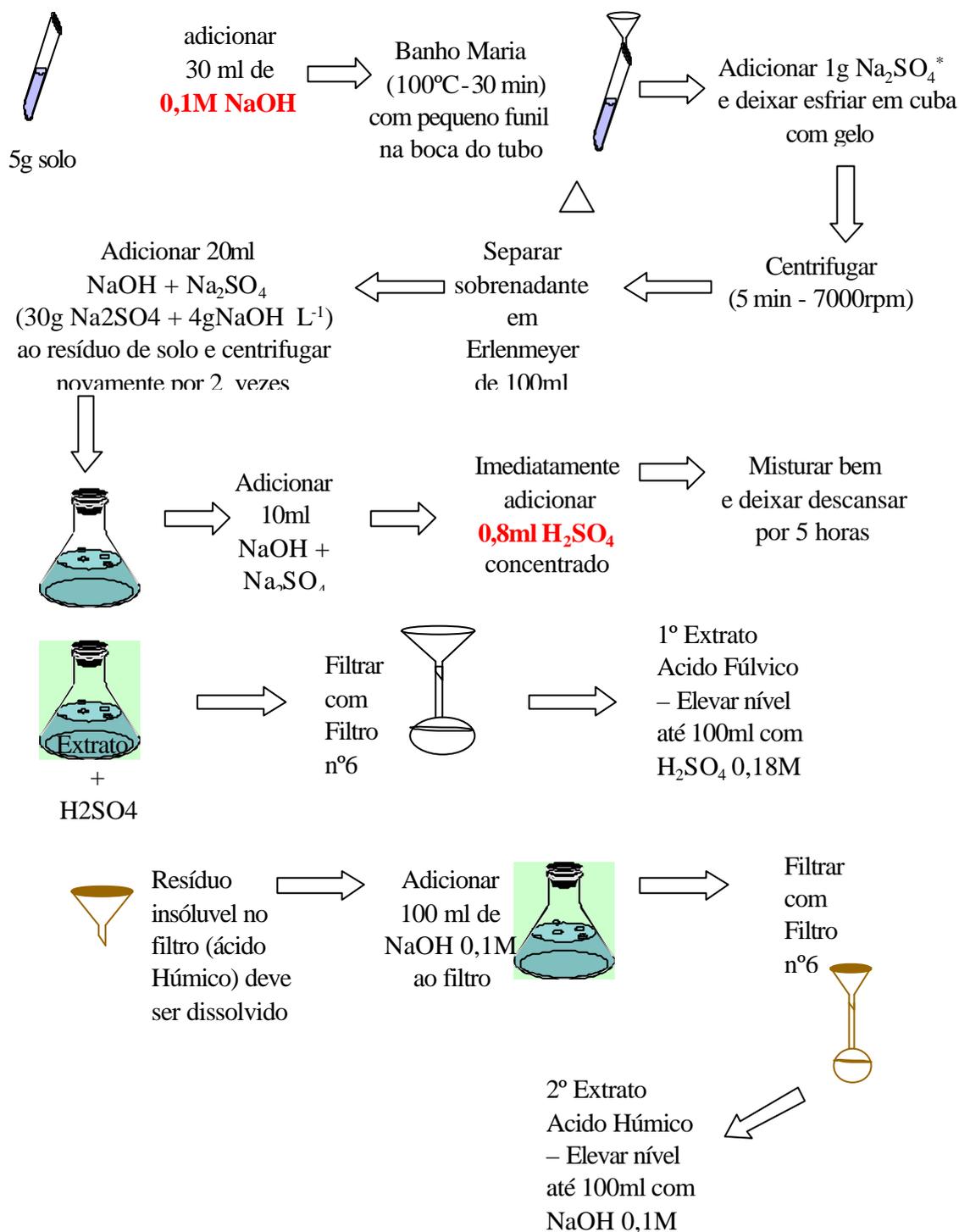


Figura 8 – Esquema de extração dos ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do solo.

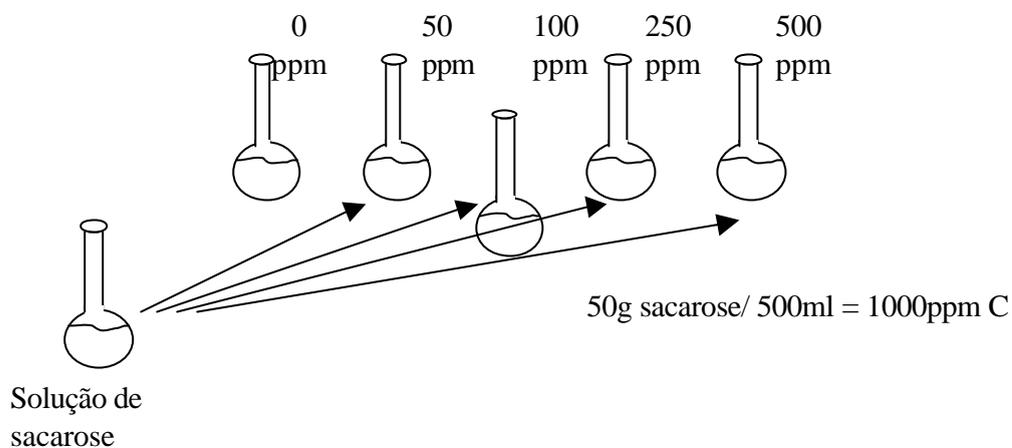


Figura 9 – Esquema para obter soluções com concentração de carbono conhecida.

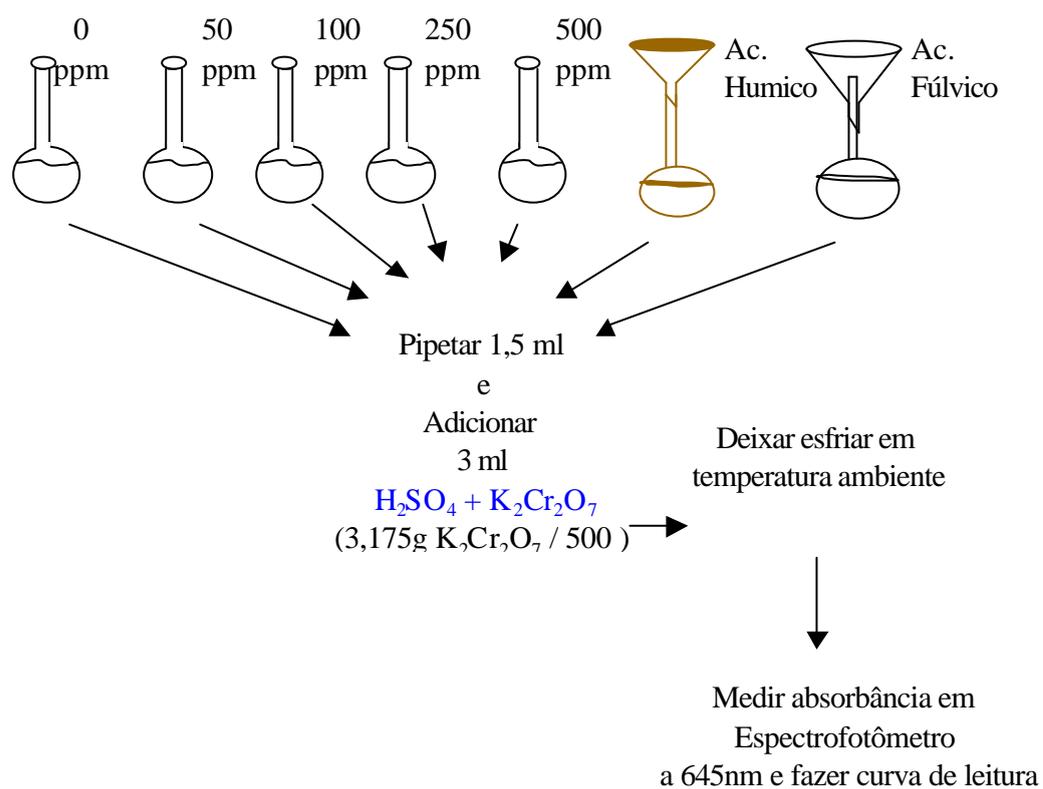


Figura 10- Esquema para determinação dos ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do solo.

#### **5.4.2. Na cobertura morta**

Foram avaliadas a quantidade de matéria seca e teor de nutrientes presentes na cobertura vegetal do solo (palhada), antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

A coleta da palhada de cada subsubparcela foi realizada com auxílio de um gabarito de madeira de 0,5 x 0,5 m (0,25m<sup>2</sup>) e com tesoura de poda, sendo posteriormente seca em estufa a 45°C e a massa determinada em balança eletrônica com precisão de 0,1g. Os valores obtidos foram extrapolados para kg ha<sup>-1</sup>.

A análise química dos nutrientes contidos na cobertura vegetal do solo (N, P, K, Ca, Mg e S) foi realizada segundo metodologia descrita por Malavolta et. al. (1997).

#### **5.4.3. Nas plantas de milho**

As avaliações nas plantas foram realizadas tomando-se por amostra 10 plantas da área útil de cada subsubparcela, nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002..

Foram avaliados os parâmetros de crescimento: altura das plantas, diâmetro do colmo e matéria seca da parte aérea, além do teor de nutrientes das folhas, avaliados no período de pleno florescimento.

Os componentes da produção: números de plantas.ha<sup>-1</sup> (estande), número de espigas/planta (índice de espiga) e massa de 100 grãos foram avaliados no período da colheita.

A altura das plantas foi determinada com régua graduada até 2,5m de altura; o diâmetro do colmo foi medido com paquímetro e a matéria seca da parte aérea foi determinada após secagem do material em estufa elétrica a 45°C e posterior determinação de massa em balança com precisão de 0,1g .

As amostragens das folhas foram realizadas no estágio de pleno florescimento de acordo com metodologia descrita por RAIJ et al. (1996) e determinadas segundo método descrito por Malavolta et al. (1997).

A produtividade do milho foi calculada a partir da produção da área útil de cada subsubparcela, e os valores corrigidos para 13% de teor de água, e extrapolados para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### **5.5. Análises estatísticas**

Os dados de cada variável foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos qualitativos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os tratamentos quantitativos foram submetidos à análise de regressão linear e quadrática com nível de significância de 5%.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software estatístico SISVAR.

## **6- RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Análise química do solo**

As análises químicas de solo foram realizadas no mês de novembro de três anos consecutivos: 1999, 2000 e 2001, que correspondem a 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário, retiradas antes da semeadura do milho – anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001, 2001/2002. Os resultados verificados seguem seqüencialmente discutidos.

#### **6.1.1. Índice pH**

Os valores de pH determinados nas amostras de solo coletadas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002, encontram-se na Tabela 3.

Foram verificadas diferenças nos valores de pH da camada superficial do solo até 24 meses após a aplicação do calcário. Aos 12 meses, os valores de pH foram mais elevados em SD que em CC na camada 0-5 cm e, aos 24 meses, os efeitos foram superiores não só camada 0-5 cm, como também na camada 5-10 cm.

Tabela 3 – Valores médios de pH do solo verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

pH (CaCl <sub>2</sub> )													
Prof. (cm)	-- Sist. de Cultivo --				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
<b>1999/2000</b>													
0-5	<b>4,9 B</b>	<b>5,4 A</b>	0,2	8,4	5,2	5,1	0,1	1,6	4,9	5,1	5,6	*	10,6
5-10	4,7	4,6	0,1	4,7	4,7	4,6	0,2	3,8	4,6	4,6	4,9	ns	9,2
10-20	4,4	4,1	0,4	4,8	4,3	4,2	0,3	2,8	4,3	4,3	4,3	ns	4,6
20-40	3,9	3,9	0,1	1,4	3,9	3,8	0,2	2,2	3,8	3,9	3,9	ns	5,5
<b>2000/2001</b>													
0-5	<b>4,6 B</b>	<b>5,8 A</b>	0,3	7,2	<b>5,4 A</b>	<b>5,1 B</b>	0,1	4,5	4,8	5,3	5,6	*	8,0
5-10	<b>4,7 B</b>	<b>5,0 A</b>	0,1	3,6	4,9	4,8	0,2	4,0	4,5	4,8	5,1	*	7,8
10-20	4,5	4,4	0,4	9,5	4,4	4,5	0,2	5,2	4,3	4,3	4,6	*	6,5
20-40	4,1	4,1	0,3	8,8	4,1	4,2	0,3	9,4	4,0	4,1	4,2	ns	8,8
<b>2001/2002</b>													
0-5	4,4	4,8	0,2	11,0	4,7	4,6	0,2	3,9	4,3	4,5	5,0	*	9,0
5-10	4,4	4,7	0,3	8,3	4,6	4,5	0,1	2,4	4,4	4,5	4,9	*	6,4
10-20	4,3	4,3	0,3	8,1	4,3	4,3	0,1	3,0	4,2	4,3	4,4	ns	5,7
20-40	4,1	4,1	0,1	3,9	4,1	4,1	0,1	2,9	4,0	4,0	4,1	*	2,8

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre colunas no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L)

Na camada 5-10 cm, verificou-se significância na análise de regressão das doses aplicadas aos 24 e 36 meses após a aplicação do calcário. De maneira geral, os efeitos da neutralização produzidos na camada superficial do solo, 0-5 e 5-10 cm, foram proporcionais às doses aplicadas, visto que a análise de regressão linear de dose apresentou resultados significativos nos três anos avaliados.

Com relação à granulometria, foi constatado na camada superficial do solo, 24 meses após a aplicação do calcário, valores de pH mais elevados nos tratamentos com calcário fino que com calcário grosso. Esta diferença ficou evidenciada mais pronunciadamente na análise da interação entre sistema de cultivo e granulometria, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios de pH verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 24 meses após a aplicação do calcário, antes da semeadura do milho - ano agrícola 2000/2001.

Tratamentos	pH (CaCl <sub>2</sub> ) - 2000/2001							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>4,8 bA</b>	<b>4,5 bA</b>	<b>4,8 aA</b>	<b>4,5 bB</b>	4,5	4,5	4,1	4,1
SD	<b>6,0 aA</b>	<b>5,7 aB</b>	<b>4,9 aA</b>	<b>5,0 aA</b>	4,3	4,5	4,0	4,2
DMS Cultivo	0,3		0,2		0,3		0,4	
DMS Granulometria	0,3		0,2		0,3		0,5	

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre colunas e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre linhas, no teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de pH nas camadas 0-5 e 5-10 cm foram, de maneira geral, mais elevados em SD que em CC, sendo que, entre as granulometrias, o calcário fino apresentou melhor eficiência na neutralização da acidez do solo, apresentando valores mais elevados em SD na camada 0-5 cm e, em CC, na camada 5-10cm.

A interação entre sistema de cultivo e dose também evidenciou diferenças nas camadas superficiais do solo, principalmente quando aplicadas as maiores doses, conforme apresentado na Tabela 5. Os valores verificados na camada superficial do solo, 24 meses após a aplicação do calcário, foram mais elevados em SD que em CC, quando aplicadas as doses D1, D2 e D3. Na camada 5-10 cm, os valores de pH foram mais elevados nas doses D2 e D3. Nas camadas mais profundas não houve diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 5 – Valores de pH verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

Tratamento	----- pH (CaCl <sub>2</sub> ) - ano 2000/2001 -----											
	0 a 5 cm			5 a 10 cm			10 a 20 cm			20 a 40 cm		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Sist. Cultivo</u>												
CC	<b>4,4b</b>	<b>4,6b</b>	<b>4,9b</b>	4,5	<b>4,5b</b>	<b>5,0b</b>	4,4	4,3	4,6	4,0	4,1	4,1
SD	<b>5,1a</b>	<b>6,0a</b>	<b>6,3a</b>	4,5	<b>5,0a</b>	<b>5,3a</b>	4,1	4,3	4,6	4,0	4,0	4,3
<u>Granulometria</u>												
Fino	4,9	5,4	5,7	4,6	4,8	5,1	4,3	4,3	4,5	4,0	4,1	4,1
Grosso	4,6	5,1	5,5	4,4	4,7	5,1	4,2	4,4	4,8	4,0	4,1	4,3
DMS	0,4			0,2			0,4			0,4		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores verificados para SD, nas diferentes granulometrias e doses evidenciaram que houve caminhamento do calcário, com resultados mais expressivos até 10 cm de profundidade. Em relação às condições iniciais do solo, os efeitos benéficos da calagem permaneceram por até 36 meses até 10 cm de profundidade, não alterando, contudo, os índices de pH nas camadas abaixo de 10 cm de profundidade.

De acordo com Oliveira & Pavan (1996), Miyazawa (1996), Caires et al. (2000), Caires et al. (2003), apesar dos materiais corretivos da acidez utilizados na agricultura serem pouco solúveis, e os produtos da reação de calcário com o solo terem mobilidade limitada, há resultados experimentais que confirmam a eficiência da calagem superficial na correção da acidez de camadas superficiais e do subsolo em SD.

Oliveira & Pavan (1996), em experimentos realizados num Latossolo Vermelho textura argilosa cultivado por três décadas com CC no estado do Paraná onde fora implantado SD e aplicado calcário em superfície, verificaram

aumentos no pH, bem como nos teores de cálcio e magnésio, além de redução do alumínio trocável, até a profundidade de 40 cm. Tais efeitos positivos da calagem foram observados após 8 meses, e se mantiveram consistentes por um período de 50 meses. As variações nos atributos de acidez com a profundidade, em função da calagem na superfície foram rápidas em comparação às relatadas em outros trabalhos.

Resultados semelhantes verificaram Caires et al. (2000) em estudos de calagem em superfície em SD na região de Ponta Grossa, onde o regime pluviométrico no inverno é mais favorável, e a calagem resultou em aumentos significativos no pH, Ca, Mg e saturação por bases, mas também redução significativa nos teores de H+Al até profundidade de 60cm.

No entanto, Ben et al. (1998) mostraram que, em estudos de calagem em superfície na região de Passo Fundo-RS, os efeitos da aplicação de calcário em superfície ficaram restritos à camada superficial do solo um ano após a aplicação, continuando estes efeitos similares por mais dois anos.

Moreira et al. (2001) também não verificaram os efeitos da calagem sobre o pH no perfil do solo nos experimentos conduzidos em área com três anos de SD em que foi aplicado calcário em superfície, o mesmo acontecendo com Santos et al. (1995) que compararam aplicação superficial e incorporada de 2t ha<sup>-1</sup> de calcário (PRNT=100%) em um Latossolo Vermelho Escuro após três anos de cultivo em SD.

Em condições de clima temperado, Hargrove et al. (1982) também não verificaram diferenças entre sistemas de CC e SD, quanto ao índice pH, na camada subsuperficial do solo, quando o calcário foi aplicado em superfície.

### 6.1.2. Matéria orgânica

Na Tabela 6, estão dispostos os resultados de matéria orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ) determinados nas amostras de solo, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, coletadas nos anos de 1999, 2000 e 2001.

Tabela 6 - Valores médios de matéria orgânica verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Matéria Orgânica do Solo - ( $\text{g dm}^{-3}$ )													
Prof. (cm)	----Sist. de Cultivo----				---- Granulometria ----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
1999													
0-5	41	37	18	33,4	37	41	15	27,0	38	39	40	ns	14,9
5-10	42	35	33	60,2	<b>41</b>	<b>36 B</b>	1	18,8	37	40	39	ns	14,3
10-20	39	30	25	50,8	34	36	5	10,2	37	35	33	ns	14,4
20-40	<b>31 A</b>	<b>23 B</b>	6	15,3	26	28	6	15,9	27	26	28	ns	2,4
2000													
0-5	31	31	2	6,6	31	32	4	14,6	30	31	33	ns	16,8
5-10	31	29	7	25,2	29	30	5	17,2	28	30	31	ns	15,6
10-20	29	29	7	27,9	28	30	11	40,5	26	28	34	ns	27,4
20-40	20	20	6	32,4	20	20	2	11,3	19	21	20	ns	13,3
2001													
0-5	30	30	10	37,3	29	31	3	11,0	28	29	32	ns	19,0
5-10	28	29	7	27,4	28	30	3	11,5	30	29	28	ns	15,4
10-20	25	26	6	26,0	24	27	7	30,4	25	24	27	ns	17,4
20-40	18	20	6	34,2	18	20	5	32,7	18	19	20	ns	18,2

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Os teores de matéria orgânica do solo, 12 meses após a aplicação do calcário, apresentaram valores mais elevados nos dois sistemas de cultivo, quando comparados aos valores verificados na condição inicial do solo. Entre os sistemas de cultivo, houve uma superioridade nos valores verificados em CC, 12 meses após aplicação do calcário, na camada 20-40 cm de profundidade.

Com relação à granulometria, foi verificada diferença significativa na camada 5-10 cm, no primeiro ano após a aplicação de calcário, onde os valores verificados em tratamentos com granulometria fina foram maiores que aqueles com granulometria grossa.

A diferença verificada entre os sistemas de cultivo, na camada 20-40 cm, poderia ser explicada pelo fato que, segundo Castro (1989), os restos culturais quando incorporados ao solo têm uma decomposição mais rápida, liberando prontamente os nutrientes nele contidos, o que não ocorre no SD.

O efeito mencionado também foi verificado na interação sistema de cultivo x granulometria, cujos resultados encontram-se na Tabela 7. Nas camadas superficiais, até 20 cm de profundidade, não houve diferenças entre os sistemas de cultivo, sendo que, na camada 20-40 cm, os valores foram mais elevados em CC que em SD, tanto nos tratamentos de calcário fino como nos de calcário grosso.

Com relação à granulometria dentro de sistema de cultivo, na camada 5-10 cm, os valores foram mais elevados nos tratamentos com calcário grosso em relação ao calcário fino, tanto em CC como em SD, não havendo diferenças nas demais profundidades.

Os resultados encontrados permitem inferir que a incorporação dos resíduos vegetais promoveu acréscimos no teor matéria orgânica nas camadas mais profundas, com pequenas diferenças no perfil do solo. No SD houve maiores diferenças no perfil, com tendência de valores mais elevados na superfície, com um decréscimo de concentração nas camadas mais profundas.

Tabela 7 - Valores médios de M.O. ( $\text{g dm}^{-3}$ ) verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 1999/2000.

Tratamentos	M.O. ( $\text{g dm}^{-3}$ )							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	40	42	<b>41 B</b>	<b>43 A</b>	40	39	<b>32 a</b>	<b>32 a</b>
SD	35	40	<b>31 B</b>	<b>38 A</b>	28	33	<b>22 b</b>	<b>25 b</b>
DMS Sist.Cultivo	16		33		26		6	
DMS Granulom.	22		1		7		9	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas interações de sistema de cultivo x dose, novamente os valores de matéria orgânica não diferiram nas camadas superficiais do solo, com diferença apenas na camada 20-40 cm, onde os teores de matéria orgânica foram maiores em CC que em SD, nas três doses de calcário aplicadas. Com relação à interação entre granulometria x dose não houve diferenças entre os tratamentos em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores de M.O. ( $\text{g dm}^{-3}$ ) verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 1999/2000.

Tratamento	Matéria Orgânica do Solo ( $\text{g dm}^{-3}$ )											
	0 a 5 cm			5 a 10 cm			10 a 20 cm			20 a 40 cm		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Cultivo</u>												
CC	39	41	42	41	43	43	43	43	35	<b>31 a</b>	<b>30 a</b>	<b>34 a</b>
SD	37	36	38	33	37	35	31	31	31	<b>24 b</b>	<b>23 b</b>	<b>23 b</b>
<u>Granulom.</u>												
Fino	36	37	39	36	35	37	39	32	31	26	25	29
Grosso	40	41	41	38	44	40	35	38	35	28	29	29
DMS	19,2			43,1			32,2			6,9		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No desdobramento de sistema de cultivo dentro de granulometria x dose, verificou-se 12 meses após a aplicação do calcário, valores mais elevados nos tratamentos com calcário fino nas doses D1 e D3 e com calcário grosso na dose D3 em CC que em SD, conforme pode ser verificado na Tabela 9.

Tabela 9 Valores de matéria orgânica do solo, na interação de sistema de cultivo dentro de granulometria x dose, verificados na camada 20-40 cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 1999/2000.

Matéria Orgânica do Solo (g dm <sup>-3</sup> ) - 1999/2000						
Tratamento	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
CC	<b>33 a</b>	29	<b>33 a</b>	29	32	<b>34 a</b>
SD	<b>21 b</b>	21	<b>24 b</b>	27	25	<b>22 b</b>

DMS=8,83. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com Peixoto (2000), o SD é o sistema de cultivo que mais se aproxima de um sistema ecológico natural, tal como uma floresta ou campo nativo, tendo em vista que não há revolvimento do solo e que se preconiza a manutenção de uma cobertura permanente. Como consequência, o SD constrói ao longo do tempo um processo estratificado, que a fertilidade do solo induz um acúmulo de matéria orgânica e nutrientes na superfície do solo, formando uma distribuição de gradiente com diminuição da concentração com o aumento da profundidade do solo.

Em experimentos de sistema de cultivo de solo em um Latossolo Roxo, submetido a SD com rotação de soja/milho por cinco anos, Castro (1989) obteve resultados de matéria orgânica mais elevados em SD que em CC não só nas camadas superficiais, mas também em profundidade. O autor relata que o acúmulo de matéria orgânica está na dependência da quantidade de resíduos vegetais que retornaram ao solo e da textura do solo. Solos arenosos, mesmo sob SD, não apresentam aumentos tão significativos no teor de matéria orgânica como os solos argilosos.

Embora o presente experimento tenha sido realizado em solo argiloso, não se verificou um acúmulo de matéria orgânica na superfície em SD, pois os valores encontrados foram semelhantes nos dois sistemas de cultivo. Resultados semelhantes verificaram Muzilli (1983), que estudaram a influência do SD comparada ao CC sobre a fertilidade da camada arável de um solo Latossolo Roxo. O autor não verificou diferenças entre os valores de matéria orgânica na camada superficial do solo, quando efetuadas sucessões de diferentes culturas.

### **6.1.3. Fósforo disponível ( $P_{resina}$ )**

Os valores de P resina ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 encontram-se na Tabela 10.

Os resultados obtidos para P apresentaram grande variabilidade entre os valores, com altos coeficientes de variação na análise estatística, não se verificando nenhuma diferença entre as médias dos valores nos três anos avaliados.

Como a adubação em SD ocorre na linha de semeadura, há uma tendência de um acúmulo de alguns nutrientes, principalmente P e K. Segundo Anghinoni & Salet (1998), a utilização do solo nos diferentes sistemas de cultivo altera seus atributos químicos originais pela aplicação de corretivos e fertilizantes. No SD, a variabilidade do solo é aumentada, ainda mais, pela ação residual das linhas de adubação, que se mantêm na seqüência dos cultivos, juntamente com a redistribuição dos nutrientes reciclados dos resíduos.

Tabela 10 – Valores médios de P resina ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm, em amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Prof. (cm)	P resina ( $\text{mg dm}^{-3}$ )													
	- Sistema de Cultivo --				- Granulometria --				----- Dose -----					
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)	
<b>1999/2000</b>														
0-5	37	61	37	52,8	49	49	66	94,0	36	51	60	ns	109,7	
5-10	43	46	38	60,3	48	41	84	65,9	28	56	49	ns	118,9	
10-20	24	20	30	92,6	21	24	26	79,6	29	23	14	ns	103,3	
20-40	16	8	33	185,8	11	14	34	194,0	7	8	21	ns	166,8	
<b>2000/2001</b>														
0-5	20	25	34	163,6	25,9	19	12	61,4	12	26	30	ns	119,7	
5-10	15	24	26	145,4	22,6	17	8	48,6	11	14	34	*	111,2	
10-20	9	15	7	64,2	11,6	13	20	177,3	7	10	19	ns	125,3	
20-40	6	2	7	170,1	3,4	5	6	166,9	3	2	6	ns	175,9	
<b>2001/2002</b>														
0-5	40	29	24	77,6	33	34	27	88,5	22	29	51	*	88,2	
5-10	34	34	20	64,0	32	34	19	61,9	30	32	39	ns	78,4	
10-20	15	21	18	107,9	18	18	20	122,8	17	16	21	ns	90,3	
20-40	5	7	4	85,1	5	6	5	102,3	4	5	7	ns	109,1	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

De acordo com Shindwein & Anghinoni (2000), a distribuição superficial e uniforme do calcário e da palhada das culturas leva à baixa variabilidade nos atributos de acidez do solo e nos teores de matéria orgânica. Entretanto, as adubações à lanço, quando desuniformes, ou em linhas, favorecem a variabilidade horizontal de nutrientes, como fósforo e potássio, que ficam disponíveis por mais de uma cultura.

A alta variabilidade encontrada poderia, ainda, ser explicada pelo procedimento de amostragem utilizado que, segundo Nicolodi et al. (2000), pode não ser eficiente para representar os índices de fertilidade de elementos como P e K em áreas no sistema semeadura direta, visto que o sistema de amostragem utilizado é recomendado e calibrado para o sistema convencional de manejo de solo, não se adequando ao SD.

#### **6.1.4. Acidez potencial (H + Al)**

Os valores médios de acidez potencial - H+Al, verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002, encontram-se na Tabela 11.

Nos três anos avaliados, foram verificadas diferenças entre os tratamentos, principalmente entre os sistemas de cultivo, que foram mais pronunciadas até 24 meses após a aplicação do calcário.

Aos 12 meses após a aplicação do corretivo, os valores verificados em CC foram maiores que em SD na camada superficial do solo, não havendo diferenças na camada 5 a 10 cm. Já na camada 10-20 cm, houve uma inversão no comportamento da acidez do solo, e os valores verificados em SD foram maiores que em CC.

Aos 24 meses após a aplicação do calcário, os valores verificados para CC foram maiores que em SD na camada 0-5 cm e 5-10 cm, não diferindo nas demais profundidades.

Aos 36 meses da aplicação do calcário, os valores verificados não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de cultivo, entretanto, na camada 10-20 cm, os valores verificados para calcário grosso foram mais elevados que para calcário fino.

Tabela 11 – Valores médios de acidez potencial - H+Al, verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm, aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário.

Prof. (cm)	Acidez Potencial - H+Al (mmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )												
	-- Sistema de Cultivo --				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
<b>1999/2000</b>													
0-5	<b>49 A</b>	<b>36 B</b>	11	27,5	41	43	3	7,8	49	43	35	*	41,3
5-10	52	55	7	12,6	56	51	11	19,9	56	56	44	ns	36,2
10-20	<b>62 B</b>	<b>82 A</b>	8	19,9	74	69	8	12,4	73	68	74	ns	21,6
20-40	87	93	8	15,3	94	92	5	25,8	98	88	93	ns	28,6
<b>2000/2001</b>													
0-5	<b>60 A</b>	<b>28 B</b>	8	20,6	39	48	9	22,3	53	44	34	*	29,2
5-10	<b>58 A</b>	<b>50 B</b>	7	17,9	50	59	11	22,7	64	55	44	*	35,7
10-20	65	75	15	23,9	72	68	12	18,6	74	76	60	*	23,4
20-40	100	108	27	28,1	102	106	10	10,4	111	106	95	*	20,1
<b>2001/2002</b>													
0-5	72	79	10	15,0	76	75	28	41,2	92	83	52	*	48,3
5-10	74	73	39	58,6	75	73	17	26,1	88	75	58	*	29,5
10-20	75	98	31	39,4	<b>82 B</b>	<b>91 A</b>	4	5,0	99	82	78	*	32,9
20-40	107	126	46	71,1	109	124	40	37,7	118	128	103	ns	34,8

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

A análise da interação sistema de cultivo x granulometria, também revelou diferenças significativas nos três anos avaliados, com diferenças mais evidentes 24 meses após a aplicação de calcário, conforme pode ser verificado na Tabela 12.

Aos 24 meses após a aplicação de calcário, na camada 0-5 cm, os valores em CC foram mais elevados que em SD, tanto nos tratamentos com calcário fino como com calcário grosso; na camada 5-10 cm, os tratamentos com calcário

grosso em CC apresentaram valores mais elevados que em SD. Já na camada 20-40 cm, ocorreu o inverso e a acidez foi mais elevada em SD que em CC.

No desdobramento de granulometria dentro de sistema de cultivo, notou-se que na camada 5-10 cm, os valores para calcário grosso foram maiores que para calcário fino nos dois sistemas de cultivo avaliados. Na camada 20-40 cm também se verificou valores mais elevados para o calcário grosso em SD que em CC.

Em geral, os resultados evidenciaram uma acidez potencial mais elevada em CC que em SD nas camadas superficiais do solo, ocorrendo uma inversão nas camadas mais profundas.

Tabela 12- Valores médios de acidez potencial (H+Al), em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

Tratamentos	H+Al - $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>55 a</b>	<b>64 a</b>	<b>50 aB</b>	<b>67 aA</b>	<b>63 b</b>	68	<b>93 aB</b>	<b>107 aA</b>
SD	<b>24 b</b>	<b>32 b</b>	<b>49 aB</b>	<b>52 bA</b>	<b>82 a</b>	68	112	104
DMS Sist. Cult.	9		11		15		25	
DMS Granulom.	12		15		16		14	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A quantidade de calcário aplicada também influenciou na reação de neutralização, como pode ser observado na Tabela 13.

Na análise dos resultados das interações com dose, constatou-se na camada 0-5 cm, valores mais elevados em CC que em SD nas três doses de calcário aplicadas, o mesmo acontecendo na camada 5-10cm, quando aplicada a dose D2. Na camada 10-20cm, quando aplicada a dose D1, houve uma inversão, e o valor de acidez potencial foi mais elevada em SD que em CC.

Com relação à granulometria, os valores verificados na camada 5 a 10 cm foram mais elevados em calcário grosso que em calcário fino, não se verificando diferenças nas demais profundidades.

Tabela 13– Valores médios de acidez potencial (H+Al), em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

Prof. (cm)	H+Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )											
	---- 0 a 5 ----			---- 5 a 10 ----			---- 10 a 20 ----			---- 20 a 40 ----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Cultivo</u>												
CC	<b>66 a</b>	<b>63 a</b>	<b>50 a</b>	63	<b>64 a</b>	48	<b>64 b</b>	75	58	107	98	94
SD	<b>40 b</b>	<b>24 b</b>	<b>19 b</b>	65	<b>47 b</b>	40	<b>84 a</b>	78	62	115	115	96
<u>Granulom.</u>												
Fino	48	39	31	<b>57 b</b>	52	40	75	77	65	113	102	93
Grosso	57	49	38	<b>71 a</b>	59	48	74	75	55	109	111	97
DMS	11			13			18			30		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados da análise de regressão verificados na interação de dose x sistema de cultivo e dose x granulometria, no segundo ano após a aplicação do calcário, demonstraram significância na camada 0-5 cm para CC, SD, calcário fino e calcário grosso, com valores de acidez potencial diminuindo em função do aumento da dose aplicada, o mesmo ocorrendo com o SD e o calcário grosso nas camadas 5-10 e 10-20 cm de profundidade (Tabela 14).

Na interação tripla entre sistema de cultivo x granulometria x dose, cujos resultados das análises de regressão encontram-se dispostos na Tabela 15, também houve diferenças entre os tratamentos efetuados.

Tabela 14– Resultado da análise de regressão dos valores de acidez potencial (H+Al), em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de dose x sistema de cultivo e dose x granulometria, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

Prof. (cm)	H+Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )			
	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 40
<u>Sistema de Cultivo</u>				
CC – Regressão Linear (L)	*	ns	ns	ns
CC - Regressão Quadrática (Q)	ns	ns	ns	ns
SD – Regressão Linear (L)	*	*	*	ns
SD- Regressão Quadrática (Q)	ns	ns	ns	ns
<u>Granulometria</u>				
Fino – Regressão Linear (L)	*	ns	ns	ns
Fino- Regressão Quadrática (Q)	ns	ns	ns	ns
Grosso – Regressão Linear (L)	*	*	*	ns
Grosso - Regressão Quadrática (Q)	ns	ns	ns	ns

Análise de regressão: ns = não significativo; \* = significativo.

Na camada 0 a 5cm, houve significância na análise de regressão linear em SD tanto com calcário fino como com calcário grosso, com uma diminuição da acidez potencial inversamente proporcional ao aumento da dose aplicada.

Tabela 15– Médias de H+Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e resultados da análise de regressão de dose dentro da interação sistema de cultivo x granulometria na profundidade 0-5cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

Tratamentos	H+Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )			
	----- CC -----		----- SD -----	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso
Dose 1	76	81	109	102
Dose 2	85	70	96	83
Dose 3	54	66	38	49
Análise de regressão linear (L)	ns	ns	*	*
Análise de regressão quadrática (Q)	ns	ns	ns	ns

Análise de regressão: ns = não significativo; \* = significativo.

Os valores verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na profundidade 0-5cm, foram superiores em CC em relação ao SD em todas as doses avaliadas. Na profundidade 5-10cm, os valores

verificados em CC também foram maiores que em SD nas doses D2 e D3, conforme exposto na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores de acidez potencial (H+Al), em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo dentro de granulometria x dose, nas camadas 0 a 5 e 5 a 10cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

	H+Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )					
	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
	----- Prof. 0 a 5 cm -----					
CC	<b>63 a</b>	<b>58 a</b>	<b>44 a</b>	<b>68 a</b>	<b>68 a</b>	<b>56 a</b>
SD	<b>34 b</b>	<b>20 b</b>	<b>17 b</b>	<b>46 b</b>	<b>29 b</b>	<b>20 b</b>
	----- Prof. 5 a 10 cm -----					
CC	61	52	37	66	<b>75 a</b>	<b>59 a</b>
SD	54	51	43	76	<b>42 b</b>	<b>38 b</b>

DMS 0 a 5cm= 19,2; DMS 5 a 10cm= 16,4. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores de acidez potencial mais elevados em CC do que em SD, na camada superficial do solo, têm sido relatados por vários autores.

Caires et al. (1998), em estudos realizados em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, em Ponta Grossa (PR), verificaram que a calagem proporcionou correção da acidez do solo, revelada pela elevação de pH e redução do alumínio trocável, até a profundidade de 10 cm e em camadas subsuperficiais, mostrando que a ação do calcário aplicado na superfície, em áreas com cultivos já estabelecidos, não preparadas convencionalmente, pode atingir camadas mais profundas do solo. Os valores das camadas subsuperficiais aumentaram com o tempo, como era esperado, de acordo com as doses de calcário, mostrando que o corretivo continuou apresentando reação no solo.

Na mesma região e tipo de solo, Oliveira & Pavan (1994) relataram, também, redução da acidez até 40 cm de profundidade, após 32 meses da aplicação do calcário, na superfície, em SD. Resultados semelhantes obtiveram Caires et al. (1999), que verificaram aumentos nos valores de pH e teores de cálcio,

magnésio e alumínio, até a profundidade de 40 cm, 18 meses após a aplicação do calcário.

No entanto, há relatos que indicam que a correção da acidez do solo fica restrita à camada superficial do solo. Pöttker & Ben (1998) verificaram que ação do calcário 36 meses após a aplicação do corretivo, ficaram limitada à camada 0-5 cm.

#### **6.1.5. Potássio trocável**

As análises de potássio trocável evidenciaram diferenças aos 12 meses após a aplicação do calcário, nas camadas 10-20 e 20-40 cm com valores mais elevados em CC do que em SD (Tabela 17).

Aos 24 e 36 meses da aplicação do calcário, não houve diferenças entre as médias dos tratamentos e os valores encontrados foram bastante semelhantes.

Na interação entre sistema de cultivo e granulometria não foram verificadas diferenças entre as médias dos tratamentos, o mesmo ocorrendo nas interações entre sistema de cultivo e dose, granulometria e dose e na interação tripla dos fatores.

Ao contrário do fósforo, o potássio tem boa mobilidade no solo. Por isto, a localização deste nutriente, em superfície ou em sulco, não é decisiva para sua eficiência, visto que há uma distribuição mais uniforme do nutriente no solo. No entanto, um grande número de estudos demonstra que, com o passar dos anos, os solos sob o SD apresentam marcada estratificação de nutrientes que é a formação de camadas com propriedades físicas e químicas distintas num mesmo perfil. Em estudos realizados por Mengel (1986) apud Tornquist (1999), os valores de K trocável em SD foram superiores ao CC na camada superficial do solo, com gradiente de concentração em profundidade, onde os valores de K trocável em CC foram mais elevados que em SD.

Tabela 17 – Valores médios de K ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

K ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )													
Prof. (cm)	-- Sistema de Cultivo --				---- Granulometria ----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
<b>1999</b>													
0-5	5,2	4,9	0,7	19,7	5,4	4,8	1,8	36,1	5,2	4,7	5,3	ns	30,9
5-10	3,9	3,7	1,2	25,4	3,4	4,3	1,3	27,7	3,6	3,3	4,6	ns	45,3
10-20	<b>2,8 a</b>	<b>2,1 b</b>	0,8	24,9	2,2	2,7	1,2	34,1	2,5	2,0	2,8	ns	31,4
20-40	<b>2,3 a</b>	<b>1,3 b</b>	1,0	53,9	1,8	1,8	0,9	29,7	1,6	1,8	2,0	*	42,2
<b>2000</b>													
0-5	4,4	4,5	0,9	23,8	4,1	4,7	1,9	46,9	3,4	4,9	5,0	ns	53,6
5-10	3,3	3,2	1,6	53,1	3,2	3,3	2,2	73,1	2,7	3,0	4,1	ns	54,8
10-20	2,4	2,4	1,6	72,0	2,4	2,5	2,1	96,3	2,0	2,1	3,1	ns	57,6
20-40	1,4	1,3	1,2	99,1	1,3	1,4	1,3	99,3	1,2	0,9	1,8	ns	74,7
<b>2001</b>													
0-5	5,3	4,8	2,8	59,5	5,1	5,1	2,6	57,3	4,2	4,5	6,5	*	54,6
5-10	4,0	4,5	1,8	45,9	4,1	4,4	2,9	73,9	4,6	4,2	3,9	ns	34,8
10-20	3,0	3,2	1,8	65,2	3,1	3,1	2,1	72,9	3,4	3,0	2,8	ns	46,9
20-40	1,6	1,6	0,8	56,2	1,6	1,6	1,2	79,7	1,7	1,5	1,6	ns	48,2

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Os resíduos culturais das plantas de cobertura do solo ao serem decompostas, disponibilizam parte dos nutrientes para as culturas em sucessão, que segundo Fiorin (1999), ocorre a uma taxa aproximadamente semelhante a sua decomposição, com exceção do K, que é totalmente liberado mesmo sem a decomposição do tecido vegetal. Isto faz com que haja uma maior concentração deste

nutriente próximo às plantas cultivadas, o que ocasiona uma grande variabilidade horizontal para o elemento.

Os sistemas de cultivo com preparo reduzido do solo modificam o comportamento do K trocável do solo. Muzzili (1983), ao comparar a influência do SD, comparado ao CC, sobre a fertilidade da camada arável do solo, verificou que em solo Latossolo Roxo, os teores de K trocável acumulados na camada de 0 a 5 cm foram significativamente superiores no SD comparado CC. Já em Latossolo Vermelho- Escuro, os teores encontrados não diferiram em nenhuma das profundidades analisadas. Ainda segundo o autor, a exportação realizada pelas plantas também é afetada significativamente os teores de K trocável do solo pois nos experimentos conduzidos os teores de K trocável encontrados ao longo da camada arável, após anos de cultivo, refletiram decréscimo em relação aos teores iniciais em ambos os solos e nos dois sistemas de cultivo, indicando que as quantidades exportadas através das colheitas sucessivas teriam sido superiores às fornecidas através das adubações.

Segundo Pöttker (1995), a maioria das recomendações de adubação utilizadas para K no Brasil, não levam em conta a produtividade esperada e o sistema de cultivo utilizado. Como altas concentrações têm sido encontradas na camada superficial do solo sob SD e, aparentemente não traga prejuízos para as culturas, pois também há uma grande concentração de raízes nesta camada, isto pode influir na recomendação de K nos diferentes sistemas. Se por um lado, o K lixiviado diminui com a calagem, o aumento dos teores de cálcio e magnésio reduz as relações  $K/Ca^{+2}$  e  $K/Mg^{+2}$ , podendo provocar a deficiência de K.

### 6.1.6. Cálcio trocável

A calagem promoveu grandes alterações nas concentrações de cátions do solo, principalmente nos teores de cálcio e magnésio. Na Tabela 18, estão dispostos os valores de cálcio verificados aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do corretivo, nas diferentes profundidades.

Tabela 18 – Valores médios de Ca ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 meses após a aplicação do calcário.

Prof. (cm)	-- Sistema de Cultivo --				Ca ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
<b>1999/2000</b>													
0-5	<b>34 b</b>	<b>48 a</b>	9	15,2	41	41	6	9,1	30	39	54	*	32,7
5-10	31	30	9	20,1	29	31	8	27,1	28	27	35	ns	35,5
10-20	<b>26 a</b>	<b>16 b</b>	6	27,2	21	20	9	33,0	18	21	22	ns	39,7
20-40	10	8	3	5,9	9,13	8	6	36,8	8	9	9	ns	61,0
<b>2000/2001</b>													
0-5	<b>26</b>	<b>57a</b>	11	29,0	<b>47a</b>	<b>36b</b>	5	14,3	28	39	55	*	33,1
5-10	<b>32a</b>	<b>27b</b>	9	33,1	<b>32a</b>	<b>28b</b>	2	7,4	21	28	39	*	31,8
10-20	21	20	12	64,3	19	22	5	28,0	16	17	27	*	44,0
20-40	13	12	4	40,4	11	13	11	76,9	9	10	18	*	93,3
<b>2001/2002</b>													
0-5	22	31	12	51,0	27	25	5	18,7	19	24	36	*	36,4
5-10	23	27	12	52,1	24	26	3	14,8	21	24	31	*	34,9
10-20	19	19	7	41,2	20	18	2	14,2	17	18	22	*	29,5
20-40	14	13	3	24,2	13	13	3	21,2	13	13	14	*	14,8

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Aos 12 e 24 meses após a aplicação do calcário, verificou-se maior concentração de cálcio na camada superficial do solo no SD que no CC. Na camada 10-20 cm de profundidade, aos 12 meses, observou-se valores mais elevados em CC que em SD, o mesmo acontecendo na camada 5-10 cm, aos 24 meses da aplicação.

Entre as granulometrias, também houve diferença aos 24 meses após a aplicação do corretivo, com valores mais elevados para calcário fino que para calcário grosso, nas camadas superficiais do solo.

Na interação entre sistema de cultivo e granulometria, também houve diferenças entre os tratamentos, com SD e calcário fino apresentando maiores valores de cálcio na camada superficial do solo em relação aos tratamentos utilizando CC e calcário grosso, conforme verifica-se na Tabela 19, onde estão dispostos os valores de cálcio verificados 24 meses após a aplicação do calcário. Este efeito persistiu ainda por mais 12 meses, com valores significativos 36 meses após a aplicação do corretivo.

Tabela 19 - Valores médios de Ca, em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

Tratamentos	Ca ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) – ano 2000/2001							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>31 bA</b>	<b>22 bB</b>	<b>32 aA</b>	<b>22 bB</b>	21	21	14	12
SD	<b>64 aA</b>	<b>50 aB</b>	<b>31 aB</b>	<b>33 aA</b>	17	23	8	16
DMS Cultivo	11		9		11		10	
DMS Granulom.	14		3		20		16	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Embora houvesse significância na análise de regressão para dose em várias profundidades, nas diferentes épocas avaliadas (Tabela 20), as interações entre sistema de cultivo e dose, bem como entre granulometria e dose, não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as médias dos tratamentos aos

12 e 24 meses após a aplicação do corretivo. Já aos 36 meses da aplicação, os valores verificados para o SD foram mais elevados que no CC quando a aplicada a dose D3.

Tabela 20– Valores médios de Ca, em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados nas interações entre sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2001/2002.

	Ca ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) - 2001/2002											
	0 a 5 cm			5 a 10 cm			10 a 20 cm			20 a 40 cm		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Cultivo</u>												
CC	19	22	<b>27 b</b>	20	22	26	18	18	22	14	14	15
SD	21	26	<b>46 a</b>	21	25	35	16	18	22	12	14	15
<u>Granulom.</u>												
Fino	21	25	36	23	24	32	19	19	22	13	13	14
Grosso	18	22	36	19	24	29	15	18	22	12	14	15
DMS		14			15			8			3	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na interação tripla também observou-se a mesma tendência no comportamento do cálcio, com os valores na camada superficial do solo mais elevados em SD que em CC, tanto para calcário fino como para calcário grosso, nas diferentes doses aplicadas, com exceção da dose D1 com calcário grosso (Tabela 21).

Em experimentos comparativos entre diferentes tipos de preparo de solo, em Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, Derpsch et al. (1991) verificaram que o SD mostrou-se o mais favorável para ambos os tipos de solo. Diferenças significativas foram observadas na camada 0-20 cm, com teores de cálcio, magnésio e potássio mais elevados que em outros tipos de preparo. De acordo com estes autores, a mudança para SD não causa maiores problemas quanto à adubação. A questão do calcário, há muito tida como problemática, pode ser considerada solucionada, já que não há, como se temia, uma acidificação do solo sob SD.

Condição prévia, porém, tal como no abastecimento inicial com fósforo precedente à mudança, é que o solo seja suficientemente abastecido com cálcio.

Tabela 21 - Valores de Ca, em  $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo dentro de granulometria e dose, na camada 0-5cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

Tratamento	Ca ( $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ )- 2000/2001					
	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
CC	<b>24 b</b>	<b>25 b</b>	<b>42 b</b>	15	<b>21 b</b>	<b>29 b</b>
SD	<b>47 a</b>	<b>63 a</b>	<b>80 a</b>	28	<b>50 a</b>	<b>71 a</b>

DMS= 18. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Muzzili (1983) verificou em Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho –Escuro, que a distribuição de Ca e Mg mostraram tendência à diminuição gradativa da disponibilidade nas partes mais profundas da camada arável. No Latossolo Roxo, a maior concentração de Ca e Mg ocorreu nos primeiros 5 - 10 cm da camada arável e, no Latossolo Vermelho-Escuro, a maior concentração em SD ocorreu até a camada 15 cm de profundidade.

Em experimentos realizados em um Latossolo Vermelho –Escuro textura média, manejado há quinze anos em SD no Paraná, Caires (2000) notou que a calagem provocou aumentos significativos no pH, Ca+Mg trocáveis e saturação por bases e redução significativa nos teores de H+Al, com comportamento quadrático até 10 cm de profundidade e linear de 10-60 cm. Já Petreire & Anghinoni (2001), verificaram que a magnitude dos gradientes e a profundidade da camada afetada foram, também, proporcionais às doses aplicadas, e os efeitos sobre cálcio atingiram até a camada 15-17,5 cm de profundidade.

A ação do calcário em profundidade no perfil, a partir da superfície do solo é restringida porque os ânions resultantes da sua dissolução, responsáveis pela neutralização da acidez, são, também, consumidos nas reações com

outros cátions ácidos ( $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$  e  $\text{Al}^{+3}$ ) na camada de deposição do calcário (Miyazawa et al., 1996; Miyazawa et al., 2000).

### 6.1.7. Magnésio trocável

Os valores verificados para o magnésio (Tabela 22) apresentaram comportamento similares àqueles verificados para o cálcio. Aos 12 e 24 meses da aplicação do calcário, na camada superficial do solo, houve maior concentração do elemento em SD que em CC. Nas camadas mais profundas, o CC apresentou valores mais elevados que o SD, aos 12 meses nas camadas 10-20 e 20-40cm e, aos 24 meses, na camada 20-40 cm.

O comportamento verificado para granulometria também foi similar ao verificado para cálcio, em que o calcário fino foi mais eficiente que o calcário grosso na liberação de magnésio, aos 24 meses da aplicação, na camada 0-5 cm.

Tabela 22 – Valores médios de Mg ( $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ ), verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Prof. (cm)	Mg ( $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ )												
	----- Sistema de Cultivo -----				----- Granulometria -----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
1999/2000													
0-5	<b>23 b</b>	<b>38 a</b>	6	17,6	30	30	2	9,4	20	28	42	*	41,6
5-10	19	21	5	20,6	18	21	5	22,7	18	17	23	ns	42,3
10-20	<b>15 a</b>	<b>10 b</b>	5	33,9	12	12	6	27,3	11	12	13	*	35,5
20-40	<b>6 a</b>	<b>5 b</b>	1	26,8	5	5	4	40,0	4	5	6	*	38,5
2000/2001													
0-5	<b>18 b</b>	<b>36 a</b>	12	48,9	<b>32 a</b>	<b>23 b</b>	7	30,0	18	25	39	*	45,0
5-10	16	19	5	33,0	19	16	2	12,3	13	17	22	*	31,3
10-20	13	12	5	50,9	11	13	2	21,1	10	11	15	*	36,1
20-40	<b>5 a</b>	<b>4 b</b>	1	18,4	4	5	4	56,4	3	3	7	*	97,7
2001/2002													
0-5	10	17	10	77,4	15	13	2	16,2	9	12	20	*	51,1
5-10	11	14	7	65,1	13	12	2	25,0	9	12	17	*	50,4
10-20	8	8	5	60,9	9	8	1	18,0	7	8	10	*	47,3
20-40	4	4	1	47,5	4	4	1	19,3	4	4	5	*	23,7

Letras minúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear.

Os efeitos verificados também foram pronunciados na interação entre sistema de cultivo x granulometria, onde o SD apresentou valores mais elevados que o CC nas camadas 0-5 e 5-10 cm, quando aplicado calcário grosso. No entanto, quando aplicado calcário fino, esta diferença só apareceu na camada 0-5 cm (Tabela 23), que foi acentuada de acordo com a dose aplicada (Tabela 24).

Tabela 23 - Valores médios de Mg, em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo e granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, antes da semeadura do milho 2000/2001.

Tratamentos	Mg ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )- ano 2000/2001							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>23 b</b>	<b>14 b</b>	<b>19 aA</b>	<b>13 bB</b>	13	13	5	5
SD	<b>41 a</b>	<b>33 a</b>	<b>19 aA</b>	<b>20 aA</b>	10	13	3	6
DMS Cultivo	12		5		5		4	
DMS Granulom.	11		3		3		6	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 24 - Valores de Mg, em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 5-10 cm, antes da semeadura do milho 2000/2001.

Tratamento	Mg ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )- ano 2000/2001					
	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
CC	16	15	25	12	<b>12 b</b>	<b>16 b</b>
SD	16	19	21	11	<b>22 a</b>	<b>27 a</b>

DMS= 9. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em estudos sobre pastagem nativa, Rheinheimer et al. (2000), verificou em um Argissolo Acinzentado distrófico plúntico, na região sul do Brasil, que a aplicação de calcário em superfície criou uma frente alcalinizante que avançou em profundidade proporcionalmente à dose e ao tempo empregados, porém não ocorreu migração dos efeitos da calagem no perfil do solo quando a quantidade aplicada em superfície foi menor do que a necessidade para neutralizar o Al trocável das camadas adjacentes. A movimentação de Ca+Mg. Os teores de Mg trocável verificados foram semelhantes entre SD e CC quando aplicadas doses pequenas de calcário, mas quando

aplicadas maiores doses (8,5 e 17 t ha<sup>-1</sup>), os níveis de Mg trocável foram maiores somente nos primeiros 5 cm e menores abaixo de 10 cm, comparativamente à incorporação do calcário.

#### **6.1.8. Soma de bases (SB)**

A adição superficial de adubos e corretivos da acidez do solo e a ciclagem dos resíduos tendem a acumular nutrientes na superfície do solo em SD. O fósforo é o nutriente que forma gradiente mais acentuado, a partir da superfície do solo, mas os cátions cálcio, magnésio e potássio também formam gradientes, porém menores. Dentre os cátions, o cálcio é o que forma maior gradiente, seguido do magnésio e do potássio. Esse comportamento, segundo Anghinoni & Salet (1998), está relacionado às suas afinidades com o sítio de adsorção do solo (P>Ca>Mg>K).

Os valores de soma de bases verificados, cujos resultados encontram-se na Tabela 25, evidenciaram a formação de um gradiente no perfil do solo, assim como ocorreu para os elementos cálcio e magnésio. A partir da superfície, os valores verificados em SD foram decrescendo ao longo do perfil do solo. Nas camada superficial do solo, os valores verificados para SD foram mais elevados que em CC, aos 12 e 24 meses após a aplicação do calcário. Em maiores profundidades, a incorporação do corretivo fez com a concentração de bases fossem superiores no CC que em SD.

A aplicação de calcário fino também foi mais eficiente em relação ao calcário grosso, efeito este que ficou mais evidente aos 24 meses da aplicação do calcário, verificado nas camadas 0-5 e 5-10 cm de profundidade.

Embora houvesse um gradiente bastante perceptível no perfil do solo aos 36 meses da aplicação do calcário, as análises estatísticas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto o efeito proporcionado pelas maiores doses aplicadas ficou evidenciado na análise de regressão linear, que foi significativa até 10 cm de profundidade.

Tabela 25 – Valores médios de soma de bases ( $\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

SB ( $\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ )													
Prof. (cm)	- Sistema de Cultivo -				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
<b>1999/2000</b>													
0-5	<b>66b</b>	<b>89 a</b>	13	20,5	77	77	11	10,8	60	72	99	*	35,1
5-10	57	53	13	24,9	53	57	13	22,3	55	48	61	ns	33,5
10-20	<b>46 a</b>	<b>28 b</b>	14	31,0	38	35	9	29,3	34	37	38	*	30,3
20-40	<b>19 a</b>	<b>14 b</b>	5	18,4	17	15	7	42,5	14	16	18	*	37,2
<b>2000/2001</b>													
0-5	<b>48 b</b>	<b>97 a</b>	23	34,7	<b>83 a</b>	<b>63 b</b>	10	15,4	49	70	99	*	34,2
5-10	46	54	17	32,9	<b>53 a</b>	<b>47 b</b>	3	5,7	37	48	66	*	30,2
10-20	36	33	19	58,7	37	32	9	29,6	28	30	46	*	39,6
20-40	14	13	2	18,6	12	15	13	99,5	10	11	20	*	89,6
<b>2001/2002</b>													
0-5	38	53	23	56,7	47	44	17	17,3	33	40	63	*	40,2
5-10	38	46	20	53,1	41	44	7	19,5	35	40	52	*	37,2
10-20	31	31	13	48,3	33	29	5	19,7	28	29	35	ns	33,0
20-40	20	19	5	27,0	19	19	4	24,1	19	19	21	ns	17,3

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Na interação entre sistema de cultivo e granulometria, os efeitos proporcionados também foram análogos aos verificados para os cátions separadamente, em que houve maior concentração de bases na camada superficial do solo em SD (Tabela 26).

Tabela 26 - Valores médios de SB, em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 24 meses da aplicação do calcário.

Tratamentos	SB ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )- 2000/2001							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>58 b A</b>	<b>40 b B</b>	<b>55 a A</b>	<b>39 b B</b>	36	36	15	14
SD	<b>108 a A</b>	<b>87 a B</b>	<b>52 a B</b>	<b>57 a A</b>	29	39	9	18
DMS Cultivo	22		15		18		14	
DMS Granulom.	15		3		13		19	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A quantidade de calcário aplicada também influenciou significativamente nos valores de soma de bases na camada 0-5 cm. A aplicação de doses mais elevadas proporcionou aumentos, tanto com calcário fino como com calcário grosso, em superfície, até 24 meses da aplicação do calcário, conforme exposto na Tabela 27.

Tabela 27 - Valores de SB, em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 0-5cm, 36 meses após a aplicação de calcário.

Tratamento	SB ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )- 2001/2002					
	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
CC	43	<b>46 b</b>	<b>84b</b>	30	<b>37 b</b>	<b>53 b</b>
SD	78	<b>109a</b>	<b>139 a</b>	48	<b>90 a</b>	<b>124 a</b>

DMS= 38,70. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O calcário fino, por apresentar maior reatividade, revelou maior eficiência na liberação de cátions, visto que, aos 24 e 36 meses após aplicação do corretivo, os valores verificados na camada 5-10 cm foram mais elevados quando aplicado calcário fino que quando aplicado calcário grosso na dose D3 (Tabela 28).

Tabela 28 - Valores de SB, em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 5-10cm, 24 e 36 meses após a aplicação de calcário.

Tratamento	SB ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )- 2000/2001					
	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
	----- 24 meses -----					
CC	46	46	73	32	34	<b>50 b</b>
SD	39	53	63	33	59	<b>78 a</b>
	----- 36 meses -----					
CC	33	41	55	29	31	<b>38 b</b>
SD	38	44	74	32	45	<b>87 a</b>

DMS 24 meses = 22,92; DMS 36 meses = 37,83. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 6.1.9. Capacidade de troca catiônica (C.T.C. total)

Os efeitos da calagem sobre a capacidade de troca catiônica do solo foram observados até 24 meses após a aplicação do corretivo, conforme pode ser verificado na Tabela 29. Aos 12 meses após a aplicação do calcário, não houve diferenças entre os tratamentos efetuados em nenhuma das profundidades avaliadas, com exceção de dose, em que, a aplicação de maiores quantidades de calcário induziram ao aumento da C.T.C. do solo. Este aumento foi significativo aos 12 meses, na camada superficial do solo e, aos 24 meses até 10 cm de profundidade. No segundo ano da aplicação, os valores verificados para calcário fino foram mais elevados que para calcário grosso, não havendo diferenças nas demais profundidades.

Tabela 29 – Valores médios de capacidade de troca catiônica – C.T.C., em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

C.T.C. ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )													
- Sistema de Cultivo -				---- Granulometria ----				----- Dose -----					
Prof. (cm)	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
<b>1999</b>													
0-5	115	127	15	8,9	119	123	6	8,3	110	119	134	*	19,8
5-10	120	108	17	27,8	121	107	15	25,5	111	109	123	ns	35,2
10-20	107	105	5	18,5	108	104	8	11,8	107	105	106	ns	20,8
20-40	106	111	5	12,1	112	105	9	19,4	112	105	109	ns	27,0
<b>2000</b>													
0-5	108	125	20	19,2	<b>122 a</b>	<b>111 b</b>	9	8,3	103	114	134	*	18,3
5-10	105	105	3	15,9	103	107	12	13,1	102	103	110	*	10,8
10-20	102	109	21	22,5	105	106	2	12,8	103	107	107	ns	10,9
20-40	115	122	26	24,2	115	122	16	14,5	122	118	115	ns	12,7
<b>2001</b>													
0-5	110	133	28	25,3	124	119	25	22,4	125	124	115	ns	21,6
5-10	113	120	31	29,2	119	114	23	22,3	123	116	110	ns	19,9
10-20	106	129	29	27,0	115	120	9	8,1	127	112	114	ns	23,6
20-40	128	145	73	58,8	129	144	42	33,8	137	147	124	ns	29,6

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear.

Na interação entre sistema de cultivo e dose, verificou-se a tendência de o SD apresentar maior C.T.C., sendo este efeito significativo aos 24 meses após a aplicação do calcário, na camada 5-10 cm de profundidade quando aplicada a dose D3 (Tabela 30).

Tabela 30 – Valores médios de C.T.C. do solo, em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

	C.T.C. - ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )-2000/2001											
	0 a 5 cm			5 a 10 cm			10 a 20 cm			20 a 40 cm		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
CC	102	105	119	102	105	<b>119 b</b>	100	104	102	121	110	112
SD	103	124	150	103	124	<b>150 a</b>	105	109	112	123	125	117
<b>Granul.</b>												
Fino	109	116	142	102	104	110	104	107	105	122	112	109
Grosso	96	112	126	101	103	111	102	106	109	122	123	120
DMS	24			19			24			30		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Petrere & Anghinoni (2001), em estudos de aplicação de calcário em superfície em Latossolo Vermelho distrófico típico, no estado do Rio Grande do Sul, verificaram aumento do pH, cálcio e magnésio trocáveis, C.T.C. efetiva além da diminuição do teor de alumínio trocável, em relação aos tratamentos sem calcário, com efeitos proporcionais às doses aplicadas. Na maior dose ( $6 \text{ t ha}^{-1}$ ), os efeitos na C.T.C. efetiva atingiram até a camada de 10 a 12,5 cm de profundidade. As profundidades afetadas foram maiores do que as relatadas para solos com mesma textura, doses de calcário e tempo decorrido verificados por Sá (1996) e Pöttker & Ben (1998).

A provisão de cálcio e magnésio proporcionada pela calagem permite por si só um aumento na C.T.C. , pois, segundo Tomé Jr. (1997), a C.T.C. efetiva corresponde às cargas do solo que estão disponíveis para os processos de troca, ou seja, ocupadas pelos cátions trocáveis, que são Ca, Mg, K e Al, assim, o íon  $\text{H}^+$  não é trocável, pois é adsorvido à C.T.C. por ligação covalente, sendo retirado por neutralização (reação com OH), quando aplicado o calcário. Desta maneira, a saturação por bases do solo irá também ser afetada.

### 6.1.10. Saturação por bases (V%)

A saturação por bases, como era de se esperar, foi bastante afetada pela aplicação de calcário (Tabela 31) . Na camada superficial do solo, o SD proporcionou maior V% aos 12 meses da aplicação do calcário, sendo este efeito mais pronunciado aos 24 meses, quando apresentou valores mais elevados até 10 cm de profundidade.

Embora a quantidade de calcário aplicada na dose D3, visasse um aumento da saturação por bases para 70%, este valor só foi alcançado na camada 0-5 cm, decaindo a partir de 24 meses da aplicação, não atingindo o valor almejado nas demais profundidades.

Tabela 31 – Valores médios de V% verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas amostras de solo retiradas antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Prof. (cm)	-- Sistema de Cultivo --				---- Granulometria ----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
1999													
0-5	<b>55 b</b>	<b>67 a</b>	8	12,8	62	60	5	5,6	51	58	73	*	24,8
5-10	50	46	7	11,8	46	50	7	15,7	44	44	56	ns	23,3
10-20	<b>40 a</b>	<b>24 b</b>	13	22,9	32	33	8	19,4	30	33	33	*	24,5
20-40	<b>18 a</b>	<b>12 b</b>	13	30,7	15	15	9	45,8	14	14	18	*	32,9
2000													
0-5	<b>43 b</b>	<b>75 a</b>	10	19,3	<b>64 a</b>	<b>54 b</b>	9	18,2	47	59	70	*	18,8
5-10	<b>43 b</b>	<b>51 a</b>	8	20,7	<b>50 a</b>	<b>44 b</b>	4	9,0	37	46	58	*	26,5
10-20	35	31	14	46,2	31	35	8	27,5	28	28	42	*	37,1
20-40	13	11	4	40,1	11	13	11	96,9	9	10	18	*	93,3
2001													
0-5	34	42	11	31,2	41	36	7	20,2	28	33	54	*	40,7
5-10	34	40	19	58,0	38	35	2	7,2	29	35	47	*	27,5
10-20	30	25	12	49,8	30	25	3	13,2	24	27	31	ns	33,3
20-40	17	14	9	63,2	16	15	3	25,9	18	14	19	ns	31,8

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Resultados semelhantes verificou Sá (1998b) em solos da região de Campos Gerais no Paraná, em que a aplicação de calcário em superfície alterou significativamente o V% até 5 cm em relação à testemunha, mantendo em até 36 meses os efeitos residuais. Já Caires et al. (2000) verificou em um Latossolo Vermelho textura média, aumento na V% até 10 cm de profundidade, após 12 meses. A partir dessa época, os acréscimos na V%, na camada 0-5 cm ocorreram com menor intensidade, com máxima reação do calcário tendo sido observada entre 28 e 30 meses de sua aplicação. Após este período, iniciou-se a redução do efeito residual da calagem.

A granulometria do corretivo também influenciou na eficiência da liberação dos agentes neutralizantes, visto que, aos 12 meses, os valores verificados para calcário fino e calcário grosso até 10 cm de profundidade foram equivalentes, enquanto que, aos 24 meses, houve uma redução dos valores de V% com a utilização de calcário grosso, e incremento quando utilizado calcário fino.

Na Tabela 32, verifica-se a influência das interações entre sistema de cultivo x dose e granulometria x dose sobre a reatividade do calcário, na camada superficial do solo, 24 meses após a aplicação do calcário.

Tabela 32– Valores médios de V% verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, 24 meses após a aplicação do calcário.

Tratam.	Saturação por bases (V%)											
	0 a 5 cm			5 a 10 cm			10 a 20 cm			20 a 40 cm		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Cultivo</u>												
CC	<b>35 b</b>	<b>39 b</b>	<b>55 b</b>	37	<b>38 b</b>	54	35	28	42	11	12	15
SD	<b>59 a</b>	<b>79 a</b>	<b>86 a</b>	37	<b>54 a</b>	62	20	29	42	6	8	20
<u>Granulom.</u>												
Fino	<b>55 a</b>	63	74	42	48	61	28	28	37	8	10	15
Grosso	<b>40 b</b>	55	67	33	44	56	28	29	48	10	10	21
DMS		13			10			16			12	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os efeitos proporcionados pelas diferentes doses foram bastante significativos na camada superficial do solo, assim como a reatividade diferenciada verificada com aplicação de calcário fino na dose D1. O modo de incorporação do corretivo foi o fator que mais contribuiu na reatividade do calcário no solo, tornando o sistema de cultivo adotado mais determinante que os fatores granulometria e dose na camada superficial do solo, o que ficou bastante evidente na camada 0-5 cm de profundidade (Tabela 33).

Tabela 33 - Valores de V%, verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 0-5cm, 24 meses após a aplicação do calcário.

Tratamento	Saturação por bases (V%)					
	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
CC	<b>40 b</b>	<b>43 b</b>	<b>61 b</b>	<b>30 b</b>	<b>35 b</b>	<b>48 b</b>
SD	<b>69 a</b>	<b>83 a</b>	<b>87 a</b>	<b>50 a</b>	<b>75 a</b>	<b>85 a</b>

DMS= 19. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Moreira et al. (2001), em estudos com SD com diferentes tempos de cultivo (três, seis e nove anos), e quatro doses de calcário (0, 33,3, 66,7 e 100% da quantidade calculada para elevar a saturação por bases a 70%) aplicadas em superfície, não verificaram variação na V% do solo com três anos de cultivo em SD, enquanto que a da dose integral elevou a V% na camada 10-20 cm.

Caires (2000) relata que, em trabalhos realizados com calagem em superfície, verificou alterações na V% do solo até 60 cm de profundidade, e atribuiu o movimento das bases a diversos mecanismos. A formação e a migração de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  para camadas mais profundas do solo constituem uma possível explicação, tendo em vista que, no SD, a acidez superficial é diminuída por diferentes mecanismos, dentre os quais os resíduos orgânicos desempenham importante papel. Além disso, o autor explica que é possível que ocorra deslocamento mecânico das partículas de calcário através de canais formado por raízes mortas.

Na camada 5-10 cm, os efeitos proporcionados sobre a V% aos 24 meses após a aplicação do calcário, foram significativos quando utilizado calcário grosso nas doses D2 e D3 (Tabela 34). A influência do SD na reatividade do calcário grosso deve-se, provavelmente, pela maior liberação de substâncias acidificantes, como grupos carboxílicos e fenólicos oriundos da mineralização de resíduos orgânicos depositados, segundo Sá (1996), na superfície do solo no SD.

Tabela 34 - Valores de V% verificados na interação de granulometria dentro de sistema de cultivo x dose, na camada 5-10 cm, antes da semeadura do milho ano agrícola 2000/2001.

Tratamento	Saturação por bases (V%)					
	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
CC	41	45	64	33	<b>31 b</b>	<b>45 b</b>
SD	42	51	58	33	<b>58 a</b>	<b>66 a</b>

DMS= 15. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 36 meses após a aplicação do calcário, as diferenças foram diminuindo e, somente na camada 5-10 cm, verificou-se que a utilização de calcário com granulometria mais fina foi mais eficiente na elevação da V%, como pode ser observado na Tabela 35.

Tabela 35 - Valores médios de V% verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 36 meses após a aplicação do calcário.

Tratamentos	Saturação por bases (V%)							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	38	31	<b>37 A</b>	<b>30 B</b>	32	28	19	15
SD	44	41	39	41	27	23	14	14
DMS Cultivo	10		20		13		8	
DMS Granulom.	10		3		4		5	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 6.2. Solução do solo

A análise da solução do solo foi realizada aos 24 e 36 meses após aplicação do calcário, utilizando-se o método de extração de pasta de saturação. Foram avaliados índice pH, teores de potássio, cálcio, magnésio trocáveis, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm .

### 6.2.1. pH

Na Tabela 36 encontram-se os valores de pH da solução do solo verificados após 24 e 36 meses da aplicação do calcário. Assim como verificado na análise química do solo, os valores de pH foram mais elevados em SD que em CC até 10 cm, aos 24 meses da aplicação do calcário, com tendência à equivalência aos 36 meses. Nas outras profundidades, assim como na análise entre as granulometrias, não se verificaram diferenças.

Tabela 36 – Valores médios pH verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 meses após a aplicação do calcário.

Prof. (cm)	pH da solução													
	-- Sistema de Cultivo --				---- Granulometria ----				----- Dose -----					
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)	
2000/2001														
0-5	<b>5,1 B</b>	<b>5,9 A</b>	0,6	12,4	5,7	5,3	0,8	16,4	5,4	5,3	5,8	ns	9,9	
5-10	<b>5,2 B</b>	<b>5,5 A</b>	0,1	3,3	5,3	5,4	0,6	13,6	5,1	5,1	5,5	ns	14,3	
10-20	4,9	4,9	0,1	3,6	4,8	5,0	0,2	5,4	4,6	4,9	5,3	*	12,6	
20-40	4,7	4,8	0,5	13,3	4,8	4,7	0,3	8,1	4,7	5,0	4,7	ns	12,7	
2001/2002														
0-5	4,5	5,6	1,0	23,3	5,1	5,0	0,5	11,3	4,5	5,0	5,6	*	13,0	
5-10	4,5	4,6	0,4	10,8	4,5	4,5	0,5	12,2	4,4	4,5	4,6	ns	13,0	
10-20	4,2	4,0	0,3	9,4	4,1	4,2	0,1	2,1	4,1	4,1	4,2	ns	7,0	
20-40	4,1	4,1	0,4	11,4	4,1	4,1	0,1	4,6	3,9	4,2	4,1	ns	8,1	

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Na interação sistema de cultivo x granulometria (Tabela 37), os valores de pH na camada superficial do solo foram mais elevados em SD que em CC quando aplicado calcário grosso. Esta diferença também foi evidenciada na camada 10-20 cm, em que houve diferença também entre as granulometrias utilizadas, com o calcário grosso apresentando maior pH que o calcário fino no SD. No SD, o calcário com menor PRNT apresentou maior eficiência na correção da acidez ativa do solo.

Costa (2000) verificou em análise de extrato de saturação obtidos de amostras de um Latossolo Vermelho escuro álico, valores de pH mais elevados nos vinte primeiros centímetros quando o calcário foi aplicado em superfície em SD, com valores mais elevados de pH até 5 cm, 24 meses após a aplicação do calcário. De acordo com o autor, a velocidade da reação do calcário é inversamente proporcional ao pH do solo e ao tamanho da partícula do corretivo, sendo diretamente proporcional à solubilidade do material calcário utilizado. Neste sentido, é possível que os radicais liberados da reação da matéria orgânica do solo em SD tenham favorecido a reação do calcário com maior granulometria permitindo melhor eficiência na liberação de hidroxilas, que reagem com íons hidrogênio e alumínio neutralizando a acidez do solo.

Tabela 37 - Valores médios de pH verificados na solução do solo, na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 24 meses após a aplicação do calcário.

Tratamentos	pH – 2000/2001							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	5,3	<b>4,8 b</b>	5,1	5,2	<b>4,9 aA</b>	<b>4,9 bA</b>	4,9	4,6
SD	6,0	<b>5,8 a</b>	5,4	5,6	<b>4,8 aB</b>	<b>5,1 aA</b>	4,6	4,8
DMS Cultivo	0,8		0,7		0,2		0,5	
DMS Granulom.	1,1		0,9		0,3		0,5	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.2.2. Potássio

A análise do potássio na solução da pasta de saturação do solo não evidenciou diferenças aos 24 e 36 meses após a aplicação do calcário, em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 38). Os coeficientes de variação foram elevados, provavelmente influenciados pela concentração de K que ocorre próximo às plantas, o que aumenta muito a variabilidade horizontal, fazendo com que exista diferenças muito discrepantes nas amostras coletadas no campo de produção.

Tabela 38 – Valores médios K, em mg L<sup>-1</sup> verificados na solução da pasta de saturação do solo, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 meses após a aplicação do calcário.

Prof. (cm)	K (mg L <sup>-1</sup> )												
	-- Sistema de Cultivo --				---- Granulometria ----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
2000/2001													
0-5	45	58	15	33,3	50	52	55	98,7	53	44	56	ns	53,4
5-10	29	33	19	67,5	29	33	21	74,4	36	27	29	ns	78,0
10-20	18	20	13	78,3	18	19	20	97,5	13	17	25	*	64,6
20-40	9	10	5	57,5	9	9	9	99,4	10	6	13	ns	93,1
2001/2002													
0-5	55	58	38	73,4	55	58	73	99,7	56	56	58	ns	61,1
5-10	44	39	32	84,4	43	41	41	97,6	45	41	39	ns	46,0
10-20	27	31	23	88,3	26	32	24	89,7	30	25	32	ns	54,1
20-40	9	9	8	92,1	10	8	4	45,3	10	7	11	ns	56,9

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

No SD, as variabilidades horizontal e vertical de características químicas do solo tendem a ser maiores do que no CC, em virtude da manutenção das linhas de adubação dos cultivos anteriores, decorrentes do não revolvimento do solo (Anghinoni & Salet, 1998, Sclindwein & Anghinoni, 2000; Nicolodi, 2000; Alvarez & Guarçoni, 2003). Esta característica é mais acentuada para elementos que apresentam

menor mobilidade no solo, como o P e o K (Schlindwein & Anghinoni, 2000; Alvarez & Guarçoni, 2003).

A aplicação de calcário com diferentes granulometrias, nos diferentes sistemas de cultivo não diferenciaram quanto ao teor de K na solução. A quantidade aplicada, no entanto, apresentou significância na camada 10-20 cm de profundidade, evidenciando uma proporcionalidade entre a dose de calcário aplicada e o teor de potássio trocável na solução do solo.

### **6.2.3.Cálcio**

Os valores de Ca na solução do solo verificados na camada superficial do solo foram mais elevados em SD que em CC aos 24 meses após a aplicação do calcário. Já aos 36 meses, os mesmos efeitos não foram verificados nem na camada superficial do solo, nem em outra profundidade avaliada (Tabela 39).

Assim como ocorreu na análise de K trocável, os índices de coeficiente de variação foram bastante elevados, variando de 33,01 a 43,32% aos 24 meses da aplicação do calcário e 57,46 a 82,52% aos 36 meses, na análise dos sistemas de cultivo. A grande variabilidade dos resultados pode estar relacionada à concentração de corretivo em alguns pontos, devido à distribuição desuniforme que ocorre na distribuição do calcário.

Tabela 39 – Valores médios Ca, em mg L<sup>-1</sup>, verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 meses após a aplicação do calcário.

Prof. (cm)	Ca (mg L <sup>-1</sup> )												
	-- Sistema de Cultivo --				---- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
2000/2001													
0-5	<b>51 B</b>	<b>73 A</b>	21	36,6	72	71	17	26,8	69	67	80	ns	23,6
5-10	45	53	15	33,0	51	47	7	16,3	48	50	49	ns	35,3
10-20	40	42	16	43,3	41	41	5	15,5	36	48	39	ns	49,4
20-40	20	24	6	33,9	22	21	13	46,3	20	21	24	ns	49,6
2001/2002													
0-5	39	34	19	57,4	40	32	25	45,3	32	37	39	ns	41,5
5-10	54	41	28	77,8	51	44	11	26,8	49	48	46	ns	23,1
10-20	44	36	42	82,5	41	40	10	29,0	42	38	41	ns	33,0
20-40	19	18	12	71,4	21	17	8	47,9	24	14	19	ns	51,3

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear.

Na interação entre sistema de cultivo e granulometria, os valores em SD na camada superficial foram mais elevados tanto com calcário fino como com calcário grosso, conforme pode ser verificado na Tabela 40.

Tabela 40 - Valores médios de Ca, em mg L<sup>-1</sup>, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 24 meses após a aplicação do calcário.

Tratamentos	Ca (mg L <sup>-1</sup> )							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>54 b</b>	<b>51 b</b>	50	40	43	37	21	19
SD	<b>90 a</b>	<b>91 a</b>	53	54	38	45	23	24
DMS Cultivo	23		14		15		13	
DMS Granulom.	25		10		8		19	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 6.2.4. Magnésio

Assim como verificado para cálcio, verificou-se diferenças na camada superficial do solo, aos 24 meses da aplicação do calcário, com valores verificados em SD superiores àqueles observados em CC (Tabela 41), não sendo

verificado o mesmo efeito aos 36 meses após a aplicação do calcário. As variabilidade também foi muito elevada, com coeficientes de variação chegando a acima de 100% aos 36 meses após a aplicação do calcário.

Tabela 41 – Valores médios Mg , em mg L<sup>-1</sup>, verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 36 meses após a aplicação do calcário.

Mg (mg L <sup>-1</sup> )													
Prof. (cm)	-- Sistema de Cultivo --				---- Granulometria ----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
2000/2001													
0-5	<b>39 B</b>	<b>86</b>	19	33,5	64	60	13	23,6	55	57	74	*	28,7
5-10	31	<b>A</b> 42	12	36,0	38	35	7	22,4	33	37	40	ns	42,1
10-20	26	26	14	57,9	25	27	7	30,3	21	32	24	ns	61,9
20-40	8	10	6	78,1	9	9	8	97,8	8	8	10	ns	79,4
2001/2002													
0-5	28	28	17	64,7	31	26	21	82,7	23	29	34	*	47,7
5-10	40	31	34	103,1	38	33	9	28,5	34	35	37	ns	31,7
10-20	31	26	33	124,6	28	29	11	43,3	28	27	31	ns	43,4
20-40	12	9	7	76,0	12	9	8	81,3	15	6	10	ns	76,9

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Na interação entre sistema de cultivo e granulometria, houve valores mais elevados em SD que em CC na camada 0-5 cm, e valores mais elevados em CC que em SD na camada 5-10 cm de profundidade. Nesta profundidade, os efeitos da granulometria na disponibilidade de magnésio trocável também foram observados, com valores mais elevados nos tratamento com calcário fino que com calcário grosso em CC (Tabela 42).

Tabela 42 - Valores médios de Mg em mg L<sup>-1</sup>, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 24 meses após a aplicação do calcário.

Tratamentos	Mg (mg L <sup>-1</sup> )							
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>41 b</b>	<b>36 b</b>	<b>37 aA</b>	<b>26 bB</b>	28	24	9	8
SD	<b>88 a</b>	<b>84 a</b>	<b>40 aA</b>	<b>45 aA</b>	23	29	9	10
DMS Cultivo	19		11		12		8	
DMS Granulom.	19		10		10		12	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise da interação de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose também revelou diferenças na camada superficial do solo. O SD apresentou valores mais elevados que CC na camada superficial do solo nas três doses aplicadas, enquanto que o calcário fino revelou maior eficiência que o calcário grosso nesta mesma profundidade, conforme observa-se na Tabela 43.

Tabela 43– Valores médios de Mg, em gm kg<sup>-1</sup>, verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40cm, 24 meses após a aplicação do calcário.

Tratamento	Mg (mg L <sup>-1</sup> )											
	0 a 5 cm			5 a 10 cm			10 a 20 cm			20 a 40 cm		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Cultivo</u>												
CC	<b>37 b</b>	<b>39 b</b>	<b>39 b</b>	30	30	34	20	37	22	8	6	10
SD	<b>74 a</b>	<b>75 a</b>	<b>110 a</b>	36	36	47	22	28	27	7	11	11
<u>Granulom.</u>												
Fino	<b>69 a</b>	50	73	40	36	39	21	21	24	7	10	9
Grosso	<b>42 b</b>	64	75	26	37	42	21	21	25	8	7	12
DMS	23			14			15			10		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Costa (2000), em estudos com calagem superficial em SD verificou aumentos nos teores de Mg na solução da pasta de saturação do solo, em todo o perfil do solo, indicando uma movimentação para as camadas subsuperficiais do Mg oriundo da reação de hidrólise do calcário dolomítico aplicado em superfície. Os resultados confirmaram a hipótese estabelecida por Oliveira & Pavan (1996) de

formação de pares iônicos entre o bicarbonato, cálcio e magnésio facilitando o seu movimento no perfil do solo.

### 6.3. Ácidos húmicos da matéria orgânica

A análise dos ácidos húmicos da matéria orgânica foi realizada em amostras de solo retiradas 12 meses após a aplicação do calcário. Os resultados podem ser observados na Tabela 44.

Os valores de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos da matéria orgânica do solo foram bastante semelhantes entre os tratamentos em todas as profundidades avaliadas, com maior concentração de ácidos fúlvicos do que ácidos húmicos.

Tabela 44 – Valores médios ácidos húmicos e fúlvicos verificados no solo, em  $\text{g kg}^{-1}$ , nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 12 meses após a aplicação do calcário.

Prof. (cm)	-- Sistema de Cultivo --				---- Granulometria ----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
Ácidos Fúlvicos ( $\text{g kg}^{-1}$ )													
0-5	1,9	1,8	0,4	32,1	1,9	1,9	0,4	14,6	1,8	1,9	1,9	ns	9,6
5-10	2,1	2,2	0,5	26,3	2,0	2,2	0,4	19,7	2,1	2,2	2,0	ns	9,0
10-20	2,1	2,0	0,4	23,1	2,0	2,1	0,3	22,3	2,1	2,1	2,1	ns	9,7
20-40	1,9	1,8	0,4	22,7	1,9	1,9	0,4	21,5	1,8	1,9	1,9	ns	10,9
Ácidos Húmicos ( $\text{g kg}^{-1}$ )													
0-5	1,3	1,0	0,4	41,6	1,1	1,2	0,4	42,5	1,1	1,2	1,2	ns	28,1
5-10	1,2	0,9	0,5	53,8	1,1	1,1	0,2	22,7	1,0	1,1	1,0	ns	29,0
10-20	1,2	1,1	0,3	30,5	1,1	1,1	0,4	36,1	1,0	1,3	1,1	ns	30,2
20-40	0,8	0,9	0,5	70,1	0,9	0,8	0,5	62,6	0,8	0,9	0,9	ns	42,6

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Santos (1999), em estudos com calagem e gessagem em SD, verificou redução do teor de carbono no solo em função do tempo de cultivo em SD e em CC, em solo na região de Botucatu, S.P e não verificou efeito do calcário, dos sistemas de cultivo, nem do tempo de cultivo, sobre o carbono das frações húmicas da

matéria orgânica nas diferentes profundidades amostradas. No entanto, outros autores têm relatado variações nos teores de ácidos húmicos em função do cultivo. Ceretta et al. (1997), em área com seis anos de SD verificou aumento na quantidade de carbono armazenado, principalmente nas frações dos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos.

Já Kumada (1987) realizou estudos em solos de várias partes do mundo, vindos da Inglaterra, Canadá, Tailândia, Checoslováquia e Japão, e encontrou diferentes proporções de ácidos húmicos e fúlvicos na matéria orgânica do solo. O autor atribuiu tais diferenças ao processo de humificação, que é dependente de vários fatores como clima, material de origem do solo, tipo vegetação, relevo e tempo de decomposição.

Rosa et al. (2001) comparando dois tipos de determinação de ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do solo, em solo turfoso da região de Batatais, verificou maiores concentrações de ácidos húmicos do que ácidos fúlvicos, com valores de ácido húmico quase que o dobro do que ácido fúlvico.

Neto et al. (1994) ao estudarem em um Latossolo Roxo, o efeito do SD e CC na qualidade das substâncias húmicas, num experimento com 11 anos de rotação soja/trigo/milho/trigo em comparação com uma mata virgem, perceberam que houve uma oxidação mais acentuada e uma redução do grau de aromaticidade do ácido húmico (AH) nas áreas com CC em relação ao SD. Isto sugere uma maior degradação dos AH no CC. Observou-se também uma tendência ao decréscimo do grau de humificação dos AH tanto em CC, com em SD, quando comparados com a mata virgem, sendo que nos 0-5 cm de profundidade havia um maior grau de humificação dos AH que em CC.

Em solo arenoso do Rio Grande do Sul, Rheinheimer et al. (1998) observaram que o sistema semeadura direta apresentou teores mais elevados de ácidos húmicos nas camadas 0-5 e 5-10cm de profundidade e fúlvicos na camada 0 a 5 cm, comparativamente ao sistema de cultivo convencional.

## 6.4. Cobertura vegetal do solo

### 6.4.1. Matéria seca

A quantificação da massa seca da cobertura vegetal do solo foi realizada aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário, antes da semeadura do milho - anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. Os resultados encontram-se na Tabela 45.

Tabela 45 – Valores médios de massa seca da cobertura vegetal do solo, em kg.ha<sup>-1</sup>, verificados aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário.

----- Matéria seca (kg.ha <sup>-1</sup> ) -----													
Ano	--Sistema de cultivo--				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
1999	<b>1702 B</b>	<b>5521 A</b>	617	63,6	3753	3470	997	30,0	3755	3687	3393	ns	32,0
2000	8458	9187	2520	31,0	8867	8778	2046	25,2	8645	8515	9308	ns	25,8
2001	3804	3741	546	15,7	3675	3870	558	16,0	3511	3918	3885	ns	20,6

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Por não haver revolvimento do solo, a manutenção de resíduos culturais na superfície no SD promove condições distintas nas propriedades do solo em relação a sua incorporação através do CC. O não revolvimento do solo leva a uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico, tendo como consequência alterações físicas, químicas e biológicas do solo que irão repercutir na fertilidade e na produtividade das culturas (Holtz & Sá, 1995).

Aos 12 meses da aplicação do calcário, a massa vegetal em SD foi mais elevada que em CC. No entanto, as amostras do material foram coletadas dois meses após a aração realizada nas parcelas de CC. Este fator contribuiu para que houvesse maior quantidade de massa seca na superfície do solo no SD, visto que, aos 24 e 36 meses, quando não houve incorporação antes da amostragem, os valores foram semelhantes.

Geralmente, no SD ocorre maior concentração de resíduos de material vegetal na superfície do solo (Muzzili, 1983; Derpsch et al., 1991; Caires, 2000). Os restos vegetais na forma de restolho deixados na superfície do terreno protegem o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e têm efeitos importantes nas camadas superficiais, pois a evaporação é reduzida e a permeabilidade mantida, ajudando a infiltração da chuva; conseqüentemente, com plantio direto a conservação de água pode ser aumentada. Além disso, a presença de cobertura vegetal na superfície do solo auxilia na manutenção do teor de água do solo e diminui a amplitude das variações térmicas (Castro, 1989; Caires, 2000).

Aos 24 meses após a aplicação do calcário, a interação tripla entre sistema de cultivo x granulometria x dose revelou diferença entre os tratamentos, com valores de massa seca da cobertura vegetal do solo no SD mais elevados que no CC, quando aplicado o calcário fino na dose D3, conforme pode ser verificado na Tabela 46.

Tabela 46 - Valores de massa seca da cobertura vegetal, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria x dose, 24 meses após a aplicação do calcário.

Tratamento	Matéria seca (kg.ha <sup>-1</sup> )					
	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
CC	8.250	8.375	<b>8.550 b</b>	8.780	8.230	8.790
SD	8.560	8.950	<b>11.740 a</b>	8.390	9.030	9.450

DMS= 3158. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de massa seca da cobertura vegetal do solo apresentaram um declínio após 24 meses da aplicação do calcário. O SD necessita de cobertura vegetal para o seu estabelecimento e são necessários, de acordo com Derpsch et al. (1991), ao menos 6 t ha<sup>-1</sup> de massa seca de cobertura vegetal para a manutenção do sistema.

Em região de inverno seco, a manutenção de 6 t ha<sup>-1</sup> de massa seca é muito difícil devido à baixa produtividade alcançada nos meses mais frios e secos. A decomposição dos resíduos, bem como a sua manutenção é dependente de

fatores edafoclimáticos, que variam de região para região. Em estudos de persistência dos resíduos vegetais em SD, realizados em Santa Catarina por Bertol et al. (1998), houve diminuição de 80% de massa produzida com redução de 60% na cobertura. Os resíduos do milho sofreram uma diminuição em mais de 60% na massa e 40% na cobertura do solo, num período de 180 dias.

Em trabalhos realizados com adubos verdes com potencial para descompactação do solo, cultivados no inverno, em rotação com milho no verão, numa Terra Roxa Estruturada cultivada em CC e SD há 14 anos na região de Botucatu, Gonçalves (1999) verificou valores de massa seca da cobertura vegetal do solo que variaram de 2,1 t ha<sup>-1</sup> para tremoço branco (*Lupinus albus*) cultivado no CC até 5,1 t ha<sup>-1</sup> verificados para o milheto cultivado no SD. Nesta mesma unidade de solo e região, Santos (1999), verificou valores de massa seca para *Crotalaria juncea* de 11.759 kg ha<sup>-1</sup>. Entretanto, a crotalaria foi semeada no verão em época sem déficit hídrico e com calagem e adubação.

A escolha da planta que será utilizada para a formação da cobertura morta depende muito da adaptação climática da planta à região. Para a região Sudoeste do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que apresenta inverno úmido, as culturas mais utilizadas são trigo, aveia e ervilhaca. Na região Sudeste e Centro-Oeste do Brasil que apresenta inverno seco, o desenvolvimento das culturas de outono-inverno fica na dependência da condição climática (Tiritan, 2001).

#### **6.4.2. Teor de nutrientes na cobertura vegetal do solo**

A composição da cobertura vegetal é outro fator muito importante para a fertilidade do solo em SD. Vários autores têm relatado a importância da composição dos resíduos vegetais nas reações de neutralização do calcário em solos sob SD (Meda et al., 2002; Myiazawa et al., 2000, Franchini et al., 1999).

Os valores da composição de macronutrientes nos resíduos vegetais, amostrados aos 12, 24 e 36 após a aplicação do calcário, encontram-se na Tabela 47.

Tabela 47 – Teores de nutrientes na cobertura vegetal do solo, em  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , verificados aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário.

Prof. (cm)	-- Sistema de Cultivo --				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
1999/2000													
N	12,1	11,9	2,5	22,9	12,1	11,9	1,5	13,6	11,9	12,0	12,2	*	17,0
P	1,0	1,1	0,3	35,4	1,1	1,1	0,1	7,9	1,1	1,1	1,0	ns	18,5
K	8,3	6,2	3,3	49,0	7,5	6,9	1,6	23,6	7,4	7,3	6,9	ns	40,6
Ca	3,1	3,6	0,9	28,4	3,2	3,5	0,8	12,9	3,8	3,2	3,1	ns	33,6
Mg	<b>1,9 a</b>	<b>1,7 b</b>	0,1	8,6	1,9	1,7	0,2	9,6	1,9	1,9	1,7	ns	20,3
S	2,1	2,5	1,1	52,9	2,3	2,3	0,1	3,6	2,3	2,5	2,1	ns	25,3
2000/2001													
N	13,6	13,0	2,3	18,5	13,8	12,8	2,5	20,9	13,7	13,1	13,1	ns	17,6
P	1,0	0,8	0,3	32,0	0,9	0,8	0,1	18,0	1,0	0,8	0,9	ns	23,8
K	14,3	14,4	1,7	12,7	13,9	14,7	3,4	25,7	14,8	13,7	14,4	ns	28,6
Ca	3,2	3,2	0,9	30,6	3,2	3,1	0,5	15,8	3,1	3,3	3,1	ns	17,9
Mg	2,6	2,2	0,6	18,5	2,5	2,3	0,7	20,9	2,4	2,4	2,4	ns	17,6
S	1,9	1,6	0,4	23,9	1,8	1,7	0,5	14,4	1,7	1,8	1,8	ns	15,9
2001/2002													
N	11,5	10,9	2,2	21,3	11,2	11,2	1,1	10,9	11,2	10,9	11,6	ns	14,4
P	1,3	1,2	0,4	40,1	1,2	1,2	0,5	44,5	1,2	1,2	1,3	ns	30,9
K	16,8	16,9	2,9	18,6	16,6	17,1	5,4	35,1	17,4	16,1	17,1	ns	20,2
Ca	2,7	2,6	0,7	27,3	2,7	2,6	0,4	18,6	2,7	2,8	2,4	ns	25,0
Mg	2,3	2,2	0,4	27,3	2,2	2,3	0,4	18,6	2,3	2,2	2,2	ns	25,0
S	1,8	1,9	0,2	14,9	1,9	1,8	0,1	7,8	1,8	1,8	1,9	ns	24,8

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Foi constatada diferença nos teores de magnésio na comparação entre os sistemas de cultivo, aos 12 meses após a aplicação do calcário, com valores mais elevados no CC que no SD. Os efeitos das doses aplicadas foram significativos apenas para o teor de nitrogênio verificado aos 12 meses após a aplicação do calcário, onde os aumentos foram diretamente proporcionais à quantidade de calcário aplicado.

De uma maneira geral, todos os nutrientes avaliados na cobertura vegetal apresentaram teores inferiores aos verificados por Meda et al. (2002) em estudos da composição química de diferentes materiais vegetais e sua influência nas reações de neutralização da acidez do solo. No entanto, os autores utilizaram plantas em pleno florescimento e no presente trabalho a avaliação foi realizada na cobertura vegetal incluindo restos em decomposição e material com alta relação C:N. Os autores avaliaram valores de pH do material vegetal, bem como de N, P, Ca, Mg e K e verificaram grandes variações de acordo com o material analisado. O teor de N variou de 22 g kg<sup>-1</sup> em carrapicho-de-carneiro (*Achantospermum hispidum*) até 31 g kg<sup>-1</sup> na mamona (*Ricinus communis*); o teor P variou de 3 g kg<sup>-1</sup> em agriãozinho das pastagens (*Synedrellopsisgrisebachii*), cordão-de-frade (*Leonotis nepetifolia*), losna branca (*Parthenium Hysterophorus*) e mamona, até 7 g kg<sup>-1</sup> para picão branco (*Galinsoga parviflora*); o teor de K variou de 15 g kg<sup>-1</sup> para mamona até 39 g kg<sup>-1</sup> para trapoeraba (*Commelina bengalensis*); o teor de Mg variou de 4 g kg<sup>-1</sup> para losna branca até 11 g kg<sup>-1</sup> para caruru roxo (*Amaranthus hybridus*). Na análise dos extratos dos materiais, o teor de K variou de 6,77 mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup> para a mamona até 16,79 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> para caruru roxo e trapoeraba; o teor de magnésio variou de 2,26 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> para cordão-de-frade até 5,41 mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup> para caruru roxo; o teor de cálcio variou de 0,15 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> para caruru roxo até 12,44 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> para picão branco. Na soma de bases, o carrapicho de carneiro apresentou o menor valor (15,25 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), enquanto que o picão branco apresentou o maior valor 32,31mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>). Quando os extratos foram aplicados ao solo, juntamente com a calagem, verificou-se que aumentos no pH do solo até 20cm, fenômeno que não foi verificado quando aplicado o calcário isoladamente.

Na interação entre sistema de cultivo x granulometria houve diferenças significativas nos teores de Ca, Mg e S, conforme verifica-se na Tabela 48. O teores de magnésio foram mais elevados no CC que no SD quando aplicado calcário fino, que também apresentou teores mais elevados de magnésio dos resíduos

vegetais em relação ao calcário grosso. Já a aplicação de calcário grosso, favoreceu maior concentração de cálcio nos resíduos vegetais no SD e de enxofre no CC.

Tabela 48 - Valores médios de Ca, Mg e S, em (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados na cobertura do solo, 12 meses após a aplicação do calcário.

Tratamentos	(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					
	Cálcio		Magnésio		Enxofre	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	3,1 aA	3,2 aA	<b>2,1 aA</b>	<b>1,8 aB</b>	<b>2,0 aB</b>	<b>2,2 aA</b>
SD	<b>3,2 aB</b>	<b>3,9 aA</b>	<b>1,8 bA</b>	1,7 aA	2,6 aA	2,5 aA
DMS Cultivo		0,8		0,2		1,1
DMS Granulom.		0,6		0,2		0,1

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A interação entre sistemas de cultivo x dose e granulometria x dose também evidenciou alterações nos teores de cálcio e magnésio dos resíduos vegetais aos 12 meses da aplicação do calcário (Tabela 49). Entre os sistemas de cultivo, os valores de magnésio no CC foram mais elevados que no SD quando aplicada a dose D2. Na comparação entre as granulometrias, os resíduos vegetais nos tratamentos com calcário fino apresentaram maiores teores de magnésio nas doses D2 e D3, enquanto que os teores de cálcio foram mais elevados nos tratamentos com calcário grosso na dose D1.

Tabela 49– Valores médios de Ca e Mg, em (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, na cobertura vegetal do solo, 12 meses após a aplicação de calcário.

Tratamento	(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					
	Ca			Mg		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<b>Cultivo</b>						
CC	3,5	3,0	2,9	1,9	<b>2,0 a</b>	1,8
SD	4,1	3,4	3,2	1,9	<b>1,7 b</b>	1,6
<b>Granulometria</b>						
Fino	<b>3,2 b</b>	3,1	3,1	2,0	<b>2,0 a</b>	<b>1,8 a</b>
Grosso	<b>4,4 a</b>	3,2	3,0	1,9	<b>1,7 b</b>	<b>1,6 b</b>
DMS		1,0			0,2	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito do calcário grosso no teor de cálcio dos resíduos vegetais também foi verificado na interação tripla entre sistema de cultivo x granulometria x dose, aos 12 meses após a aplicação do calcário. Os valores nos tratamentos com calcário grosso apresentaram maiores teores de cálcio no SD quando aplicada a dose D1, conforme pode ser observado na Tabela 50.

Tabela 50 - Valores de cálcio, em (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), verificados na interação sistema de cultivo x granulometria x dose, na cobertura vegetal, 12 meses após a aplicação do calcário.

Tratamento	(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					
	CC			SD		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Fino	3,2	3,0	3,0	<b>3,2 b</b>	3,2	3,2
Grosso	3,7	3,0	2,7	<b>5,0 a</b>	3,5	3,2

DMS= 1,4. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação ao magnésio, a interação tripla também apresentou resultados significativos aos 12 meses após a aplicação do calcário (Tabelas 51 e 52), onde os valores de magnésio foram mais elevados no CC que no SD quando aplicado calcário fino na dose D2. Já entre as granulometrias, o calcário fino apresentou maior efeito nos teores de magnésio dos resíduos vegetais que o calcário grosso na dose D2 em CC e na dose D3 no SD.

Tabela 51 - Valores de Mg, em (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), verificados na interação sistema de cultivo x granulometria x dose, na massa seca da cobertura vegetal, amostrada 12 meses após a aplicação do calcário.

Tratamento	Mg (g kg <sup>-1</sup> )- 1999/2000					
	----- Fino -----			----- Grosso -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
CC	2,1	<b>2,2 a</b>	1,9	1,8	1,8	1,6
SD	1,9	<b>1,7 b</b>	1,8	1,9	1,6	1,5

DMS= 0,3. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 52 - Valores de Mg em (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), verificados na interação sistema de cultivo x granulometria x dose, na massa seca da cobertura vegetal, amostrada 12 meses após a aplicação do calcário.

Tratamento	Mg (g kg <sup>-1</sup> )- 1999/2000					
	----- CC -----			----- SD -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Fino	2,1	<b>2,2 a</b>	1,9	1,9	1,7	<b>1,8 a</b>
Grosso	1,8	<b>1,8 b</b>	1,6	1,9	1,6	<b>1,5 b</b>

DMS= 0,3. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de S também apresentaram diferenças na interação entre granulometria x dose. Os valores de S nos resíduos da cobertura vegetal foram mais elevados em CC que em SD, quando aplicada a dose D3 .

Na interação entre granulometria x dose, também houve diferença nos teores de K, com valores mais elevados no tratamento com calcário grosso quando comparado ao calcário fino, quando aplicada a dose D3 (Tabela 53).

Tabela 53– Teores de K e S, em (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, na cobertura do solo, 12 meses após a aplicação do calcário.

Tratamento	(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )- 2000/2001					
	K			S		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Cultivo</u>						
CC	13,2	15,2	14,4	1,8	1,9	<b>2,0 a</b>
SD	16,4	12,2	14,5	1,7	1,7	<b>1,5 b</b>
<u>Granulom.</u>						
Fino	14,6	15,2	<b>11,9 b</b>	1,8	1,8	1,7
Grosso	15,0	12,2	<b>17,0 a</b>	1,6	1,7	1,8
DMS	5,3			0,3		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A aplicação de calcário fino na dose D3 também evidenciou diferenças na interação tripla entre sistema de cultivo x granulometria x dose para potássio e enxofre. Os teores de potássio foram mais elevados quando aplicados estes tratamentos em CC que em SD (Tabela 54), e os teores de S foram mais elevados em SD que em CC, quando aplicado este mesmo tratamento (Tabela 55).

Tabela 54- Teores de K, em (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), verificados na interação tripla entre sistema de cultivo x granulometria x dose, na massa seca da cobertura vegetal, amostrada 12 meses após a aplicação do calcário.

Tratamento	K (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					
	----- CC -----			----- SD -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Fino	13,0	17,0	<b>10,7b</b>	16,2	13,5	13,0
Grosso	13,5	13,5	<b>18,0a</b>	16,5	11,0	16,0

DMS= 5,7. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 55 - Teores de S em (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), verificados na interação tripla entre sistema de cultivo x granulometria x dose, na massa seca da cobertura vegetal, amostrada 12 meses após a aplicação do calcário.

Tratamento	S (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					
	----- CC -----			----- SD -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Fino	2,0	1,9	1,9	1,6	1,7	<b>2,2 a</b>
Grosso	1,7	1,6	1,5	1,7	1,6	<b>1,4 b</b>

DMS= 2,0. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 6.5. Plantas de milho

### 6.5.1. Altura das plantas

Os valores médios da altura das plantas de milho, verificados nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 encontram-se na Tabela 56.

Nos anos agrícolas de 1999/2000 e 2000/2001, as plantas de milho cultivadas sob CC apresentaram maior altura que as cultivadas no SD. Nestes dois anos, foi verificado efeito das doses aplicadas com resultado significativo na análise de regressão linear, proporcionando maior altura para as plantas de acordo com o aumento da quantidade de corretivo. No ano agrícola 2001/2002, não houve diferenças entre os tratamentos e a análise de regressão não foi significativa em função das doses aplicadas.

Tabela 56 - Valores médios de altura das plantas de milho (cm), verificados nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Ano	- Sistema de Cultivo -				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV	Fino	Grosso	DMS	CV	D1	D2	D3	L	CV
			(%)				(%)						
----- Altura das plantas de milho (cm) -----													
1999/2000	<b>201 A</b>	<b>187 B</b>	17	8,9	189	189	6	3,3	186	186	194	*	4,71
2000/2001	<b>194 A</b>	<b>186 B</b>	16	3,2	193	187	4	2,2	186	189	194	*	3,47
2001/2002	200	192	11	5,9	195	197	11	6,0	192	199	198	ns	4,91

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Alguns resultados de pesquisa têm demonstrado diferenças entre a altura das plantas quando cultivadas em CC e SD. Estudos conduzidos por Gonçalves (1999) e Benez (1980), na região de Botucatu-S.P., comparando os dois sistemas de cultivo, evidenciaram maior altura das plantas no CC que em SD. Já Kapusta et al. (1996) verificaram o inverso, com plantas mais altas no SD que em CC.

Na interação entre sistema de cultivo x granulometria, houve diferença entre os sistemas de cultivo nos três anos agrícolas avaliados (Tabela 57). De maneira geral, no CC, as plantas foram mais altas que no SD e, com relação à granulometria, houve diferença no segundo ano avaliado, com plantas mais altas no tratamento com calcário fino em relação ao calcário grosso no CC.

Tabela 57 - Valores médios de altura das plantas, em centímetros (cm), verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamentos	Altura (cm)					
	1999/2000		2000/2001		2001/2002	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>202 a</b>	<b>201 a</b>	<b>197 aA</b>	<b>190 aB</b>	<b>205 a</b>	199
SD	<b>182 b</b>	<b>181 b</b>	<b>188 bA</b>	<b>184 aA</b>	<b>185 b</b>	196
DMS Cultivo	16		7		11	
DMS Granulom.	8		9		15	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As diferenças verificadas foram mais pronunciadas nas menores doses aplicadas, conforme pode observar-se na Tabela 58. No primeiro ano houve diferenças nas doses D1 e D2 entre os sistemas de cultivo. No segundo ano, houve comportamento diferenciado na dose D1 e D3 entre os sistemas de cultivo, sendo que na dose D1, houve diferença também entre as granulometrias.

Tabela 58– Valores médios de altura das plantas de milho (cm), verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamento	Altura (cm)								
	1999/2000			2000/2001			2001/2002		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Cultivo</u>									
CC	<b>200 a</b>	<b>199 a</b>	204	<b>192 a</b>	191	<b>198 a</b>	197	201	202
SD	<b>172 b</b>	<b>173 b</b>	185	<b>185 b</b>	188	<b>190 b</b>	186	195	194
<u>Granulom.</u>									
Fino	186	186	195	<b>190 a</b>	192	195	193	197	193
Grosso	185	187	193	<b>182 b</b>	186	193	190	199	203
DMS	15			7			15		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em trabalho conduzido por Caires et al (2002), com aplicação superficial de calcário em SD, houve aumento quadrático da altura das plantas de acordo com a dose aplicada. Em função da análise de regressão ajustada, a maior altura das plantas seria obtida com a dose 3,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário.

Segundo Benez (1980), o porte das plantas de milho sofre pequena influência do tipo de cultivo empregado, pois além do sistema de cultivo, outros fatores influenciam determinantemente no crescimento da planta. O simples fato da planta apresentar maior altura não significa necessariamente um aumento em sua produtividade.

### 6.5.2. Diâmetro do colmo

Os valores médios de diâmetro do colmo das plantas de milho verificados nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 encontram-se na Tabela 59.

Tabela 59 - Valores médios de diâmetro do colmo, em mm, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados antes da semeadura do milho.

----- Diâmetro do colmo das plantas de milho (mm) -----													
Ano	-- Sistema de Cultivo --				--- Granulometria ----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
2000	200	205	13	20,1	200	202	26	15,0	192	193	193	ns	8,7
2001	205	212	11	20,9	204	208	13	7,0	206	206	206	ns	9,6
2002	<b>215 B</b>	<b>223 A</b>	7	6,3	222	225	12	6,8	215	225	223	ns	5,7

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear.

Ao contrário do verificado para a altura das plantas, na comparação entre os sistemas de cultivo, o diâmetro das plantas apresentou uma tendência a ser mais grosso no SD que no CC. Isto permite inferir que as plantas cultivadas em SD apresentaram menor porte, porém maior diâmetro do colmo, ocorrendo o inverso no CC, onde houve plantas mais altas e finas.

Os efeitos das doses do corretivo sobre o diâmetro do colmo das plantas de milho também foram verificados na interação entre sistema de cultivo x dose (Tabela 60). Os valores verificados no ano agrícola de 2001/2002 evidenciaram diferenças entre os sistemas de cultivo quando aplicadas as doses D2 e D3. Os valores verificados foram maiores no SD que no CC.

Tabela 60– Valores médios de diâmetro do colmo das plantas de milho, em mm, verificados nas interações de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamento	diâmetro do colmo das plantas de milho (mm)								
	1999/2000			2000/2001			2001/2002		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Cultivo</u>									
CC	200	200	200	200	200	200	202	<b>206 b</b>	<b>208 b</b>
SD	175	187	187	212	212	212	220	<b>232 a</b>	<b>235 a</b>
<u>Granulom.</u>									
Fino	187	187	187	200	212	200	209	220	229
Grosso	187	200	200	212	200	212	203	214	213
DMS		33			35			11	
CV (%)		28,3			25,4			14,8	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao estudar o comportamento das plantas de milho sob CC e SD, Gonçalves (1999) não verificaram diferenças entre o diâmetro do colmo das plantas cultivadas em uma Terra Roxa Estruturada há 14 anos sob CC e SD.

### 6.5.3. Matéria seca da parte aérea

Os resultados da quantidade de massa seca produzida pela parte aérea das plantas de milho encontram-se na Tabela 61. Nos três anos avaliados, não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, o mesmo ocorrendo na análise de regressão das doses aplicadas.

Tabela 61 - Valores médios de matéria seca da parte aérea das plantas de milho (g planta<sup>-1</sup>) verificados nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Ano	Matéria seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )												
	-- Sistema de Cultivo --				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV	Fino	Grosso	DMS	CV	D1	D2	D3	L	CV
			(%)				(%)						(%)
1999	73	60	19	31,2	69	64	15	24,6	66	62	72	ns	15,7
2000	89	94	9	11,3	89	94	6	7,8	97	86	91	ns	15,7
2001	101	86	16	18,7	99	88	19	22,5	90	102	90	ns	20,0

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear.

Resultados semelhantes obtiveram Caires et al. (2002) em estudos de calagem superficial em SD, em que não se verificou diferenças significativas na produção de matéria seca, avaliada no início do florescimento da cultura. Gonçalves (1999) também não verificou diferenças entre os sistemas de preparo do solo e a produção de matéria seca da parte aérea na comparação entre SD e CC, em uma Terra Roxa Estruturada cultivada há vários anos com estes sistemas de cultivo.

Na interação entre sistema de preparo x granulometria (Tabela 62), houve diferença entre os sistemas de cultivo nos três anos avaliados.

No anos agrícolas 1999/2000 o valor de massa seca da parte aérea foi mais elevado no CC que no SD, quando aplicado o calcário fino, o mesmo ocorrendo em 2001/2002, quando aplicado calcário grosso.

No no ano agrícola de 2000/2001, os valores verificados no SD foram mais elevados que no CC, quando aplicado o calcário grosso, e dentro do tratamento SD, o corretivo com granulometria mais grosseira apresentou melhor efeito que o calcário fino na produção de massa seca das plantas de milho, não diferindo no CC, aos 24 meses após a aplicação do calcário.

Tabela 62 - Valores médios de massa seca da parte aérea das plantas de milho, em g planta<sup>-1</sup>, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, determinados nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamentos	massa seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )					
	1999/2000		2000/2001		2001/2002	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>80 a</b>	68	<b>90 aA</b>	<b>88 bA</b>	102	<b>101 a</b>
SD	<b>60 b</b>	61	<b>88 aB</b>	<b>101 aA</b>	97	<b>76 b</b>
DMS Sistema de cultivo	12		6		13	
DMS Granulom.	14		6		18	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 6.5.4. Teores de macronutrientes nas folhas

Os teores foliares das plantas de milho determinados nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002, encontram-se na Tabela 63.

Tabela 63 - Valores médios do teor de nutrientes das folhas de milho, em g kg<sup>-1</sup>, verificados nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

	Nutrientes das folhas de milho (em g kg <sup>-1</sup> )												
	-- Sistema de Cultivo --				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
<b>1999/2000</b>													
N	22,66	22,38	2,56	12,3	23,50	21,50	2,13	10,3	22,15	22,92	22,50	ns	6,6
P	2,16	1,93	0,77	40,9	2,18	1,91	0,42	22,3	2,05	2,17	1,92	ns	19,7
K	15,94	15,15	2,95	20,6	15,51	15,58	1,42	9,9	15,61	15,44	15,58	ns	9,9
Ca	4,40	4,38	0,77	19,2	4,58	4,20	0,76	18,7	4,34	4,39	4,45	ns	17,8
Mg	1,91	1,91	0,61	34,5	1,87	1,95	0,11	6,5	1,87	1,86	1,99	ns	17,1
S	1,73	1,62	0,24	15,7	1,74	1,61	0,44	28,6	1,75	1,66	1,62	ns	15,2
<b>2000/2001</b>													
N	30,37	31,50	31,12	10,9	31,37	30,50	1,11	3,9	31,31	30,68	30,81	ns	6,3
P	2,91	2,92	0,25	9,1	<b>2,95a</b>	<b>2,87b</b>	0,06	2,1	2,94	2,90	2,91	ns	7,1
K	21,29	22,41	1,34	6,6	21,95	21,75	1,06	5,3	22,25	21,87	21,43	*	4,9
Ca	2,70	2,45	0,41	17,1	2,62	2,53	0,24	10,3	2,54	2,53	2,65	ns	9,5
Mg	<b>1,55a</b>	<b>1,42b</b>	0,11	10,2	1,51	1,50	0,16	14,9	1,41	1,49	1,56	*	11,2
S	1,90	1,92	0,30	16,9	1,95	1,88	0,16	8,9	1,94	1,91	1,91	ns	7,4
<b>2001/2002</b>													
N	23,00	25,38	4,97	14,3	24,05	24,33	3,39	9,7	23,41	23,83	25,33	*	7,5
P	<b>1,75b</b>	<b>2,18a</b>	0,18	6,4	2,01	1,92	0,11	3,8	2,12	1,99	1,78	ns	21,4
K	18,44	20,94	4,61	16,3	19,38	20,00	3,45	12,2	20,58	20,08	18,41	ns	15,9
Ca	2,77	2,94	1,80	43,9	2,77	2,94	0,86	21,0	2,75	3,16	2,66	ns	20,8
Mg	1,91	1,76	0,40	15,4	1,87	1,79	0,85	32,3	1,75	1,99	1,76	ns	23,5
S	1,61	1,90	0,35	13,7	1,77	1,75	0,18	7,1	1,83	1,78	1,68	ns	16,2

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear.

No ano agrícola 1999/2000, não foram verificadas diferenças entre os teores foliares de macronutrientes das plantas cultivadas sob os diferentes tratamentos. Os teores de nitrogênio e potássio ficaram abaixo do considerado adequados para a cultura, enquanto que as concentrações foliares dos demais macronutrientes ficaram numa faixa considerada adequada, segundo valores relatados por Büll, 1993; Malavolta, 1980 e Fancelli & Dourado Neto, 2000.

O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas (Coelho & França, 1995). Ao estudar a influência do SD, comparado ao CC, sobre a fertilidade da camada arável do solo, Muzilli (1983) verificou que, em termos de quantidade os valores de N eram similares nos dois sistemas de cultivo, mas em termos de qualidade, os efeitos eram bastante diferenciados. Deficiências de N foram visivelmente mais acentuadas nas culturas de milho e de trigo em SD e a análise foliar periódica comprovou teores de N significativamente inferiores neste sistema de cultivo. O autor atribuiu o fato à maior lixiviação de nitratos, já que a não movimentação do solo nesse sistema evita a quebra de capilaridade; por outro lado, no solo sob SD, a taxa de evaporação da água é menor, levando a uma menor taxa de movimentação dos nitratos no sentido ascendente. Além disso, haveria maior taxa de mineralização da matéria orgânica em CC, a favorecer maior disponibilidade de N em comparação ao SD.

Pires et al. (2003) ao avaliarem a alteração de atributos químicos do solo e o estado nutricional e as características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em SD, não verificaram diferenças nos teores foliares de macronutrientes e relacionaram estes resultados com os baixos teores de alumínio trocável no solo e à boa condição de fertilidade da área experimental.

De acordo com a hipótese proposta por Sá (1998b), como uma parte do N aplicado em cobertura é imobilizada junto ao carbono pelos microorganismos e não aproveitado pela planta, a aplicação antecipada do N poderia minimizar as perdas verificadas no SD, já que o N que ficaria nos resíduos remanescentes e geraria uma utilização uniforme pela biomassa, o que resultaria num fluxo contínuo do nutriente para o milho em todas as suas fases de desenvolvimento. Isto diminuiria a imobilização pela biomassa e também as perdas por lixiviação e volatilização, principalmente quando o adubo utilizado for uréia.

No ano agrícola 2000/2001, as plantas cultivadas sob tratamentos com calcário fino apresentaram maior teor foliar de fósforo em relação às cultivadas sob tratamento com calcário grosso e o teor foliar de magnésio das plantas cultivadas em CC foi mais elevado que das cultivadas em SD.

O teor de Mg no tecido foliar aumentou com a dose de calcário aplicada, ocorrendo o inverso com relação ao potássio, que apresentou decréscimo do teor foliar com o aumento da dose de corretivo aplicada, conforme revelou os resultados da análise de regressão linear para estes dois elementos. Andreotti et al. (2000), ao comparar o comportamento de plantas de milho em três tipos de solo com saturação por bases elevadas a 40 e 70% e com aplicação de quatro doses de potássio, verificaram decréscimo no teor de K nas folhas, na saturação por bases 70%, e atribuíram o fato à maior concentração de Ca, e principalmente Mg nesta saturação. De acordo com Fonseca & Meurer (1997), este efeito se deve à competição pelos sítios de troca que ocorre com maior intensidade entre o K e o Mg devido à similaridade de seus raios iônicos e potencial eletroquímico de absorção. Caires et al. (2002) ao avaliar o efeito da calagem superficial sobre o crescimento radicular e nutrição do milho obtiveram resultados semelhantes, com diminuição da concentração de K e aumento da concentração de Mg. Os autores verificaram na soma de bases presentes nas folhas, 54% de K, 30% de Ca e 16 % de Mg, na

ausência de calagem; e 36% de K, 34% Ca e 30% Mg, com a utilização da maior dose de calcário.

No terceiro ano avaliado, os níveis de K, Ca, Mg e S ficaram numa faixa considerada adequada para a cultura, enquanto que o teor de N ficou abaixo do considerado adequado. Com relação ao P, houve diferenças entre os sistemas de cultivo, onde o SD apresentou níveis superiores aos verificados para o CC. No SD os níveis ficaram numa faixa considerada adequada, mas no CC, o níveis de P ficaram abaixo do considerado adequado. Com relação às doses aplicadas, somente o N apresentou incrementos nos teores foliares das plantas com o aumento da quantidade de calcário aplicado.

Moreira et al. (2001), verificaram em solo há seis anos sob SD, que a incorporação de calcário resultou em maior teor de Mg nas folhas e que as correlações lineares entre os teores de nutrientes nas folhas e no solo foram baixas e geralmente não significativas. Centurion (1988) apud Moreira et al (2001) observou teores de N semelhantes em plantas de milho sob CC e SD, mas encontrou maiores teores foliares de P em plantas cultivadas em SD que em CC. Já Tiritan (2001), não verificou diferenças significativas nos teores de N, P, Ca e Mg das folhas, mas observou diferenças entre os níveis de potássio no primeiro ano de implantação de SD em região de inverno seco e o teor de N ficou abaixo do considerado adequado nos dois anos de cultivo. Resultado semelhante obteve Santos (1999), que não verificou diferenças entre os teores de macronutrientes no tecido foliar do milho, com exceção do N, que apresentou maiores teores no CC que em SD, mas nos dois sistemas de cultivo os níveis de N e K ficaram abaixo do considerado adequado para a cultura.

Caires et al. (2003) verificaram que os teores de nutrientes nas folhas de soja cultivadas em SD foram pouco influenciadas pela calagem, independente do modo de aplicação, e se mantiveram sempre em níveis considerados adequados para a cultura em experimentos com calagem e gesso aplicados na implantação do SD.

Os autores verificaram mesmo nível de P e Mg quando aplicado somente calcário, mas houve aumentos nos teores de P e redução nos teores de Mg na folhas de soja, linear e consistente, nos três anos de cultivo, conforme as doses de gesso aplicadas.

No ano agrícola 1999/2000, na interação entre sistema de cultivo x dose, verificou-se nas plantas cultivadas em SD, teores foliares de magnésio mais elevados nos tratamentos com calcário grosso que com calcário fino. Nesta mesma interação, no ano agrícola de 2000/2001 (Tabela 64), os teores foliares de cálcio e magnésio foram mais elevados em CC que em SD, quando aplicado o calcário fino. Os teores de potássio apresentaram comportamento inverso, com valores mais elevados em SD que em CC quando aplicado o calcário fino. Já os teores foliares de P foram mais elevados nas plantas cultivadas nos tratamentos com calcário fino que com calcário grosso no CC.

Tabela 64- Valores de P, K, Ca e Mg, em g kg<sup>-1</sup>, verificados na interação entre sistema de cultivo x granulometria, nas plantas de milho cultivadas no ano agrícola de 2000/2001

Tratamento	g kg <sup>-1</sup>							
	P		K		Ca		Mg	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>2,97A</b>	<b>2,85 B</b>	<b>21,00 b</b>	21,58	<b>2,87 a</b>	2,54	<b>1,56 a</b>	1,52
SD	2,94	2,90	<b>22,91 a</b>	21,91	<b>2,36 b</b>	2,53	<b>1,40 b</b>	1,43
DMS Sistema de cultivo	0,25		1,32		0,38		0,15	
DMS Granulom.	0,08		1,51		0,34		0,23	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No ano agrícola de 2001/2002, houve diferença na interação entre sistema de cultivo x granulometria para fósforo, potássio e enxofre (Tabela 65). Os teores foliares de P foram mais elevados no SD que no CC e os tratamentos com calcário fino proporcionaram maior teor foliar de P que o calcário grosso. Os teores foliares de K e S foram mais elevados no SD quando aplicado o calcário fino, e este apresentou maior efeito no teor foliar de S que o calcário grosso no SD.

Tabela 65 – Teores de P, K e S, em g kg<sup>-1</sup>, verificados na interação entre sistema de cultivo x granulometria, nas plantas de milho cultivadas no ano agrícola de 2000/2001.

Tratamentos	P		K		S	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>1,67 b</b>	<b>1,82 b</b>	<b>17,00 b</b>	19,88	<b>1,51 bA</b>	1,72 aA
SD	<b>2,34 aA</b>	<b>2,02 aB</b>	<b>21,77 a</b>	20,11	<b>2,03 aA</b>	<b>1,77 aB</b>
DMS Sistema de cultivo	0,15		3,71		0,29	
DMS Granulom.	0,15		4,87		0,25	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores foliares de Mg na interação entre sistema de cultivo x dose, determinados nas plantas cultivadas no ano agrícola de 2000/2001 apresentaram diferenças significativas. Na dose D2, os teores foliares foram mais elevados no CC que no SD. No ano agrícola de 2001/2002, foram verificados teores foliares de P mais elevados no SD que no CC nas três doses aplicadas. Já os teores de S foram mais elevados no SD, quando aplicada a dose D3 (Tabela 66).

Tabela 66 – Teores de P e S, em g. kg<sup>-1</sup>, verificados na interação entre sistema de cultivo x dose, nas plantas cultivadas no ano agrícola de 2002/2003.

Tratamento	g. kg <sup>-1</sup>					
	P			S		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Sistema de cultivo</u>						
CC	<b>1,91 b</b>	<b>1,88 b</b>	<b>1,45 b</b>	1,68	1,70	<b>1,47 b</b>
SD	<b>2,33 a</b>	<b>2,10 a</b>	<b>2,11 a</b>	1,96	1,86	<b>1,89 a</b>
<u>Granulometria</u>						
Fino	2,15	2,03	1,85	1,81	1,72	1,65
Grosso	2,10	1,95	1,71	1,83	1,85	1,70
DMS	0,19			0,35		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Embora os resultados das análises estatísticas não demonstrassem diferenças entre os sistemas de cultivo, diversos autores têm relatado maior disponibilidade de P no SD. De acordo com Wiethölter et al. (1998), a

existência de uma relação entre o teor de P e de K no solo e o rendimento das plantas é a razão básica da análise de solo. No entanto, essa relação nem sempre é satisfatória, pois os fatores analisados como P lábil e K trocável, ou frações destes parâmetros, descrevem apenas uma parte do processo de transporte de P e de K da fase sólida para a solução do solo e desta para a superfície da raiz. Nos últimos anos tem sido dada atenção à fração orgânica do P no solo, que pode constituir de 20 a 60% do P total do solo, e tem uma grande importância, principalmente, no SD.

### 6.5.5. Estande

Os resultados estimados de número de plantas por hectare (estande) verificados nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 encontram-se na Tabela 67. Nos três anos avaliados não foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre as médias dos tratamentos, mas a análise de regressão linear para dose foi significativa nos dois últimos anos com aumento do estande de acordo com o incremento da dose de calcário.

Tabela 67 – Número estimado de plantas de milho por hectare verificado nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Número estimado de plantas por hectare (planta ha <sup>-1</sup> )													
Ano	-- Sistema de Cultivo --				--- Granulometria ----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
2000	52387	50738	4487	9,3	51379	51746	10146	21,20	55069	49638	49982	ns	12,0
2001	46487	49826	9406	21,4	48799	46514	4397	10,05	45266	46592	50611	*	14,0
2002	52181	52209	14927	19,7	51677	52713	3532	4,67	50854	51793	53939	*	9,3

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Na interação entre sistema de cultivo e granulometria, constatou-se maior estande nos tratamentos com calcário grosso que com calcário fino no SD, no ano agrícola de 2001/2002, conforme verifica-se na Tabela 68.

Tabela 68 – Valores médios de número de plantas de milho por hectare, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamentos	plantas ha <sup>-1</sup>					
	1999/2000		2000/2001		2001/2002	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	53349	51424	51984	47669	53694	50668
SD	49408	52066	46615	45360	<b>49660 B</b>	<b>54758 A</b>
DMS Sistema de cultivo	7899		6436		5845	
DMS Granulom.	5844		5655		4541	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios de estande verificados nas interações entre sistema de cultivo x dose e granulometria x dose nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 encontram-se na Tabela 69.

Tabela 69 – Valores médios de número de plantas de milho por hectare verificados na interação de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamento	plantas ha <sup>-1</sup>								
	1999/2000			2000/2001			2001/2002		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Sistema de cultivo</u>									
CC	56237	50600	50324	48551	48256	52670	51768	51941	52835
SD	53899	48675	49637	39983	44928	48551	49938	51645	55044
<u>Granulometria</u>									
Fino	55962	46887	51287	43705	<b>52376 a</b>	50315	51872	50187	52972
Grosso	54175	52387	48675	44828	<b>45809 b</b>	50905	49835	53398	54906
DMS	3019			6096			8788		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entremédias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.5.6. Índice de espiga

Foi avaliado o número de espigas por planta de milho (índice de espiga) nos anos agrícolas 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. Os resultados obtidos não revelaram diferenças estatísticas entre os tratamentos, conforme observa-se na Tabela 70.

Tabela 70 – Número médio de espigas por planta verificado em plantas de milho cultivadas nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Índice de espiga (espiga planta <sup>-1</sup> )													
Ano	-- Sistema de Cultivo --				--- Granulometria ----				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
1999	0,99	0,98	0,05	5,45	0,98	0,99	0,03	3,86	0,99	0,99	0,99	ns	5,95
2000	1,13	1,32	0,93	82,30	1,20	1,25	0,32	18,38	1,16	1,21	1,30	ns	18,08
2001	1,24	1,22	0,49	27,61	1,19	1,26	0,40	22,70	1,21	1,23	1,24	ns	15,89

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Na interação entre sistema de cultivo x granulometria, no ano agrícola de 2000/2001, o índice de espiga foi maior em SD que em CC, quando aplicado calcário grosso (Tabela 71).

Tabela 71 - Valores médios de número de espigas por planta de milho, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamentos	Índice de espiga (espiga planta <sup>-1</sup> )					
	1999/2000		2000/2001		2001/2002	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	1,00	0,99	1,17	<b>1,09 b</b>	1,26	1,25
SD	0,97	0,98	1,24	<b>1,31 a</b>	1,19	1,28
DMS Sistema de cultivo	0,05		0,21		0,31	
DMS Granulom.	0,05		0,35		0,47	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O calcário grosso apresentou maior efeito residual em SD que o calcário fino e este efeito foi representativo no desdobramento de granulometria dentro

de sistema de cultivo x dose, em que houve maior número de espigas por planta quando aplicado calcário grosso na dose D1 (Tabela 72).

Tabela 72 - Valores médios de número de espigas por planta de milho, verificados no desdobramento de granulometria dentro da interação de sistema de cultivo x dose, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamento	Índice de espiga (espiga planta <sup>-1</sup> )					
	----- CC -----			----- SD -----		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Fino	1,00	0,99	1,00	<b>0,90 b</b>	1,02	1,00
Grosso	1,03	0,99	0,97	<b>1,02 a</b>	0,95	0,98

DMS= 0,08. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Gonçalves (1999), ao comparar o SD com o CC, sobre o índice de espiga de milho não verificou diferenças entre os dois sistemas de cultivo, nem na massa de 100 grãos produzidos pela planta.

### 6.5.7. Massa de 100 grãos

Os valores médios de massa de 100 grãos de milho, determinados nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 encontram-se na Tabela 73.

Tabela 73 – Valores médios da massa de 100 grãos (g) produzidos pelas plantas de milho cultivadas nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Ano agr.	massa de 100 grãos (g)												
	-- Sistema de Cultivo --				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
1999/2000	32,4	31,0	2,6	8,8	31,6	31,8	2,5	8,6	31,7	31,4	32,0	ns	6,7
2000/2001	28,9	27,6	7,0	27,2	28,3	28,1	4,1	15,8	28,0	27,6	29,1	ns	13,3
2001/2002	32,7	33,2	5,8	12,4	32,9	33,0	2,3	4,9	33,0	32,9	33,0	ns	12,4

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Nos três anos avaliados, a massa de 100 grãos de milho não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. Resultados semelhantes verificou Tiritan (2001) ao avaliar a influência do calcário incorporado e sem incorporação em área de SD com milho rotacionado com aveia. O autor não verificou diferenças estatísticas entre os tratamentos, mas observou alta significância na quantidade de calcário aplicado e na massa dos grãos produzida. Já Santos (1999), em estudos com calcário, gesso e vinhaça aplicados a uma Terra Roxa Estruturada, na região de Botucatu, verificou maior massa dos grãos de milho quando cultivado em CC que em SD.

Na interação entre sistema de cultivo x granulometria, no ano agrícola de 1999/2000, os grãos das plantas cultivadas em CC com calcário fino apresentaram maior massa que os grãos das plantas cultivadas no SD com este corretivo (Tabela 74).

Tabela 74 - Valores médios de massa de 100 grãos, em gramas, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamentos	massa de 100 grãos					
	1999/2000		2000/2001		2001/2002	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>33,2 a</b>	31,5	30,2	27,6	32,9	32,5
SD	<b>30,0 b</b>	32,0	26,5	28,7	33,1	33,2
DMS Sistema de cultivo	2,8		6,6		4,7	
DMS Granulom.	3,7		5,8		3,2	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As interações entre sistema de cultivo x dose e granulometria x dose não apresentaram diferenças entre as massas dos grãos nos três anos avaliados (Tabela 75).

Tabela 75 - Valores médios de massa de 100 grãos, em gramas, determinados nas interações entre de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamento	massa de 100 grãos (g)								
	1999/2000			2000/2001			2001/2002		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Sistema de cultivo</u>									
CC	32,43	31,85	32,82	28,93	27,74	30,07	33,98	31,20	32,99
SD	30,91	31,10	31,17	27,16	27,54	28,10	31,96	33,54	32,98
<u>Granulometria</u>									
Fino	32,04	31,31	31,61	28,33	27,45	29,30	32,29	34,20	32,48
Grosso	31,30	31,63	32,38	27,76	27,83	28,87	33,64	31,56	33,50
DMS	3,40			8,08			5,71		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.5.8. Produtividade

A produtividade das culturas apresentou diferenças entre os sistemas de cultivo e entre as granulometrias, bem como significância na análise de regressão linear de dose, conforme verifica-se na Tabela 76.

No ano agrícola de 1999/2000, o CC apresentou maior produção de grãos em relação ao SD, com equivalência no segundo ano e terceiro anos. Em muitos casos, a adequação ao SD pode acarretar a uma queda de produtividade, atingindo a longo prazo produtividades mais elevadas. Dick et al. (1991) em experimentos com SD e CC há 21 anos verificaram que as produções da cultura do milho em SD foram menores nos primeiros anos de cultivo em relação ao CC, aumentando seu potencial a partir do terceiro ano de implantação do sistema.

A acidez não corrigida nas parcelas com menor dose de calcário podem ter influenciado na produtividade da cultura. As limitações à produtividade agrícola causada pela acidez do solo tem sido relatada em pesquisas por vários autores (Ritchey et al., 1982; Caires, 2000), por outro lado alguns autores têm

relatado altas produtividades das culturas mesmo em solos ácidos quando cultivadas sob SD (Caires et al.,1998; Caires, 2000, Pöttker & Ben, 1998).

Tabela 76 – Valores médios de produtividade, kg ha<sup>-1</sup>, da cultura do milho nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Ano	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )												
	-- Sistema de Cultivo --				--- Granulometria ---				----- Dose -----				
	CC	SD	DMS	CV (%)	Fino	Grosso	DMS	CV (%)	D1	D2	D3	L	CV (%)
1999	<b>6572 A</b>	<b>4245 B</b>	1387	27,9	5348	5468	695	13,9	5182	5756	5287	ns	18,8
2000	5370	4316	1071	24,0	4816	4870	463	10,4	4645	4803	5082	*	9,7
2001	6454	6828	523	38,6	6686	6596	521	8,5	6016	6656	7251	*	14,1

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* - indica análise de regressão linear significativa.

ns - indica resultado não significativo na análise de regressão linear (L).

Nos anos agrícolas de 2000/2001 e 2001/2002, a análise de regressão linear de dose foi significativa, indicando que o aumento da quantidade de calcário aplicada promoveu incrementos na produtividade da cultura. Os efeitos benéficos da aplicação de calcário tem sido relatado por vários autores (Caires, 1999, 2000; Tiritan, 2001; Santos, 1999). Uma das causas do aumento da produtividade se deve ao aumento do pH e dos teores de cálcio e magnésio, que favorecem o crescimento radicular e permitiram melhor absorção dos nutrientes do solo, além de diminuir os efeitos tóxicos de elementos como o alumínio e o manganês, promoveram melhor desenvolvimento e produção de grãos pelas plantas.

Tabela 77 - Valores médios de produtividade da cultura do milho, em kg ha<sup>-1</sup>, verificados na interação de sistema de cultivo x granulometria, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamentos	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )					
	1999/2000		2000/2002		2001/2002	
	Fino	Grosso	Fino	Grosso	Fino	Grosso
CC	<b>6.739 a</b>	<b>6.405 a</b>	<b>5.371 a</b>	5.370	6.552	6.356
SD	<b>4.258 b</b>	<b>4.531 b</b>	<b>4.261 b</b>	4.370	6.820	6.836
DMS Sistema de cultivo	1.354		1.018		2.415	
DMS Granulom.	982		655		737	

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa na linha e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa na coluna, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 78 - Valores médios de produtividade das plantas de milho, em kg ha<sup>-1</sup>, verificados nas interações entre de sistema de cultivo x dose e granulometria x dose, nos anos agrícolas de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002.

Tratamento	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )								
	1999/2000			2000/2001			2001/2002		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
<u>Sistema de cultivo</u>									
CC	<b>5690 a</b>	<b>6972 a</b>	<b>6225 a</b>	<b>5305 a</b>	5240	5566	5968	6449	6945
SD	<b>4075 b</b>	<b>4310 b</b>	<b>4350 b</b>	<b>4056 b</b>	4365	4598	6064	6864	7557
<u>Granulometria</u>									
Fino	5278	5498	5268	4478	4911	5061	6035	6512	7511
Grosso	5086	6013	5306	4812	4695	5103	5997	6800	6991
DMS	1558			1247			2957		

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre médias significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dentro do sistema de rotação de culturas em plantio direto deve ser considerada a interferência de uma cultura sobre a outra. Trabalhos realizados em Rio-Verde, GO, por seis anos consecutivos, demonstraram que as maiores produtividades de milho ocorreram, em ordem decrescente, sobre as palhadas de algodão, girassol, guandu e nabo forrageiro, enquanto que para a cultura da soja as maiores respostas foram sobre as palhadas de milho, seguido de aveia, sorgo e milheto (Ferreira, 1997).

Azooz et al. (1995) não encontraram diferenças significativas na matéria seca, índice de área foliar e produtividade das plantas de milho sob cultivo convencional e plantio direto, ao estudarem o efeito de sistemas de cultivo e manejo de resíduos no desenvolvimento do milho na região Centro-Oeste dos Estados Unidos.

Já Kapusta et al. (1996), ao estudarem a produção da cultura do milho após vinte anos de cultivo convencional e plantio direto, verificaram que a população final de plantas foi menor no plantio direto que no preparo convencional, sendo que, mesmo com menor população de plantas no plantio direto, não houve diferenças de produção entre os sistemas de cultivo.

Derpsch et al. (1991) relatam resultados experimentais obtidos no Paraná, onde em média de diferentes localidades o sistema de plantio direto

proporcionou aumentos no rendimento de grãos de 19% para a soja, 8% para o trigo e 4% para o feijão, não havendo diferenças significativas para a cultura do milho, quando comparado ao sistema de preparo convencional.

Em trabalho efetuado por Moraes e Benez (1996), em solo Terra Roxa Estruturada, a produção dos grãos de milho também não apresentou diferenças significativas entre preparo convencional e plantio direto após um ano de safra agrícola. Resultados semelhantes encontraram Muzzili et al. (1983) ao estudar o comportamento e as possibilidades da cultura do milho em plantio direto no estado do Paraná. Em quatro safras consecutivas, os rendimentos de milho em plantio direto e preparo convencional foram similares, não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos.

## 7 – CONCLUSÕES

A aplicação de calcário em superfície para a implantação do sistema de semeadura direta em região de inverno seco, utilizando doses recomendadas pelo método de saturação por bases, não foi suficiente para a obtenção de altas produtividades de milho e para a manutenção deste sistema.

Após um ou dois anos da aplicação de calcário em superfície no sistema de semeadura direta, em área não corrigida antes da implantação do sistema, torna-se necessário a reaplicação do corretivo visando atingir valores de saturação por bases favoráveis para o desenvolvimento da cultura do milho.

O calcário aplicado em superfície em sistema de semeadura direta apresentou baixa mobilidade no perfil do solo, com maior concentração de cálcio e magnésio nas camadas 0-5 e 5-10 cm de profundidade e níveis baixos destes nutrientes nas camadas abaixo de 10 cm.

O calcário com granulometria mais fina apresentou melhor eficiência na correção da acidez do solo que aquele com granulometria mais grosseira, tanto em sistema de cultivo convencional como em sistema de semeadura direta; já o calcário com granulometria mais grosseira apresentou maior eficiência em sistema de semeadura direta que em sistema de cultivo convencional.

Embora não tenha havido diferenças nos teores de ácidos húmicos e fúlvicos do solo entre os tratamentos aplicados, a metodologia de determinação dos ácidos húmicos e fúlvicos empregada mostrou-se adequada para as condições brasileiras.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J.C. Características dos corretivos da acidez do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NA AGRICULTURA, 1. Ipanema: Fundação Cargill, p.1-19, 1986.
- ALCARDE, J.C.; PAULINO, V.T. & DERNARDIN, J.S. Avaliação da reatividade de corretivos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.13, p.387-92, 1989.
- ALVAREZ, V.H., GUARÇONI, A.M. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p. 297-310, 2003.
- AMARAL, A.S. et. al. Os resíduos vegetais deixados na superfície do solo no sistema plantio direto podem alterar a acidez do solo e influenciar no comportamento do herbicida?. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999. *Resumos...* Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.
- AMARAL, A.S., ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. *Pesq. agropec. bras.* v.36, n.4, 2001.
- ANDREOTTI, M., SOUZA, E.C.A., CRUSCIOL, C.A., RODRIGUES, J.D., BÜLL, L.T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. *Pesq. agropec. bras.*, v.35, n.12, p.2437-46, 2000.
- ANGHINONI, I., SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: Nuernberg, N.J. *Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto*. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 1998. p. 27-52.

- AOYAMA, M. Use of high performance size exclusion chromatography to monitor the dynamics of water soluble organic substances during the decomposition of plant residues in soil. *Soil Sci. Pl. Nutr.*, v.42, p. 31-40, 1996.
- ARSHAD, M.A., SCHNITZER, M., ANGERS, D.A., RIPMEESTER, J.A. Effects of till vs no-till on the quality of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, v. 22, p.595-99, 1990.
- ASSIS, J.S., SANTIAGO, A.D., ROSOLEM, C.A. Sistema radicular do milho em função da calagem, adubação fosfatada e cultivares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993. *Resumos...Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v.3, 1993. p.45. 3v.
- AZOOZ, R.H., LOWERY, B., DANIEL, T.C. Tillage and residue management influence on corn growth. *Soil and Tillage Research*, v. 33, p. 215-27, 1995.
- BARROS, U.V.; FIGUEIREDO, J.P.; SANTINATO, R. e SILVA, O.A. Estudo comparativo do calcário dolomítico e do calcário calcinado no plantio do cafeeiro em solo Lva cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, p. 105-6, 1985.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. (Eds) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 09-26.
- BEN, J.R., PÖTTKER, D., FONTANELI, R.S., WIETHÖELTER, S., Calagem e adubação de campos naturais cultivados no sistema plantio direto. In: Nuernberg, N.J. *Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto*. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo- Núcleo Regional Sul, 1998. p.93-110.
- BENEZ, S.H. *Efeito dos tipos de preparo de solo, cultivos e calagem na cultura do milho (Zea mays L.)*. Botucatu, 1980. 130p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

- BERTOL, I., CIPRANDI, O., KURTZ, C., BAPTISTA, A.S. Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 22, n.4, p.705-12, 1998.
- BLEVINS, R.L., MURDOCK, L.W., THOMAS, G.W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. *Agronomy Journal*, v.70, p.322-6, 1978.
- BORGES, G.O. Sustentabilidade agrícola e o sistema de plantio direto na palha. In: SEMINÁRIO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PALHA NA UFV, 1, 1997. Viçosa, M.G. *Resumos...* Viçosa: UFV, 1997, p.7-17.
- BOWER, C.A., WILCOX, L.V. Soluble salts. In: *Methods of Soil Analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 933-51.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T., CANTARELLA, H. (Eds.) *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos. 1993. p.66-145.
- CAIRES, E.F. Calagem e aplicação de gesso em plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1, 2000, Ponta Grossa-PR. Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos de Campos Gerais, 2000. p. 95-121.
- CAIRES, E.F., BANZATTO, D.A., FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 24, p. 161-9, 2000.
- CAIRES, E.F., BANZATTO, D.A., FONSECA, A.F. Correção da acidez do solo e resposta de culturas em rotação no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999. *Resumos...* Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.
- CAIRES, E.F., BARTH, G., GARBUIO, F.J., KUSMAN, M.T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, p. 1011-22, 2002.

- CAIRES, E.F., BLUM, J., BARTH, G., GARBUIO, F.J., KUSMAN, M.T.  
Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v.27, p. 275-86, 2003.
- CAIRES, E.F., FONSECA, A.F., MENDES, J., CHUEIRI, A.W., MADRUGA, E.F., FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.22, p. 27-34, 1998.
- CAIRES, E.F., FONSECA, A.F., MENDES, J., CHUEIRI, A.W., MADRUGA, E.F., FIGUEIREDO, A. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v.23, p. 315-27, 1999.
- CAMARGO, A.O., CASTRO, O.M., VIEIRA, S.R., QUAGGIO, J.A., SANTOS, G.A.  
Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um latossolo e um podzólico com a calagem. *Scientia agricola*, v.54, n.1-2, 1997.
- CAMARGO, A.O., SANTOS, G.A., GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. (Eds) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 27-40.
- CAMARGO, A.P. et al. Efeito da calagem nas produções de cinco cultivos de milho, seguidos de algodão e soja. *Pesq. agrop. bras.*, v.17, n.7, p.1007-12, 1982.
- CARVALHO, W.A., ESPÍNDOLA, C.R., PACCOLA, A.A. *Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici"*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1983. 95p. (Boletim técnico nº1).
- CASSOL, L.C., PAVINATO, A., SALET, R.L. Dinâmica do nitrogênio após calagem e adubação nitrogenada em sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993. *Resumos...* Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, 1993. p.79. 3v.

- CASTRO, O..M. *Preparo do solo para a cultura do milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 41p.
- CERETTA, C.A., MARCOLAN, A.L., DURGON, R., TISOTT, A.R. Acúmulo de carbono em humina, ácidos fúlvicos e húmicos em três profundidades de solo com sistemas de cultura, sob plantio direto, durante seis anos. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2, 1997. São Carlos. *Anais...São Carlos*, EMBRAPA, 1997. p. 136.
- COELHO, A.M., FRANÇA, G.E. Seja doutor do seu milho. *Arquivo do Agrônomo*, n.2, 1995. Potafós - (2ª edição, rev. e ampliada).
- COSTA, A. *Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja trigo em sistema plantio direto*. Botucatu, 2000. 146p. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- DERPSCH, R. et al. *Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.
- DICK, W. A. et al. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. *Agronomy Journal*, v. 83, n. 1, p. 65-73, 1991.
- EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 1.ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999, 412p.
- ERNANI P.R., STECKLING, C., BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 25, p.939-46, 2001.
- FANCELLI, A.L., DOURADO NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FERREIRA, D.F. Software estatístico *SISVAR v.4.2 (Build 30)*. DEX/UFLA. 2003.

- FERREIRA, S.M. Extensão rural e assistência técnica no sistema plantio direto na região dos cerrados. In: SEMINÁRIO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PALHA NA UFV, 1, 1997. Viçosa, M.G. *Resumos...* Viçosa: UFV, 1997, p.107-16.
- FIORIN, J.E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DOS SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 3, 1999. *Resumos...* Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1999. p.39-55.
- FONSECA, J.A., MEURER, E.J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. *R.Bras. Ci. Solo*, v.21, n. 1, p.47-50, 1997.
- FONTOURA, S.M.V. et al. Rendimento de culturas afetado por métodos de aplicação de calcário em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999. *Resumos...* Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.
- FRANCHINI, J.C., MYIAZAWA, M., PAVAN, M.A., MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e substâncias puras de ácidos orgânicos. *Pesq. Agr. Bras.*, v.34, p.2267-76, 1999.
- FRANCHINI, J.C. *Mobilização do cálcio e alumínio em solos ácidos por compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais*. (Tese de doutorado apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo). Piracicaba, 1997, 80p.
- FREITAS, P. L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J.N. *Fascículo de experiências de plantio direto no Cerrado*. Goiânia: Associação de Plantio Direto no Cerrado, cap. 10, p. 199-216, 1995.
- GOMES, J., GERAGE, A.C. (Coord.). *A Cultura do milho no Paraná*. Londrina: IAPAR, 1991. 271p.

- GONÇALVES, J.R.P. *Efeitos de três espécies de adubos verdes cultivados no inverno sobre algumas propriedades físicas do solo, no desenvolvimento e na produção do milho (Zea mays L.) sob cultivo convencional e plantio direto*. Botucatu, 1999. 98p. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- HARGROVE, W.L., REID, J.T., TOUCHTON, J.T., GALLAHER, R.N. Influence of tillage practices on the fertility status of na acid soil double-cropped to wheat na soybeans. *Agron. j.*, v. 74, p. 674-87, 1982.
- HASS, F.D. Aspectos básicos de fertilidade sob plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DOS SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 3, 1999, Cruz Alta -R.S. *Resumos...* Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1999. p.19-31.
- HOLTZ, G.P., SÁ, J.C.M. Resíduos culturais: reciclagem de nutrientes e impacto na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1995, Castro -PR. Castro: Fundação ABC, 1995. p. 21-36.
- JORGE, J.A. *Física e manejo dos solos tropicais*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 308p.
- KAPUSTA, G., KRAUSZ, R.F., MATTHEWS, J.L. Corn yield is equal in conventional, reduced, and no-tillage after 20 years. *Agronomy Journal*, v. 88, p.812-7, 1996.
- KRAY, C.H. et al. Atributos físicos do solo afetados pelo manejo da calagem no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999. *Resumos...* Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.
- KUMADA, K. *Chemistry of soil organic matter*. Tokyo: Japan Scientific Societies Press, 1987. 235p.
- LOS, C. J. Princípios básicos para iniciar o plantio direto. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO,1, Castro. *Anais...* Castro: ABC, p. 291-301, 1995.

- MALAVOLTA, E. A prática da calagem. In: CARGILL. *Seminário sobre corretivos agrícolas*. Campinas: Fundação Cargill, cap1.,1985. p. 3-57.
- MALAVOLTA, E. A., VITTI, G.C., OLIVEIRA,S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. *Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras*. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1979. 92p. (Boletim Técnico, 4)
- MAZUCHOWSKI, DERPSCH. R *Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas*. Curitiba: ACARPA, 1984. 65p.
- MEDA, A.R., PAVAN, M.A., MYIAZAWA, M., CASSIOLATO, M.E. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.26, p.647-54, 2002.
- MELLO, F.A.F. *Fertilidade do solo*. 3ed. Piracicaba: Editora Nobel, 1989. 400p.
- MENDONÇA, E.S., OLIVEIRA, F.H.T. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1, 2000, Ponta Grossa-PR. Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos de Campos Gerais, 2000. p. 70-81.
- MIELNICZUK, J. Economicidade da calagem. In: Simpósio sobre acidez e calagem. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 15. Campinas, 1983, p. 63-77.
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. & BOHNEN, H. *Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul*. 2.ed. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do sul, 1971.
- MIYAZAWA,M., PAVAN, M.A., CALEGARI, A. Effect of addition of crop residues in the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4, 1996, Belo Horizonte.

- Abstracts...* Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/CPAC/EMBRAPA, 1996. p.8.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. *Informações agronômicas*, n. 92, 2000. Potafós- Encarte técnico.
- MONDARDO, A., BISCAIA, R. M. Controle da erosão. In: ALMEIDA, F. S. et al. *Plantio direto no estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, p.33-42, 1981. (Circular nº 23).
- MORAES, M.H., BENEZ, S.H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada e na produção do milho para um ano de cultivo. *Engenharia Agrícola*, v.16, n.2, p.31-41, 1996.
- MOREIRA, S.G., KIEHL, J.C., PROCHNOW, L.I., PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 25, p.71-81, 2001.
- MOSCHLER, W.W. et al. Comparative lime on continuous no-tillage and conventionally tilled corn. *Agronomy Journal*, v.65, p.781-3, 1973.
- MUZZILI, O. A fertilidade do solo em sistema plantio direto: bases para o manejo sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1, 2000, Ponta Grossa-PR. Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos de Campos Gerais, 2000. p.1-16.
- MUZZILI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.7, n.1, p. 95-102, 1983.
- NATALE, W., COUTINHO, E.L.M. Avaliação da eficiência agronômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.55-62, 1994.

- NETO, L.M., MAREGA, J.A.M.M., NASCIMENTO, O.R., VIEIRA, E.M., MIYAZAWA, M. Avaliação dos efeitos do manejo convencional e plantio direto sobre aspectos qualitativos das substâncias húmicas de um Latossolo Roxo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 10, Florianópolis, 1994. *Resumos...* Campinas: SBCS, 1994. p.226-7.
- NICOLODI, M., SALET, R.L., BISSO, F.P. Existe repetibilidade entre as amostras compostas, coletadas com trado, no sistema de plantio direto? In: FERTIBIO, 2000, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: sociedade Brasileira de Ciência do Solo- Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 3p. (Editado em CD ROM).
- OLIVEIRA, E.L. et al. Tolerância de cultivares de milho à acidez do solo e eficiência de resposta à calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.9, n.18, p.1045-51, 1983.
- OLIVEIRA, E.L., PAVAN, M.A. *Control of Soil Acidity in no-tillage system for soybean production*. *Soil Till. Res.*, v.38, p. 47-57, 1996.
- OLIVEIRA, E.L., PAVAN, M.A. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina. *Anais...* Petrolina: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo/ CPATSA/EMBRAPA, 1994. p.178.
- PAVAN, M. A. Ciclagem de nutrientes e mobilidade de íons no solo sob plantio direto. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, v. 41, p. 8-12, 1997.
- PEIXOTO, R. T. G. Consequências do uso e manejo do solo no teor de matéria orgânica e na capacidade de troca iônica. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1, 2000, Ponta Grossa-PR. Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos de Campos Gerais, 2000. p. 26-54.

- PETRERE, C. et al. Calagem na superfície do solo no sistema plantio direto em campo nativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999. *Resumos...* Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.
- PETRERE, C., ANGHINONI, I. Alterações de atributos químicos do solo pela calagem em campo nativo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.25, p. 885-95, 2001.
- PIRES, F.R., SOUZA, C.M., QUEIROZ, D.M., MIRANDA, G.V., GALVÃO, J.C.C. Alteração de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p.121-31, 2003.
- PÖTTKER, D. Potássio: dinâmica no solo e respostas das culturas. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1995, Castro -PR. Castro: Fundação ABC, 1995. p. 264-73.
- PÖTTKER, D & BEN, J.R. *Calagem para uma rotação de culturas no plantio direto*. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 22, p. 675-84, 1998.
- QIANG, T., XIAO-QUAN, S., ZHE-MING, N. Comparative characteristic studies on soil na commercial humic acids. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, v.347, p. 330-6, 1993.
- QUAGGIO, J.A., GALLO, P.B., MASCARENHAS, H.A.A. Agronomic efficiency of limestones with different acid-neutralizing capacity, under field condition. *Plant Soil Interactions at low pH*, Netherlands, 491-6, 1995.
- RAIJ, B. Van, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. et al. (Eds) *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (Boletim técnico nº100).
- RAIJ, B. Van , QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81).
- RAIJ, B. Van, QUAGGIO, J.A. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In: *Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira*. Brasília: EMBRAPA, p.323-346, 1984.

- RAIJ, B.Van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343p.
- RHEINHEIMER, D.S., SANTOS, E.J.S., KAMINSK, J., BORTOLUZZI, E.C., GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 24, p.794-805, 2000.
- RHEINHEIMER, D.S., KAMINSK, J., LUPATINI, G.C., SANTOS, E.J.S., Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 22, p.715-23, 1998.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E., COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. *Soil Sci.*, v.133, p.378-82, 1982.
- ROSA, H.R., ROCHA, J.C., SARGENTINI JÚNIOR, E. A flow procedure for extraction and fractionation of humic substances from soils. In: SWIFT, R.S, SPARK, K.M. (Eds) *Understanding and managing organic matter in soils, sediments, and waters*. H.I.S.S. 2001. p.41-46.
- SÁ, J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto na região dos Campos Gerais, Centro - Sul do Paraná. In: Sá, J.M.C. *Manejo do solo em plantio direto*. Ponta Grossa: Fundação ABC, 1996. p. 73-107.
- SÁ, J.C.M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos atuais, e estratégia de fertilização para produção de grãos no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO SOBRE PLANTIO DIRETO NA UFV, 1, 1998, Viçosa-M.G. *Resumos...* Viçosa: UFV, DFT, 1998b. p.19-62.
- SÁ, J.C.M. Manejo e fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998, Lavras. *Resumos...*Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998a. p.135.

- SANCHES, P.A., SALINAS, J.A. *Suelos ácidos*. Bogotá: Sociedade Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1983. 93p.
- SANTOS, H.P., TOMM, G.O., LHAMBY, J.C.B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 19, p. 449-54, 1995.
- SANTOS, J.R. *Efeitos do calcário, gesso e vinhaça sobre algumas propriedades físicas e químicas de uma Terra Roxa Estruturada cultivada com milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* L. Merrill) em dois sistemas de preparo do solo*. Botucatu, 1999. 115p. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- SCALEA, M.J. Evolução e perspectivas do sistema de plantio direto na região dos cerrados. In: SEMINÁRIO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PALHA NA UFV, 1, 1997. Viçosa, M.G. *Resumos...*Viçosa: UFV, 1997, p.63-88.
- SHLINDWEIN, J.A., ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal d atributos de fertiliade e amostragem do solo no sistema plantio direto. *Rev.Bras. Ci. Solo*. v. 24, p. 85-91, 2000.
- SOUZA E.A., NEPTUNE, A.M.L. Efeitos da granulometria de calcário dolomítico sobre as propriedades químicas de um latossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.3, p.120-5, 1979.
- STEARMAN, G.K., LEWIS, R.J., TORTORELLI, L.J., TYLER, D.D. Characterization of humic acid from no-tilled and tilled soils using carbon 13 nuclear magnetic resonance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.53, p.744-9, 1989.
- TATSUKAWA, R.. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, v. 37, p.28-33, 1966.
- TIRITAN, C. S. *Alterações dos atributos químicos do solo e resposta do milho à calagem superficial e incorporada em região de inverno seco*. Botucatu, 2001. 108p. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

- TOMÉ JÚNIOR, J.B. *Manual para interpretação de análise do solo*. Guaíba: Agropecuário, 1997. 247p.
- TORMENA, C. A., ROLOFF, G. Dinâmica de algumas propriedades físicas em plantio direto. II - Porosidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2, 1983. *Resumos...* Goiânia: SBCS, v.3, p.135-6, 1983. 3v.
- TORNQUIST, C.G. Recomendações para amostragem de solo e especificidades no sistema plantio direto. In: III CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DOS SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1999, Cruz Alta –R.S. Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1999. p.32-38.
- TISDALE, S.L., NELSON, W.L. *Soil Fertility and Fertilizers*. 3 ed. New York: Macmillan Publishing Com. Inc., 1985, 694 p.
- VERLENGIA, L., GARGANTINI, H. Estudo sobre a eficiência de diferentes frações granulométricas de calcário no solo. *Bragantia*, v. 31, p.119-28, 1972.
- VIEGAS, G. P., PEETEN, H. Sistemas de produção. In: PATERNIANI, E., VIEGAS, G. P. *Melhoramento e produção do milho*. Campinas: Cargill, v.2, p.453-540, 1987. 2v.
- WERSHAW, R.L., PINCKNEY, D.J., LLAGUNO, E.C., VICENTE-BECKETT, V. NMR characterization of humic acid fractions from different Philippine soils and sediments. *Analytica Chimica Acta*, v.232, p.31-42, 1990.
- WIETHÖLTER, S., BEN, J.R., KOCHHANN, PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: Nuerberg, N.J. *Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto*. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo- Núcleo Regional Sul, 1998. p. 121-50.