

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

**CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS**

**ANA PAULA ENCIDE OLIBONE**

Tese Apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp – Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Doutora em Agronomia (Agricultura).

Botucatu – São Paulo

Dezembro - 2008

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

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

**CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS**

**ANA PAULA ENCIDE OLIBONE**

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Tese Apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp – Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Doutora em Agronomia (Agricultura).

Botucatu – São Paulo

Dezembro - 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

O46c Olibone, Ana Paula Encide, 1978-  
Ciclagem de nutrientes em sistemas de rotação de culturas / Ana Paula Encide Olibone. - Botucatu : [s.n.], 2009.  
xv, 122 f. : il., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009  
Orientador: Ciro Antonio Rosolem  
Inclui bibliografia.

1. Atividade radicular. 2. Solo - Manejo. 3. Acúmulo de nutrientes. 4. Plantas de cobertura. I. Rosolem, Ciro Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

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

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS.**

**ALUNA: ANA PAULA ENCIDE OLIBONE**

**ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM**

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. SALATIER BUZETTI

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JULIANO CARLOS CALONEGO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. GEDI JORGE SFREDO

Data da Realização: 05 de dezembro de 2008.

## **Biografia da autora**

**ANA PAULA ENCIDE OLIBONE**, filha de José Encide e Maria Rós Encide, nascida em Jales (SP) no dia 03 de outubro de 1978. Coursou todos os anos de colégio em escolas estaduais. Em 1998 ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Durante todo o período acadêmico foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq). Em Dezembro de 2002 formou-se Engenheira Agrônoma. Em Março de 2003 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu (SP). Concluiu em Janeiro de 2005 todas as exigências para receber o título de Mestre em Agronomia, pela mesma Universidade. Em Março de 2005 ingressou no curso de Doutorado pelo mesmo programa de Pós-Graduação, completando em Dezembro de 2008 todas as exigências para receber o título de Doutora em Agronomia.

# D e d i c o

Ao meu esposo Dácio Olibone, que me ensinou ser paciente, contribuiu em todos os momentos do trabalho, nos cuidados com nossa filha, enquanto eu me dedicava aos estudos, e sempre me incentivou, e, sobretudo, acreditou no meu potencial.

A minha querida e amada filha Júlia, que desde pequena soube entender e superar esse período em que sua mãe estava atarefada, porém, nunca ausente.

Aos meus pais José Encide e Maria Rós, que sempre me orientaram a trilhar o caminho da verdade, honestidade e respeito. Obrigada por partilharam comigo mais uma vitória.

A minha irmã Andréia Encide, aos meus queridos cunhados, cunhadas, sogro e sogra e sobrinhos que me apoiaram em todas as etapas vividas.

Amo vocês!

## AGRADECIMENTOS

Àquele que esteve e está presente em minha vida, guiando meus passos e iluminando minha vida, **Deus**. Agradeço por todo o ensinamento diário.

Ao concluir esta Tese não poderia de deixar de lembrar aqueles que de alguma maneira contribuíram e estiveram juntos comigo para a realização desta etapa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, pela atenção, ensinamentos transmitidos e todo apoio prestados durante a pesquisa.

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, pela bolsa de estudo concedida durante a realização deste trabalho.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas-FCA, da Universidade Estadual Paulista-UNESP, por possibilitar o aperfeiçoamento dos meus conhecimentos.

Aos Docentes João Nakagawa, Rogério P. Soratto, Carlos A. C. Crusciol, Sérgio L. de Lima, Iraê A. Guerrini, Célia R. L. Zimback, Antonio E. Klar pela orientação profissional e amizade.

Aos Funcionários do Departamento de Produção Vegetal Dorival, Valéria, Lana, Vera, Cirinho, Maurílio, Rubens e principalmente os Funcionários de Campo: Célio, Casimiro, Matheus, Camargo, Nelson, Aparecido “Fio” pelo auxílio prestado durante a realização desta pesquisa.

Aos amigos Edemar Moro e Adriana Lima, Adilson Pelá e Gláucia de Mello, Luiz A. de M. Costa e Mônica S. de M. Costa, pelo companherismo, momentos de alegrias vividos.

Aos companheiros de curso Mariana Toledo e Rodrigo Arroio, Carla e Simério, Francisco Rafael, Juliano Calonego.

Não poderia esquecer os futuros Agrônomos que estagiaram neste experimento: Maryara B. Prando, Isaias P. Lisboa, e de Marechal C. Rondon (PR) Fernando (Boi), Laerte (Nego) e Taylene, espero que vocês amem esta profissão maravilhosa.

Agradecimento especial ao Engenheiro Agrônomo Nilton Marques de Oliveira pelos incentivos, confiança, amizade prestados em toda a minha formação.

Enfim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>1. RESUMO</b> .....	1
<b>2. SUMMARY</b> .....	3
<b>3. INTRODUÇÃO</b> .....	5
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	8
4.1. Sistemas de rotação de culturas em SSD.....	8
4.2. Compactação do solo e desenvolvimento radicular.....	12
4.3. Ciclagem de nutrientes.....	14
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	20
5.1. Localização e histórico da área experimental.....	20
5.2. Características edáficas da área experimental.....	20
5.3. Características climáticas da área experimental.....	21
5.4. Tratamentos e delineamento experimental.....	22
5.5. Instalação e condução do experimento (Agosto de 2005).....	24
5.5.1. Aplicação de corretivos de acidez (Agosto de 2005).....	24
5.5.2. Escarificação do solo (Agosto de 2005).....	25
5.5.3. Semeadura e condução do milho (safra 2005/2006).....	25
5.5.4. Semeadura e condução da cultura da soja (safra 2005/2006).....	26

5.5.5. Semeadura e condução da braquiária (safra 2005/2006).....	28
5.5.6. Semeadura e condução da mamona (safra 2006/2007).....	29
5.5.7. Semeadura e condução do sorgo (safra 2006/2007).....	29
5.5.8. Semeadura e condução do milho + braquiária (2006/2007).....	30
5.5.9. Semeadura e condução do sorgo e da mamona (safra 2007/2008).....	33
5.5.10. Semeadura e condução da soja (safra 2007/2008).....	34
5.6. Avaliações.....	35
5.6.1. Fertilidade do solo (safras 2005/2006; 2006/2007; 2007/2008).....	35
5.6.2. Resistência do solo à penetração (1 <sup>o</sup> , 2 <sup>o</sup> e 3 <sup>o</sup> ano agrícola).....	36
5.6.3. Atividade radicular – sorgo, braquiária e mamona (novembro 2006).....	36
5.6.4. Atividade radicular – sorgo, braquiária mamona (dezembro 2007).....	37
5.6.5. Massa matéria seca aérea da braquiária e do sorgo.....	38
5.6.6. Acúmulo de nutrientes pela braquiária e sorgo.....	38
5.6.7. Massa de matéria seca radicular da braquiária e do sorgo.....	38
5.6.8. Atividade radicular – milho.....	39
5.6.9. Massa de matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho.....	39
5.6.10. Diagnose foliar – milho.....	40
5.6.11. Massa de matéria seca radicular do milho.....	40
5.6.12. Atividade radicular – soja (2007/2008).....	40
5.6.13. Acúmulo de nutrientes pela soja.....	41
5.6.14. Diagnose foliar – soja.....	41
5.6.15. Massa de matéria seca da soja.....	42
5.6.16. Massa de matéria seca radicular da soja.....	42
5.6.17. Produtividade de grãos (2006/2007; 2007/2008).....	42
5.7. Análises estatísticas.....	42
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>43</b>
6.1. Fertilidade do solo.....	43
6.2. Resistência do solo à penetração.....	72
6.3. Massa de matéria seca radicular das plantas de cobertura (safra 2006/2007).....	77
6.4. Atividade radicular das plantas de cobertura (safra 2006/2007).....	78
6.5. Massa de matéria seca aérea das plantas de cobertura (safra 2006/2007).....	80

6.6. Acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura (safra 2006/2007).....	82
6.7. Massa seca radicular do milho.....	85
6.8. Atividade radicular do milho.....	86
6.9. Acúmulo de nutrientes pela cultura do milho.....	87
6.10. Diagnose foliar-milho.....	91
6.11. Massa de matéria seca da parte aérea das plantas de milho.....	93
6.12. Massa de matéria seca radicular das plantas de cobertura (safra 2007/2008).....	94
6.13. Atividade radicular das plantas de cobertura (safra 2007/2008).....	95
6.14. Massa de matéria seca aérea das plantas de cobertura (safra 2007/2008).....	97
6.15. Acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura (safra 2007/2008).....	98
6.16. Massa de matéria seca radicular da soja (safra 2007/2008).....	101
6.17. Atividade radicular da soja (safra 2007/2008).....	101
6.18. Acúmulo de nutrientes pela cultura da soja (safra 2007/2008).....	103
6.19. Diagnose foliar – soja (safra 2007/2008).....	106
6.20. Massa de matéria seca da parte aérea de plantas de soja (safra 2007/2008).....	107
6.21. Produtividade das culturas.....	108
6.21.1. Cultura da soja (2005/2006).....	108
6.21.2. Cultura do milho (2006/2007).....	109
6.21.3. Cultura da soja (2007/2008).....	110
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>112</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>113</b>

## LISTA DE QUADROS

	<b>Página</b>
<b>Quadro 1.</b> Caracterização química e granulométrica do solo da área experimental antes da instalação dos tratamentos (Agosto 2005).....	21
<b>Quadro 2.</b> Rotações de culturas implantadas nas safras de 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008 sob Semeadura Direta Com Escarificação (SDCE) e Semeadura Direta Sem Escarificação (SDSE).....	23
<b>Quadro 3.</b> Médias de análise química de matéria orgânica ( $\text{MO} - \text{g dm}^{-3}$ ) e fósforo no solo ( $\text{P} - \text{mg dm}^{-3}$ ) no solo no manejo das plantas de cobertura, em função dos sistemas de produção (novembro 2006).....	45
<b>Quadro 4.</b> Médias de análise química de potássio no solo ( $\text{K} - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) e magnésio no solo ( $\text{Mg} - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) no solo no manejo das plantas de cobertura, em função dos sistemas de produção (novembro 2006).....	46
<b>Quadro 5.</b> Médias de análise química de matéria orgânica no solo ( $\text{MO} - \text{g dm}^{-3}$ ) na cultura do milho aos 30, 60 e 90 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).....	48

- Quadro 6.** Médias de análise química de potássio no solo ( $K - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) na cultura do milho aos 30, 60 e 90 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).....50
- Quadro 7.** Médias de análise química de fósforo no solo ( $P - \text{mg dm}^{-3}$ ) na cultura do milho aos 30, 60 e 90 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).....52
- Quadro 8.** Médias de análise química de cálcio no solo ( $Ca - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) na cultura do milho aos 30, 60 e 90 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).....54
- Quadro 9.** Médias de análise química de magnésio no solo ( $Mg - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) na cultura do milho aos 30, 60 e 90 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).....56
- Quadro 10.** Médias de análise química de matéria orgânica no solo ( $MO - \text{g dm}^{-3}$ ) do solo no manejo das plantas de cobertura em função dos sistemas de produção (novembro 2007).....58
- Quadro 11.** Médias de análise química de fósforo no solo ( $P - \text{mg dm}^{-3}$ ) e potássio ( $K - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) no manejo das plantas de cobertura em função dos sistemas de produção (novembro 2007).....59
- Quadro 12.** Médias de análise química de cálcio no solo ( $Ca - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) e magnésio ( $K - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) no manejo das plantas de cobertura em função dos sistemas de produção (novembro 2007).....60

- Quadro 13.** Médias de análise química de matéria orgânica no solo ( $\text{MO} - \text{g dm}^{-3}$ ) na cultura da soja aos 54, 74, 94 e 114 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).....62
- Quadro 14.** Médias de análise química de fósforo no solo ( $\text{P} - \text{mg dm}^{-3}$ ) na cultura da soja aos 54, 74, 94 e 114 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).....64
- Quadro 15.** Médias de análise química de potássio no solo ( $\text{K} - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) na cultura da soja aos 54, 74, 94 e 114 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).....66
- Quadro 16.** Médias de análise química de cálcio no solo ( $\text{Ca} - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) na cultura da soja aos 54, 74, 94 e 114 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).....68
- Quadro 17.** Médias de análise química de magnésio no solo ( $\text{Mg} - \text{mmolc dm}^{-3}$ ) na cultura da soja aos 54, 74, 94 e 114 DAE, em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).....70
- Quadro 18.** Umidade gravimétrica do solo em amostras coletadas simultaneamente ao teste de resistência à penetração do solo (Agosto 2005).....75
- Quadro 19.** Umidade gravimétrica do solo em amostras coletadas simultaneamente ao teste de resistência à penetração do solo (Novembro 2006).....76
- Quadro 20.** Umidade gravimétrica do solo em amostras coletadas simultaneamente ao teste de resistência à penetração do solo (Novembro 2007).....77
- Quadro 21.** Massa de matéria seca radicular de plantas de cobertura ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em função do sistema de manejo do solo e sistemas de rotação de culturas (novembro 2006).....78

- Quadro 22.** Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de massa de matéria seca aérea das plantas de cobertura na aplicação de  $\text{RbNO}_3$  (novembro 2006).....81
- Quadro 23.** Teor médio de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea de plantas de cobertura, em função de sistemas de produção (novembro 2006).....83
- Quadro 24.** Massa seca radicular do milho ( $\text{g dm}^{-3}$ ) em função do sistema de manejo do solo e sistemas de rotação de culturas.....85
- Quadro 25.** Teor foliar médio de N, P, K, Ca e Mg para a cultura do milho aos 62 DAE, em função de sistemas de produção.....92
- Quadro 26.** Massa de matéria seca radicular de plantas de cobertura ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em função do sistema de manejo do solo e sistemas de rotação de culturas (novembro 2007).....95
- Quadro 27.** Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de massa seca aérea das plantas de cobertura na aplicação de  $\text{RbNO}_3$  (2007).....98
- Quadro 28.** Teor foliar médio de N, P, K, Ca e Mg para as plantas de, em função de sistemas de produção (dezembro 2007).....99
- Quadro 29.** Massa seca radicular da soja ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em função do sistema de manejo do solo e rotações de culturas (safra 2007/2008).....101
- Quadro 30.** Teor médio foliar de N, P, K, Ca e Mg da soja aos 58 DAE, em função de sistemas de produção.....107
- Quadro 31.** Produtividade média de grãos de soja, cultivar Embrapa 48, corrigidos a 13 % de umidade, safra 2005/2006.....109

<b>Quadro 32.</b> Produtividade média de grãos de milho, cultivar DOW 2B710, corrigidos a 13 % de umidade (safra 2006/2007).....	110
<b>Quadro 33.</b> Produtividade média de grãos de soja, cultivar EMBRAPA 48, corrigidos a 13 % de umidade (safra 2007/2008).....	111



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Total de chuva mensal (mm) e temperatura média mensal (°C) referente aos anos agrícolas 2005/2006 (A), 2006/2007 (B), 2007/2008 (C) na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu-SP.....	22
<b>Figura 2.</b> Vista geral da área experimental na instalação/demarcação das parcelas e definição dos tratamentos.....	24
<b>Figura 3.</b> Cultura da soja: a) Plantas aos 93 DAE e b) Plantas aos 105 DAE.....	27
<b>Figura 4.</b> Detalhe da colheitadeira de parcelas automotriz marca Wintersteiger SeedMech, modelo Nursery Master Elite e área experimental após colheita da soja.....	27
<b>Figura 5.</b> Cultura da <i>Brachiaria ruziziensis</i> aos 15 e aos 240 DAE, respectivamente.....	29
<b>Figura 6.</b> Cultura do sorgo aos 125 (11/08/2006 – estiagem) e aos 194 (20/10/2006 – início das chuvas) DAE, respectivamente.....	30

- Figura 7.** Cultura do milho sob palhada de braquiária: aos 18 DAE (a); aos 32 DAE (b); detalhe das plantas de braquiária na linha de semeadura (c); aos 54 DAE (d); aos 80 DAE (e) e aos 105 DAE com braquiária na linha (f).....32
- Figura 8.** Cultura da braquiária e mamona em 20/10/2007.....33
- Figura 9.** Semeadura de soja sob a cobertura do solo com braquiária e vista geral da área após dessecação química das plantas.....34
- Figura 10.** Aplicação de  $RbNO_3$  nas parcelas com plantas de cobertura: A) Detalhe do cateter de aplicação de  $RbNO_3$  em braquiária; B) Detalhe do cateter de aplicação de  $RbNO_3$  em sorgo; C) Furadeira elétrica utilizada para abertura do orifício no solo.....37
- Figura 11.** Aplicação de  $RbNO_3$  em campo. A) Haste de aço utilizada para abertura do orifício no solo; B) Solução de  $RbNO_3$  injetada ao solo com auxílio de cateter e seringa.....41
- Figura 12.** Resistência do solo à penetração nas camadas estudadas após 3 anos agrícolas: (A e B; C e D; E e F correspondem a data de avaliação nos meses de Agosto 2005, Novembro 2006 e Novembro de 2007, respectivamente). SDCE (A; C; E) e SDSE (B; D; F) sob as rotações. M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária e M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.....74
- Figura 13.** Atividade radicular (%) estimada para as plantas de cobertura (safra 2006/2007) nas profundidades e distâncias estudadas. (A) SDCE - 0,11 m da planta referência; (B) SDSE - 0,11 m da planta referência; (C) SDCE - 0,22 m da planta referência; (D) SDSE - 0,22 m da planta referência.....79

- Figura 14.** Acúmulo de N, P, K, Ca e Mg em plantas de cobertura (novembro de 2006), A, B, C, D e E, respectivamente, em função do manejo do solo e sistemas de rotação de culturas. M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.....84
- Figura 15.** Atividade radicular (%) estimada para as plantas de milho nas profundidades e distâncias estudadas. (A) SDCE - 0,11 m da planta referência; (B) SDSE - 0,11 m da planta referência; (C) SDCE - 0,22 m da planta referência; (D) SDSE - 0,22 m da planta referência.....87
- Figura 16.** Acúmulo de N, P e K na matéria seca de milho em função dos manejos do solo, onde: A, C e E sob manejo SDCE; B, D e F sob SDSE, e sistemas de rotação: M / S / So - milho / soja / sorgo; M/S/B - milho / soja / braquiária; M / S / B + Ma - milho / soja / braquiária + mamona.....89
- Figura 17.** Acúmulo de Ca e Mg na matéria seca de milho em função dos manejos do solo, onde: A e C sob manejo SDCE; B e D sob manejo SDSE, e sistemas de rotação; M / S / So – milho / soja / sorgo; M / S / B – milho / soja / braquiária; M / S / B + Ma – milho / soja / braquiária + mamona.....90
- Figura 18.** População média de plantas de milho no momento da colheita (120 DAE) em função do manejo do solo e sistemas de rotação de culturas. Letras iguais dentro do mesmo manejo do solo não diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade. M / S / So – milho / soja / sorgo; M / S / B – milho / soja / braquiária; M / S / B+Ma - milho / soja / braquiária + mamona.....91
- Figura 19.** Acúmulo de massa de matéria seca de plantas de milho em função do manejo do solo SDCE (A) e SDSE (B) e sistemas de rotação de culturas. M/S/So - milho/soja/sorgo; M/S/B - milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária+ mamona.....93

- Figura 20.** Atividade radicular (%) estimada para as plantas de cobertura (safra 2007/2008) nas profundidades e distâncias estudadas. (A) SDCE – 0,11 m da planta de referência; (B) SDSE – 0,11 m da planta de referência; (C) SDCE – 0,22 m da planta de referência; (D) SDSE – 0,22 m da planta de referência.....97
- Figura 21.** Acúmulo de N, P, K, Ca e Mg em plantas de cobertura (dezembro de 2007), A, B, C, D e E, respectivamente, em função do manejo do solo e sistemas de rotação de culturas. M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.....100
- Figura 22.** Atividade radicular (%) estimada para plantas de soja nas profundidades e distâncias estudadas. (A) SDCE - 0,11 m da planta referência; (B) SDSE - 0,11 m da planta referência; (C) SDCE - 0,22 m da planta referência; (D) SDSE - 0,22 m da planta referência.....103
- Figura 23.** Acúmulo de N, P e K na massa seca de soja em função dos manejos do solo, onde: A, C e E sob SDCE e B, D e F sob SDSE, e sistemas de rotação; M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.....105
- Figura 24.** Acúmulo de Ca e Mg na massa seca de soja em função dos manejos do solo, onde: A e C sob SDCE; B e D sob SDSE, e sistemas de rotação: M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.....106
- Figura 25.** Acúmulo de massa seca de plantas de soja em função do manejo do solo SDCE (A) e SDSE (B) e rotação de culturas. M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B + Ma – milho/soja/braquiária + mamona.....108

## 1. RESUMO

As espécies utilizadas em sistemas de rotação de culturas comportam-se de maneira diferente quanto à absorção e ciclagem de nutrientes. Além disso, a absorção de nutrientes é influenciada pelas propriedades físicas do solo, capazes de modificar o crescimento e desenvolvimento radicular. O presente trabalho teve como objetivo estudar a ciclagem de nutrientes em três sistemas de rotação de culturas, relacionando-a à atividade radicular da braquiária e sorgo, em sistema de semeadura direta, escarificado (SDCE) e sem escarificação (SDSE), em Nitossolo Vermelho de textura argilosa na cidade de Botucatu-SP. Além das plantas de cobertura também se avaliou a atividade radicular das culturas do milho e da soja. O sistema de rotação foi implantado na safra de 2005/2006 como segue: (1) milheto / soja / sorgo / milho / sorgo/ soja; (2) milheto / soja / braquiária / milho / braquiária / soja e (3) milheto / soja / mamona + braquiária / milho / mamona + braquiária / soja. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas subdivididas. A condução do experimento deu-se por dois anos agrícolas (2006/2007; 2007/2008) para possível observação de algum efeito acumulativo dos tratamentos. A atividade radicular das plantas de cobertura (novembro 2006), do milho (fevereiro 2007) e da soja (dezembro 2007) foi avaliada indiretamente, usando-se rubídio como marcador. Aplicou-se 3 mL da solução de nitrato de rubídio no solo com cateter, a 0,05; 0,10; 0,20, 0,40 e 0,60 m de profundidade e a 0,11 e 0,22 m de distância da planta de referência. Decorrido 4 dias da aplicação, coletou-se as respectivas partes aéreas das plantas, as quais foram secas, moídas e digeridas por via úmida

para determinação do teor de rubídio em absorção atômica. Também foram analisadas características químicas e resistência do solo à penetração nas camadas 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m nos respectivos anos agrícolas. Diante dos teores de Rb observados na matéria seca, convencionou-se que o maior teor de Rb observado correspondeu a 100 % de atividade radicular. E para demais resultados utilizou-se a análise de variância e teste de comparação de médias t a 5 % de probabilidade. Conclui-se que com os tratamentos avaliados houve aumento da fertilidade no perfil do solo. E que em solo úmido, a intensidade da atividade radicular é em função da distribuição das raízes no perfil do solo, e sob déficit hídrico, a atividade radicular não é proporcional à distribuição das raízes no solo, ou seja, pouca quantidade de raiz em profundidade compensa a absorção de água e nutrientes, através de maior atividade radicular. No manejo semeadura direta sem escarificação há maior atividade radicular e ciclagem de nutrientes comparado ao manejo semeadura direta com escarificação. A braquiária cicla mais N e K, e o sorgo é mais eficiente em ciclar P. Através da atividade radicular estudada sugere-se que algumas espécies possuem potencial de expandir o sistema radicular horizontalmente em profundidade.

Palavras chaves: atividade radicular, manejo do solo, acúmulo de nutriente e plantas de cobertura.

NUTRIENT CICLYING IN SYSTEM CROP ROTATION. Botucatu, 2008. 137p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Ana Paula Encide Olibone

Adviser: Ciro Antonio Rosolem

## 2. SUMMARY

The species used in crop rotation systems differ in nutrient absorption and cycling. Moreover, nutrient absorption is influenced by soil physical properties, which may affect root growth and its development. The present research had as objective to investigate nutrient cycling in three crop rotation systems and its relation to root activity of *Brachiaria* and sorghum in no tillage system, with and without chiselling. The experiment was carried out in Botucatu, SP, Brazil, in a Red Nitosol, with clay texture. The rotation system was implemented in 2005/2006 and carried out for two growing seasons (November of 2006 and 2007). Crop rotation systems were: (1) Pearl millet / soybean / sorghum / maize / sorghum / soybean; (2) Pearl millet / soybean / *Brachiaria* / maize / *Brachiaria* / soybean and (3) Pearl millet / soybean / *Brachiaria* + castor bean / maize / *Brachiaria* + castor bean / soybean. The experimental design was the completely randomized block with split-plots and four replications. Root activity was evaluated for either cover crops or maize and soybean. Root activity of cover crops (November of 2006 and 2007), maize (February of 2007) and soybean (December of 2007) was indirectly evaluated, using Rubidium as marker. The solution of 3 mL of rubidium nitrate was applied in soil with a catheter, at 0.05, 0.10, 0.20, 0.40 and 0.60 m depths and at 0.11 and 0.22 m away from the plant in question. The respective shoots were collected, dried, grounded and submitted to humid digestion 4 days after the application to evaluate rubidium level through atomic absorption. Chemical characteristics and soil penetration resistance were also evaluated at 0.00-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.40 and 0.40-0.60 m depths in the respective growing seasons. According to Rb levels observed in dry matter, the highest value was considered 100% of root activity. As for the other results, variance analysis and mean comparison through the t test ( $P \leq 0.05$ ) were applied for statistical

analysis. It was concluded that the treatments increased soil fertility in the profile. In wet soil, the intensity of root activity is affected by root distribution in soil profile, although under water deficiency, root activity is not proportional to root distribution in soil. In other words, the low amount of roots in deeper layers compensates water and nutrient absorption through an increase of root activity. In no tillage system, there is higher root activity and nutrient cycling when soil is not scarified compared to the treatment with chiseling. *Brachiaria* cycles more N and K, and sorghum is more efficient in P cycling. The results of root activity suggest that some species may potentially expand either horizontally or down to deeper layers.

Keywords: root activity, soil tillage, nutrient accumulation, cover crops.



### 3. INTRODUÇÃO

Um dos benefícios dos sistemas de produção que empregam rotação de culturas é diminuir a perda de nutrientes do sistema, estabelecendo um ciclo de absorção e de retorno do nutriente ao solo. Assim, a palha que permanece na superfície como “mulch” para protegê-lo dos efeitos climáticos e da erosão, ao ser mineralizada, libera nutrientes que podem ser aproveitados pela cultura subsequente (BORKERT et al., 2003). Essa reserva considerável de nutrientes contida nos restos vegetais (GASSEM & GASSEM, 1996) pode retornar ao solo pela ação da chuva, caracterizando a reciclagem de nutrientes (MALAVOLTA, 1980), pois as plantas retiram os nutrientes de camadas subsuperficiais e os liberam em camadas superiores (FIORIN, 1999).

A reciclagem de nutrientes pode ser otimizada em função do cultivo de espécies vegetais conhecidas como adubos verdes ou plantas de cobertura (FIORIN, 1999). A aveia-preta e a ervilhaca reciclam grande quantidade de K, e a ervilhaca, a mucuna-preta, o tremoço e o guandu reciclam grande quantidade de N. Todas essas espécies reciclam quantidades apreciáveis de Ca, Mg e micronutrientes, porém baixas quantidades de P (BORKERT et al., 2003).

Borkert et al. (2003), verificou que a aveia preta é uma espécie de cobertura com alta capacidade recicladora de K do solo, devido ao elevado teor deste nutriente na sua parte aérea, além de possuir sistema radicular profundo, permitindo trazer o K contido em camadas mais profundas do solo. Mas não apenas a aveia preta apresenta alta capacidade recicladora, o milheto, como planta de cobertura vegetal, tem alta capacidade para reciclar o K

residual do adubo potássico aplicado na soja do ano anterior, mostrando que a cobertura vegetal de entressafra pode aumentar a eficiência no uso do fertilizante potássico (FOLONI, 2003).

Em virtude de chuvas, podem ser extraídas da palhada quantidades consideráveis de K, sendo que cerca de 60 a 80% deste nutriente é retido no resíduo e pode ser liberado no solo e ser extraído em quantidades consideráveis durante o período de crescimento do próximo cultivo (ROSOLEM et al., 2005).

A absorção de nutrientes pelas plantas depende do crescimento e eficiência das raízes e da disponibilidade de nutrientes no solo. O crescimento radicular depende muito da umidade do solo e de sua resistência à penetração (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000; PASSIOURA, 1991; BENGHOUGH & MULLINS, 1990). A disponibilidade de nutrientes, por sua vez, é influenciada pela compactação do solo (BORGES et al., 1988; BENNIE, 1996), já que os processos de fluxo de massa e de difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes, dependem da condição física do solo, particularmente de sua densidade e umidade (NOVAIS & SMYTH, 1999).

A quantidade de raízes encontrada de 0 a 15 cm é suficiente para promover o rendimento máximo das culturas de ciclo curto, desde que o solo não apresente limitações ao crescimento das raízes e ao suprimento de água, ar e nutrientes às plantas (ANGHINONI, 1998). Entretanto, é desejável, sob o aspecto de absorção de água e nutrientes em ambientes agrícolas, que as plantas apresentem amplo sistema radicular, pois as raízes ocupam um volume pequeno, normalmente menos de 1% do volume do solo (BARBER, 1984; CAMARGO & ALLEONI, 1997).

O estudo do sistema radicular das culturas depende de técnicas de estudo de raízes as quais são variáveis de acordo com a tecnologia disponível e objetivo do trabalho. A fitotoxicidade e a distribuição irregular na planta são alguns dos problemas no uso da técnica de elementos não marcados, no entanto o Rubídio é um elemento que expressa de maneira satisfatória a atividade radicular das plantas porque é considerado um análogo do potássio (EPSTEIN, 1961; EPSTEIN, RAINS & ELZAM, 1963). Além de ser encontrado nas formas de cloreto, fosfato, sulfato e nitrato, o elemento não faz parte dos fertilizantes e corretivos, bem como não se constitui como nutriente essencial às plantas o que possibilita

confiabilidade nos resultados. Mas, devido sua similaridade com o K pode estar sujeito às interações com o solo.

Considerando que, normalmente, há grande concentração radicular na camada arável, e que o solo, em profundidade, normalmente é pobre em nutrientes (RAIJ, et al. 2001), a atividade radicular deve expressar a verdadeira contribuição das raízes à ciclagem de nutrientes em sistema de semeadura direta. Com esse intuito, o trabalho teve como objetivo estudar a ciclagem de nutrientes em três sistemas de rotação de culturas em semeadura direta com e sem escarificação, relacionando a atividade radicular das plantas de cobertura, milho e soja.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. Sistemas de rotação de culturas em SSD

Os nutrientes entram em contato com as raízes por fluxo de massa, difusão e interceptação radicular, diferentes vias que possibilitam a satisfação das exigências das plantas (CAMARGO, 1983). Assim, a absorção de nutrientes pelas plantas, além de estar intimamente relacionada com a disponibilidade no solo, também é influenciada pelas propriedades físicas e hídricas do mesmo.

Os solos podem apresentar valores elevados de resistência à penetração devido à sua gênese ou por consequência do manejo e uso inadequados, sendo que a compactação pode influenciar a absorção de nutrientes. Neste sentido, Silberbush et al. (1983) detectaram uma redução no teor de potássio nas plantas em consequência do aumento da densidade do solo. Estes mesmos autores ainda observaram que a diminuição na absorção de potássio ocorreu devido ao menor crescimento radicular, e/ou em decorrência do menor movimento do íon no solo. Fernandes et al. (1995), avaliaram o efeito da adubação fosfatada interagindo com diferentes níveis de compactação do solo em vasos e observaram que a aplicação de P aumentou a absorção de K, P, Ca e Mg pelas plantas de soja, cujo efeito desapareceu quando a densidade do solo apresentou-se maior ou igual a  $1,52 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Graham-Bryce (1965) citado por Camargo (1983), avaliando o coeficiente de difusão de íons em solos compactados, observaram que o coeficiente de difusão para o rubídio (substituindo o potássio) aumentou até três vezes, para uma mesma umidade, com o aumento da densidade de um solo limo-arenoso de  $1,36 \text{ g.cm}^{-3}$  para  $1,95 \text{ g.cm}^{-3}$ .

A degradação dos solos das áreas agrícolas tem sido uma realidade, evidente através de vários sintomas, tais como, erosão, redução da produtividade das culturas, aumento de pragas e doenças, entre outros. Para amenizar tais problemas, surgiram propostas baseadas em princípios agro ecológicos, visando desenvolver sistemas de produção que não considerem apenas a produtividade das culturas, mas apresentam sustentabilidade ambiental, econômica e social.

Assim, o solo pode ser protegido por cobertura vegetal viva ou com resíduos vegetais (“palhada”). Essa prática de “cobrir” o solo torna-se fundamental para a melhoria da qualidade do solo nos diferentes manejos, principalmente em semeadura direta, devido ao aumento da biodiversidade e do equilíbrio ambiental no sistema solo-planta.

Além dos resíduos das próprias culturas e das plantas invasoras, a cobertura vegetal do solo deve ser reforçada e mantida pelo cultivo de plantas de cobertura em rotação com as espécies de interesse comercial (MUZILLI, 2006).

O uso de cobertura aliada ao sistema de rotação de culturas que consiste na alternância, num mesmo terreno, de diferentes culturas em seqüência, de acordo com um plano definido são alternativas de atenuar tais degradações do solo. A rotação de culturas beneficia as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o controle de plantas daninhas, bem como o de doenças e pragas, além de repor restos orgânicos e proteger o solo contra a ação dos agentes climáticos; é recomendável usar espécies fixadoras de nitrogênio com sistema radicular profundo e abundante, e ainda espécies capazes de aproveitar os fertilizantes residuais das culturas comerciais (IAPAR, 1995).

Portanto, a rotação de culturas, além de promover benefícios às plantas serve de proteção ao solo, atenua a erosão, eleva a taxa de infiltração e aumenta a capacidade de retenção de água, incrementa a capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis em camadas mais profundas do solo (PINTO & CRESTANA, 1998). Segundo Kiehl (1985), as perdas de elementos químicos pela água de drenagem são minimizadas pelo fato das plantas em rotação absorverem os nutrientes e os reciclar através da

incorporação destas plantas ao solo. A decomposição e liberação dos nutrientes podem ser rápidas e assim correm o risco de se perderem se nova cultura não for instalada em sucessão. É devido a esta pronta disponibilidade que se considera menor o valor do efeito residual da adubação verde no segundo ano de cultura.

O manejo da matéria orgânica mediante rotação de culturas, adubação verde e consorciação de culturas pode proporcionar melhor aproveitamento de adubos minerais e possibilitar redução nos custos com adubação nitrogenada, uma vez que propicia aumento da atividade biológica do solo (HERNANI et al., 1995). As leguminosas apresentam a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e, portanto, podem acrescentar nitrogênio ao solo e contribuir com a nutrição da cultura subsequente. Por outro lado, as gramíneas não apresentam o poder de adicionar nitrogênio ao solo, mas podem evitar que muito nitrogênio seja perdido, por meio da absorção e imobilização do nutriente em sua biomassa (ANDREOLA et al., 2000).

Leguminosas, como crotalária e mucuna reduzem a incidência de nematóides porque as raízes os atraem e impedem sua multiplicação; a mucuna inibe (efeito supressor e/ou alelopático) as plantas daninhas (tiririca, picão, capim carrapicho e paulista), cobrem rapidamente o solo no verão, melhoram a fertilidade do solo (fixa nitrogênio) e reciclam nutrientes, através do sistema radicular vigoroso e profundo. Além da ciclagem de nutrientes a prática da adubação verde também propicia a liberação de gás carbônico pela decomposição da palhada, incrementando a solubilização dos minerais do solo (KIEHL, 1985).

A cobertura vegetal pode apresentar efeitos tanto positivos (reciclagem de nutrientes) como negativos (deficiência de N em palhada com alta relação C:N) sobre o desenvolvimento de plantas (SANTOS & CAMARGO, 1999). Para cobertura vegetal do solo e suprimento inicial de palhada, deve-se optar por espécies de gramíneas com elevada capacidade de produção de matéria seca, capazes de formar uma proteção mais estável na superfície, observando-se o momento ideal para a dessecação. Ainda, deve-se considerar a capacidade que essas plantas apresentam de reciclar, funcionando como fonte de nutrientes (TANAKA et al., 1992), além das características ecofisiológicas das espécies e a possibilidade de retorno financeiro na comercialização dos grãos ou sementes.

Os resíduos vegetais decompostos podem contribuir para uma maior concentração de nutrientes na camada superficial do solo. Assim, em solos compactados, em virtude do impedimento físico ao crescimento de raízes, a maior disponibilidade de nutrientes na camada acima da compactada pode proporcionar melhor desenvolvimento da cultura subsequente. Desta forma, torna-se importante a utilização de espécies que possuem sistema radicular profundo e ramificado para retirar nutrientes de camadas subsuperficiais, e liberá-los, gradualmente, nas camadas superficiais, durante a decomposição (FIORIN, 1999). Muzilli (1981) concluiu que a não mobilização do solo em semeadura direta reduziu os efeitos da fixação de fósforo e o maior teor de umidade foi o responsável pela maior absorção de fósforo pelas plantas, devido ao maior teor de umidade na camada arável, favorecendo a taxa de difusão do nutriente até as raízes.

Sabe-se que N, P e K são os nutrientes mais ciclados pelas culturas, com destaque para N, em que nas leguminosas 2/3 do N contido na fitomassa são obtidos do ar e 1/3 do solo, fixando de 16 a 25 kg ton<sup>-1</sup> e massa seca, e 50 a 75 % deste N absorvido, do solo ou do ar do solo, pelas leguminosas tem origem na fase de desenvolvimento da planta (KIEHL, 1985).

Wutke et al. (1999), estudando as propriedades físicas e químicas de um Latossolo roxo, observaram que a rotação de culturas do feijoeiro irrigado com milho e adubos verdes favoreceu a redução da resistência do solo à penetração, além de ter mantido o teor de matéria orgânica desse solo, possibilitou a redução da acidez e aumentou o índice de saturação por bases em profundidade.

Diferentes rotações de culturas podem também afetar o teor de nutrientes no solo, em vista das diferenças em exigência nutricional, profundidade de raízes e quantidade de material vegetal que permanece no solo.

Além dos efeitos sobre as propriedades físicas e químicas no solo, a rotação também exerce influência sobre as suas características biológicas. Cattelan et al. (1997), apresentam resultados mostrando que a diminuição da acidez, o aumento no teor de carbono orgânico e disponibilidade de água, proporcionaram o desenvolvimento microbiano no solo, a partir do sistema de rotação de culturas.

## 4.2. Compactação do solo e desenvolvimento radicular

As raízes ocupam um volume pequeno de solo, normalmente menos que 1% da camada arável. Sua extensão e natureza podem variar desde raízes finas e fibrosas, comuns em gramíneas perenes, até raízes grossas, encontradas em espécies herbáceas. A densidade de raízes no solo varia com as espécies, situando-se na faixa de 1 a 5 cm cm<sup>-3</sup>, na camada de 0-15 cm do solo, para culturas anuais (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

A decomposição de palha e o não revolvimento do solo no sistema plantio direto, favorecendo maior quantidade de água e concentração de nutrientes na superfície do solo, provocam alterações no desenvolvimento do sistema radicular em relação ao sistema convencional de cultivo, particularmente no que se refere à sua distribuição no solo (TIRITAN, 2001).

A compactação do solo reduz a infiltração de água e aumenta o risco de erosão e de déficit hídrico e nutricional das plantas, fazendo com que as raízes desenvolvam-se superficialmente (MORAES et al., 1995). Queiroz-Voltan et al., (2000) enfatizam que em solo compactado as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado, além do decréscimo da quantidade de oxigênio na rizosfera limitar os processos metabólicos.

Rosolem et al. (1994a) observaram que o crescimento radicular da soja decresceu a partir da densidade do solo de 1,25 Mg m<sup>-3</sup>, no entanto, o crescimento somente foi completamente inibido quando a densidade do solo chegou a 1,72 Mg m<sup>-3</sup>. Borges et al. (1988), ao compararem 5 variedades de soja submetidas a diferentes níveis de compactação do solo, puderam verificar redução no crescimento radicular à medida que se aumentou os níveis de compactação do solo, sendo que a partir de 1,35 Mg m<sup>-3</sup> não foi observado crescimento radicular. Já Queiroz-Voltan et al. (2000), não constataram alterações anatômicas nas raízes de dois cultivares de soja em estado de compactação do solo de até 1,50 Mg m<sup>-3</sup>.

Segundo Passioura (1991), a estrutura do solo influencia o crescimento radicular das plantas de várias formas, sendo os efeitos sobre o alongamento radicular os mais claros e determinantes sobre a habilidade das raízes em extrair água e nutrientes do solo em quantidades adequadas (BENGHOUGH & MULLINS, 1990). Para o autor, o alongamento



radicular só é possível quando a pressão radicular for maior que a impedância mecânica, porém, existem outros fatores que devem ser considerados, como a continuidade dos macroporos, a fertilidade, a presença de microrganismos patogênicos ou simbióticos nos macroporos, a oxigenação do solo e a quantidade de água disponível.

A raiz ao crescer exerce uma pressão contra as partículas do solo, afastando-as, para permitir o seu alongamento, porém quando há presença de camada com estado de compactação superior à capacidade de penetração das raízes, pode ocorrer um aumento do diâmetro radicular e uma diminuição do seu comprimento. Essa redução do comprimento radicular resulta em menor volume de solo explorado e decréscimo da absorção de água e nutrientes culminando com a redução da produção das plantas (Bennie 1996; Taylor, 1974).

Por sua vez, Merotto Jr. & Mundstock (1999) afirmam que as raízes podem crescer através dos poros e pontos de menor resistência, mas são incapazes de reduzir seu diâmetro para penetrar em poros menores.

Muller et al. (1999) avaliaram cinco espécies vegetais utilizadas como adubos verdes de inverno (aveia preta, aveia branca, nabo forrageiro, ervilhaca e tremoço branco), e concluíram que as gramíneas e o nabo forrageiro apresentaram maior potencial de crescimento em camadas de solo compactado. Alvarenga et al. (1996) estudaram o guandu, o feijão-de-porco, a crotalária, o feijão-bravo-do-ceará e mata pasto quanto à capacidade das raízes dessas plantas em penetrarem nas camadas de solo com diferentes níveis de compactação e observaram que o mata pasto foi praticamente insensível ao aumento da densidade do solo, em relação ao comprimento radicular. No entanto, o feijão-de-porco e o feijão-bravo-do-ceará apresentaram densidade do comprimento radicular significativamente maior do que o mata pasto, para todos os níveis de compactação do solo avaliados. Silva (1998) avaliou plantas de guandu, milho, aveia preta, mucuna preta, sorgo, soja e tremoço azul submetidas às camadas com diferente densidade do solo (1,12; 1,36; 1,60 Mg m<sup>-3</sup>), localizadas subsuperficialmente em vasos e cultivou soja posteriormente, observou-se que o aumento da densidade do solo até 1,60 Mg m<sup>-3</sup> não impossibilitou o crescimento radicular de nenhuma das espécies, no entanto, a soja cultivada em seguida não apresentou crescimento radicular na densidade mais alta, mas com relação aos vasos deixados em pousio, o cultivo

anterior de adubos verdes aumentou a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes na parte aérea da soja.

Mielniczuk (1996) afirma que a espécie *Brachiaria brizantha* é capaz de manter sua produção mesmo em solos compactados, beneficiada pelo seu sistema radicular, ao ultrapassar as camadas compactadas. Entretanto, Camargo & Alleoni (1997) registraram que a *Brachiaria brizantha* adapta-se bem a todo tipo de solo, porém há dúvidas sobre sua tolerância à compactação do solo. A camada compactada pode constituir-se obstáculo ao livre crescimento de raízes, modificando a dinâmica da água, restringindo sua disponibilidade, além de reduzir a aeração do solo (KHAN et al., 2000).

A adaptação das plantas no ambiente agricultável que são inseridas depende, principalmente, do material genético de cada espécie, o que permite respostas distintas quando submetidas a condições de compactação de solo. Esta característica pode estar relacionada com a capacidade de adaptação das raízes em crescerem em solos relativamente densos, de acordo com Foloni (1999), o qual encontrou comportamento distintos entre adubos verdes e a cultura da soja cultivados em solo compactado, mostrando que a crotalária juncea apresentou grande potencial como descompactadora do solo e que a mucuna preta obteve o maior volume radicular e o maior acúmulo de matéria seca de raízes abaixo da camada compactada, possibilitando o aumento da aeração do solo bem como a incorporação de matéria orgânica em profundidade, independente das condições do solo ao longo do perfil.

#### **4.3. Ciclagem de nutrientes em SSD**

Em sistema de semeadura direta, os resíduos deixados na superfície e o não revolvimento do solo provocam alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que refletem na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas (KOCHHANN & SELLES, 1991). Essas alterações modificam o movimento e a redistribuição de compostos mais solúveis, entre os quais se destaca o nitrogênio. No entanto, o fósforo e o potássio tendem a acumular-se na camada superficial (SHER & MOSCHLER, 1969). E apesar da baixa mobilidade no solo e da alta suscetibilidade às reações de fixação, o acúmulo dos resíduos vegetais na superfície e o aumento da atividade biológica no plantio direto modificam

a dinâmica do P, pela mineralização do material orgânico, transformando as diferentes formas do nutriente no sistema solo-planta (FANCELLI, 2000; CALEGARI, 2006; MUZILLI, 2006).

E é devido ao papel desempenhado pela fração orgânica na dinâmica de íons, que a calagem sem incorporação no sistema de plantio direto torna-se eficiente, pois são os ácidos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular, oriundos da decomposição de resíduos vegetais, que promovem a movimentação de elementos químicos inorgânicos até as camadas mais profundas do perfil do solo (MUZILLI, 2006).

Ainda de acordo com Muzilli (2006), o uso de adubos verdes eficientes na ciclagem de nutrientes, como é o caso da aveia e centeio, na mobilização do Ca, e do nabo forrageiro, eficiente na complexação do Al trocável, permite a aplicação de calcário na superfície do solo, sem necessidade de incorporação do corretivo, como medida eficaz para melhorar as condições de fertilidade em solos ácidos sob plantio direto nas regiões subtropicais.

O N, uma vez fixado em compostos orgânicos, fica à disposição da ciclagem no complexo planta-palha-solo, formado pelos agroecossistemas. Isto pode ser verificado ao manejar o nabo forrageiro no estágio de pré-florescimento, pois ocorre rápida degradação da palhada, acarretando liberação de quantidades significativas de macronutrientes. Os nutrientes disponibilizados em maior quantidade e velocidade para a cultura subsequente neste caso foram o K e N, sendo a maior velocidade de liberação de macronutrientes pelo nabo forrageiro entre 10 e 20 dias após o manejo da fitomassa (CRUSCIOL et al., 2005).

Rosolem et al. (2004) em estudo sobre manejo de nitrogênio para milho em rotação de culturas, observaram que o tremoço e milheto proporcionaram um balanço positivo de N na cultura que o antecede, e concluíram que gramíneas podem ser recomendadas para rotação com milho em regiões tropicais, desde que recebam fertilização nitrogenada.

A reciclagem de nutrientes pode ser otimizada em função do cultivo de espécies vegetais conhecidas como adubos verdes ou plantas de cobertura (FIORIN, 1999). A aveia-preta e a ervilhaca reciclam grande quantidade de K, e a ervilhaca, a mucuna-preta, o tremoço e o guandu reciclam grande quantidade de N. Todas essas espécies reciclam

quantidades apreciáveis de Ca, Mg e micronutrientes, porém baixas quantidades de P (BORKERT et al., 2003).

O sistema radicular das leguminosas confere às plantas o poder de extrair elementos menos solúveis e de mobilizar nutrientes das camadas de solo mais profundas, aproveitando-as eficientemente para a nutrição da planta devido ao alto rendimento fisiológico e pela capacidade do sistema radicular dessas plantas alcançar grandes profundidades (INFORZATO, 1947; INFORZATO, 1974; INFORZATO & TELLA, 1960).

É o que ocorre com o P na fração inorgânica (P-lábil) o qual permanece mais concentrado na camada superior, enquanto a fração orgânica concentra-se nas camadas subjacentes do perfil do solo após vários anos em plantio direto. Esta distribuição de P em profundidade é atribuída à atividade biológica e à decomposição de raízes remanescentes (FANCELLI, 2000; CALEGARI, 2006; MUZILLI, 2006). Assim, quanto mais vigoroso e agressivo o sistema radicular, provavelmente mais P será reciclado.

No entanto, segundo esses autores, a fração de P-orgânico é importante reserva de P-lábil para as plantas nas camadas mais profundas do perfil do solo. Por isso, maior teor de umidade nas camadas superficiais protegidas pelos resíduos vegetais facilita a difusão das formas de P-lábil inorgânico na solução do solo, melhorando a eficiência de aproveitamento do nutriente pelas culturas.

Em relação à quantidade de nutrientes disponibilizados pelas plantas de cobertura, Oliveira et al. (2002), trabalhando com várias culturas de cobertura relataram que o milheto está entre àquelas de maior acúmulo de macronutrientes a serem fornecidos ao solo para o cultivo seguinte.

No entanto, culturas como as braquiárias vem demonstrando grande potencial na ciclagem de nutrientes. De acordo com Kluthcoushi (2003), a comparação de áreas sem rotação com pastagem com áreas com rotação, para mesmo teor de P, possibilitou observar que no sistema pastagem/culturas anuais a exigência desse elemento foi a metade ( $3 \text{ mg dm}^{-3}$ ) comparada aos sistemas sem rotação ( $6 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para uma produção de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de grãos de soja, evidenciando o favorecimento do balanço de P em áreas de integração agricultura/pastagem. Este resultado pode ser consequência da reciclagem de P proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo acumulada durante o período de pastagem e/ou do

bloqueio de sítios de adsorção de P pelo maior acúmulo de matéria orgânica do solo, reduzindo a fixação desse elemento.

É importante salientar que sistemas de manejo com integração lavoura-pecuária também são mais eficientes no aproveitamento do P do solo, além de recuperar mais esse elemento comparado a sistemas com cultura anual sem rotação, pois o sistema integração chega a recuperar mais de 60 % do P aplicado no 13º ano de cultivo, enquanto que a cultura anual recupera por volta de 37% (KLUTHCOUSHI, 2003).

Lima (2001) observou que as coberturas vegetais (sorgo de Guiné, milho e painço) com maiores produções de massa de matéria seca, independente dos teores de seus macronutrientes, apresentaram maiores acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S, sendo que o milho, aos 53 DAE, teve maior produção de matéria seca e conseqüentemente, o maior acúmulo de macronutrientes.

Dentre os macronutrientes o potássio é o mais solúvel em água e por isso os tecidos vegetais com elevado teor de água sempre carregam grandes quantidades do nutriente. Por exemplo, uma folha ao entrar em senescência tem teor de água ainda elevado, e ao cair, leva consigo o  $K^+$  dissolvido na água do próprio tecido. À medida que a folha seca, o  $K^+$  se concentra na palhada, sendo facilmente lavado pela água das chuvas (FANCELLI, 2000; CALEGARI, 2006; MUZILLI, 2006) ou irrigação.

O K lixiviado da palhada para o solo em sua maioria fica retido nos minerais de argila e a parte não retida é lixiviada, assim culturas com sistemas radiculares ativos em maiores profundidades no perfil do solo poderão evitar que esse K lixiviado ou mesmo retido no solo seja perdido através de sua absorção e futura disponibilidade do nutriente sob condições de cobertura vegetal.

Borkert et al. (2003) verificaram que a aveia preta é uma espécie de cobertura com alta capacidade recicladora de K do solo, devido ao elevado teor deste nutriente na sua parte aérea, além de possuir sistema radicular profundo, permitindo trazer o K contido em camadas mais profundas do solo. Mas não apenas a aveia preta apresenta alta capacidade recicladora, o milho, como planta de cobertura vegetal, tem alta capacidade para reciclar o K residual do adubo potássico aplicado na soja do ano anterior, mostrando que a cobertura vegetal de entressafra pode aumentar a eficiência no uso do fertilizante potássico (FOLONI, 2003).

Em virtude de chuvas, plantas de milho podem perder consideráveis quantidades de K, sendo que cerca de 60 a 80% é retido no resíduo e pode ser liberado durante o período de crescimento do próximo cultivo (ROSOLEM et al., 2005).

Um dos benefícios dos sistemas de produção que empregam rotação de culturas é diminuir a perda de nutrientes do sistema, estabelecendo um ciclo de absorção e de retorno do nutriente ao solo. Assim, a palha que permanece na superfície como “mulch” para protegê-lo dos efeitos climáticos e da erosão, ao ser mineralizada, libera nutrientes que podem ser aproveitados pela cultura subsequente (BORKERT et al., 2003). Essa reserva considerável de nutrientes contida nos restos vegetais (GASSEM & GASSEM, 1996) pode retornar ao solo pela ação da chuva, caracterizando a reciclagem de nutrientes (MALAVOLTA, 1980), pois as plantas retiram os nutrientes de camadas subsuperficiais e os liberam em camadas superiores (FIORIN, 1999).

Segundo Jones & Woodmanse (1979), 77% do fósforo das folhas ficam disponíveis para o crescimento das plantas cultivadas logo após o cultivo de plantas de cobertura. O potássio encontra-se totalmente na forma iônica  $K^+$ , uma vez que o nutriente não participa de componentes funcionais e estruturais da planta, e a decomposição dos restos vegetais o libera na sua totalidade. Desse modo, pode-se considerar um aproveitamento de quase 100% do potássio proveniente dos restos culturais, pois, perdas desse nutriente por lixiviação podem ocorrer em solos arenosos (SPAN & SALINAS 1985).

A absorção de nutrientes pelas plantas depende do crescimento e eficiência das raízes e da disponibilidade de nutrientes no solo. O crescimento radicular depende muito da umidade do solo e de sua resistência à penetração (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000; PASSIOURA, 1991; BENGHOUGH & MULLINS, 1990). A disponibilidade de nutrientes, por sua vez, é influenciada pela compactação do solo (BORGES et al., 1988; BENNIE, 1996), já que os processos de fluxo de massa e de difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até às raízes, dependem da condição física do solo, particularmente de sua densidade e umidade (NOVAIS & SMYTH, 1999).

A quantidade de raízes encontrada de 0 a 15 cm é suficiente para promover o rendimento máximo das culturas de ciclo curto, desde que o solo não apresente limitações ao crescimento das raízes e ao suprimento de água e nutrientes às plantas (ANGHINONI, 1998). Entretanto, é desejável, sob o aspecto de absorção de água e nutrientes

em ambientes agrícolas, que as plantas apresentem amplo sistema radicular, pois as raízes ocupam um volume pequeno, normalmente menos de 1% do volume do solo (BARBER, 1984; CAMARGO & ALLEONI, 1997).

O estudo do sistema radicular das culturas depende de técnicas de estudo radicular as quais são variáveis de acordo com a tecnologia disponível e objetivo do trabalho. A fitotoxicidade e distribuição irregular na planta são alguns dos problemas no uso da técnica de elementos não marcados, no entanto o Rubídio é um elemento que expressa de maneira satisfatória a atividade radicular das plantas porque é considerado um análogo do potássio (EPSTEIN, 1961; EPSTEIN, RAINS & ELZAM, 1963). Além de ser encontrado nas formas de cloreto, fosfato, sulfato e nitrato, o elemento não faz parte dos fertilizantes e corretivos, bem como não se constitui como nutriente essencial às plantas o que possibilita confiabilidade nos resultados. Mas, devido sua similaridade com o K pode estar sujeito às interações com o solo.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

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

O experimento foi instalado na área da Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, em Botucatu - São Paulo. A localização da área experimental está definida pelas coordenadas geográficas: 22°49' S e 48°25' W de Greenwich, com altitude média de 770 metros e declividade de 3%.

O experimento foi instalado em uma área que vinha sendo cultivada há 5 anos, em sistema de semeadura direta, com soja/aveia preta ou milho/milheto, sendo a soja e o milho cultivados no verão e a aveia preta e milheto no outono/inverno.

### **5.2. Características edáficas da área experimental**

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho (EMBRAPA, 1999), de textura argilosa, com relevo plano a suave ondulado e com boa drenagem. Em julho de 2005 foram retiradas amostras de solo aleatoriamente na área para determinar as características químicas e granulométricas nas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 m, (Quadro 1). Os procedimentos de coleta e as determinações de laboratório seguiram as metodologias propostas Embrapa (1997) e Rajj et al. (2001).



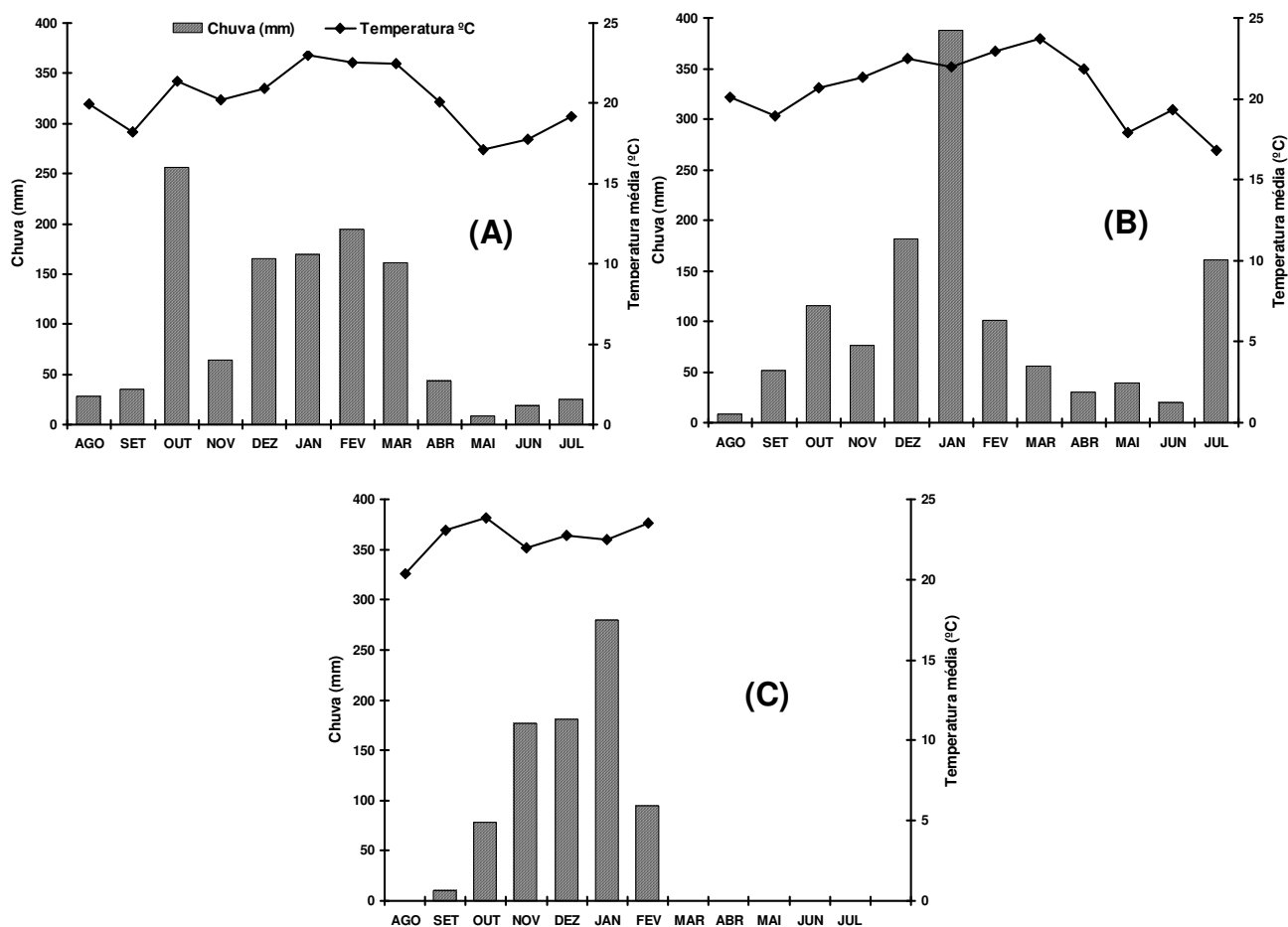
**Quadro 1.** Caracterização química e granulométrica do solo da área experimental antes da instalação dos tratamentos (Agosto 2005).

Camada	pH	MO	P-res	Ca	Mg	K	H+Al	Al	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> -----								%
<b>0,00-0,10</b>	4,6	25	3,6	13	7,2	1,1	47	0,6	21	69	31	
<b>0,10-0,20</b>	4,5	22	3,0	9	6,1	0,4	50	0,6	15	66	24	
<b>0,20-0,40</b>	4,2	20	1,1	4	3,2	0,3	68	1,6	7	75	9	
<b>0,40-0,60</b>	4,0	20	0,7	1	2,1	0,3	92	4,1	2	95	3	
-----Características granulométricas (g kg <sup>-1</sup> )-----												
	Areia		Argila		Silte		Textura					
<b>0,00-0,10</b>	367		489		145		Argilosa					
<b>0,10-0,20</b>	338		508		154		Argilosa					
<b>0,20-0,40</b>	296		555		149		Argilosa					
<b>0,40-0,60</b>	313		539		148		Argilosa					

### 5.3. Características climáticas da área experimental

O clima de Botucatu, baseado no sistema de classificação de Wilhelm Köppen, foi incluído no tipo Cwa. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18,0 °C e a do mês mais quente é superior a 24,1 °C, com precipitação pluvial mínima mensal superior a 37,7 mm e média anual de 1.358,6 mm.

Os dados climáticos da região foram obtidos junto à estação agrometeorológica localizada ao lado da área experimental e estes se referem ao período de condução do experimento (Figura 1).



**Figura 1.** Total de chuva mensal (mm) e temperatura média mensal (°C) referente aos anos agrícolas 2005/2006 (A), 2006/2007 (B), 2007/2008 (C) na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu-SP.

#### 5.4. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por Semeadura Direta Sem Escarificação (Sem escarificação-SDSE) e Semeadura Direta Com Escarificação (Com Escarificado-SDCE) inicial com subsolador, onde foram implantados 3 sistemas de rotação de culturas como mostra o Quadro 2. Inicialmente toda a área foi cultivada com milho (*Pennisetum glaucum* L. Leek, variedade ADR 500) como cobertura do solo em primavera. Em seguida foi cultivada a soja (*Glycine max* L. (Merrill)) no verão, a partir desse momento, cada tratamento começou a se diferenciar com as culturas subsequentes, como está apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2.** Rotações de culturas implantadas nas safras de 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008 sob Semeadura Direta Com Escarificação (SDCE) e Semeadura Direta Sem Escarificação (SDSE).

Manejo	Estação	Safras		
		2005/2006	2006/2007	2007/2008
ESC	Outono		Sorgo	Sorgo
	Inverno		Sorgo	Sorgo
	Primavera	Milheto	Sorgo	Sorgo
	Verão	Soja	Milho	Soja
ESC	Outono		<i>Brachiaria</i>	<i>Brachiaria</i>
	Inverno		<i>Brachiaria</i>	<i>Brachiaria</i>
	Primavera	Milheto	<i>Brachiaria</i>	<i>Brachiaria</i>
	Verão	Soja	Milho + <i>Brachiaria</i>	Soja
ESC	Outono		<i>Brachiaria</i> + Mamona	<i>Brachiaria</i> + Mamona
	Inverno		<i>Brachiaria</i> + Mamona	<i>Brachiaria</i> + Mamona
	Primavera	Milheto	<i>Brachiaria</i> + Mamona	<i>Brachiaria</i> + Mamona
	Verão	Soja	Milho + <i>Brachiaria</i>	Soja
SSD	Outono		Sorgo	Sorgo
	Inverno		Sorgo	Sorgo
	Primavera	Milheto	Sorgo	Sorgo
	Verão	Soja	Milho	Soja
SSD	Outono		<i>Brachiaria</i>	<i>Brachiaria</i>
	Inverno		<i>Brachiaria</i>	<i>Brachiaria</i>
	Primavera	Milheto	<i>Brachiaria</i>	<i>Brachiaria</i>
	Verão	Soja	Milho + <i>Brachiaria</i>	Soja
SSD	Outono		<i>Brachiaria</i> + Mamona	<i>Brachiaria</i> + Mamona
	Inverno		<i>Brachiaria</i> + Mamona	<i>Brachiaria</i> + Mamona
	Primavera	Milheto	<i>Brachiaria</i> + Mamona	<i>Brachiaria</i> + Mamona
	Verão	Soja	Milho + <i>Brachiaria</i>	Soja

As espécies utilizadas nas diferentes rotações de culturas foram a braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), o sorgo (*Sorghum vulgare*), o milheto (*Pennisetum glaucum* L. Leek), o milho (*Zea mays* L.) e a mamona (*Ricinus communis* L.).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema de parcelas subdivididas. Tiveram-se como parcelas principais o sistema SDSE e SDCE e como subparcelas os três sistemas de rotação apresentados no Quadro 2.

As duas safras de soja e uma de milho foram cultivadas como safras de verão em todas as parcelas. As demais culturas foram cultivadas no período de outono-inverno e início da primavera. A escarificação do solo foi realizada somente antes da instalação dos tratamentos (Agosto de 2005).

### **5.5. Instalação e condução do experimento (Agosto de 2005)**

A área foi dividida em quatro blocos com 12 m de comprimento por 30 m de largura. Cada parcela foi demarcada com área útil de 180 m<sup>2</sup> (dimensões de 12 x 15 m), espaçadas uma das outras pela distância de 2,5 m (Figura 2). Em cada subparcelas, a área útil foi de 60 m<sup>2</sup> (dimensões de 12 x 5 m), espaçadas umas das outras por 1 m.

Os carregadores entre os blocos foram dimensionados com 12 m de largura, e foram semeados normalmente e considerados como bordaduras. Portanto, o experimento ocupou uma área total de 2.340 m<sup>2</sup> (72 x 32,5 m).



**Figura 2.** Vista geral da área experimental na instalação/demarcção das parcelas e definição dos tratamentos.

#### **5.5.1. Aplicação de corretivos de acidez (Agosto de 2005)**

Com os resultados da análise química do solo (Quadro 1), verificou-se a necessidade de correção da acidez e a elevação da saturação por bases. Para tanto, considerou-se a camada de 0,00-0,20 m de profundidade e procederam-se os cálculos para

atingir um  $V\%=60$ . Desta forma procedeu-se no dia 16/08/2005 a aplicação de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico (PRNT 87%), em superfície e sem incorporação, aplicado com o auxílio de equipamento específico (Nevoeiro 5002 S) para distribuição de corretivos na forma de pó, por possibilitar uma distribuição mais uniforme.

### **5.5.2. Escarificação do solo (Agosto de 2005)**

Os resultados apresentados pela análise de caracterização física do solo reforçaram as suspeitas que o solo apresentava uma camada compactada, o que deu respaldo para no dia 17/08/2005 ser realizada a escarificação deste tratamento com o auxílio de um arado escarificador (sete hastes montadas). As hastes foram espaçadas entre si 0,60 m, em cada barra, resultando em um espaçamento efetivo entre sulcos de 0,30 m, com profundidade de descompactação de 0,30 m. Essa operação foi efetuada com o solo apresentando consistência friável. Acoplado ao equipamento havia um rolo destorroador para quebrar os torrões maiores, diminuindo a rugosidade do terreno e eliminando a necessidade de realização de gradagem.

### **5.5.3. Semeadura e condução do milho (safra 2005/2006)**

A semeadura do milho foi realizada no dia 13/09/2005 sem a aplicação de fertilizantes. Nesta operação foi utilizada a semeadora-adubadora de fluxo contínuo desenvolvida para semeadura direta, da marca Semeato, modelo THM 13 (Personale Drill), de arrasto, com 13 linha espaçadas a 0,17 m, equipada com discos de corte de 16" de diâmetro, com discos duplos concêntricos sulcadores de 13" para adubo e sementes.

Utilizaram-se  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes de milho cultivar ADR 500 (Germinação = 85%). A densidade de semeadura foi definida em, aproximadamente, 450 sementes  $\text{m}^{-2}$ , as quais foram tratadas com os fungicidas Carboxin – Thiram ( $100 \text{ mL } 50 \text{ kg}^{-1}$  de sementes, do produto comercial Vitavax - SC).

Aos 65 dias após a emergência (DAE) das plantas de milho, em 18/11/2005, fez-se à dessecação química das plantas com herbicida pós-emergente não seletivo Glyphosate (dose de  $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$  do produto comercial Roundup WG, Monsanto do

Brasil Ltda.), aplicado com pulverizador de barras motomecanizado, munido com bicos tipo leque, modelo 110-03, marca Tej-Jet, espaçados em 0,50 m, com pressão de trabalho de 50 lbf cm<sup>-2</sup>, e com volume de calda de 120 L ha<sup>-1</sup>.

#### **5.5.4. Semeadura e condução da cultura da soja (safra 2005/2006)**

No dia 22/11/2005, após a dessecação do milho, semeou-se a soja, cultivar Embrapa 48, utilizando-se uma Semeadora-adubadora (descrita no item 5.5.3) com linhas espaçadas à 0,45 m. As sementes foram depositadas a 0,05 m de profundidade, sendo o adubo depositado logo abaixo, a 0,07 m.

A densidade de semeadura foi, aproximadamente, 18 sementes m<sup>-1</sup> (Germinação=90%). As sementes foram tratadas com o inseticida Cruiser (50 g) e fungicida Carboxin- Thiran (produto comercial Vitavax-Thiran 200 SC, Uniroyal Química S.A.) (125 mL) e inoculante (Biomax, Bio Soja) na quantidade de 250 g para cada 50 kg de sementes. Além disso, as sementes receberam 200 mL de Cobalto + Molibdênio, para cada 50 kg de sementes.

A adubação de semeadura foi realizada com a formulação 4-20-20 na quantidade de 300 kg ha<sup>-1</sup>. As adubações da soja foram feitas de acordo com a análise do solo (RAIJ et al., 1996) e seguiram as recomendações de espaçamentos e tratos fitossanitários.

Aos 22 DAE, em 14/12/2005, para controle das plantas daninhas dicotiledôneas, foi aplicado herbicida pós-emergente inicial seletivo Bentazon (1,2 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Basagran 600, Basf S.A.). Para o controle de plantas daninhas monocotiledôneas, utilizou-se o graminicida Sethoxydim (1,0 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Poast, Basf S.A.) e para o controle preventivo de insetos desfolhadores utilizou-se Deltametrina (300 ml ha<sup>-1</sup> do produto comercial Keshet 25 CE, Agricur Defensivos Agrícolas Ltda.).

Aos 50 DAE, no dia 11/01/2006, fez-se a segunda pulverização com Sethoxydim (1,0 L ha<sup>-1</sup>) e aos 51 DAE fez-se a segunda aplicação do herbicida Bentazon (1,2 L ha<sup>-1</sup>) e o inseticida Deltametrina (0,4 L ha<sup>-1</sup>). Nesta mesma data fez-se a primeira pulverização preventiva (ferrugem asiática e oídio) com o fungicida Piraclostrobina + Epoxiconazol (0,5 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Opera, Basf S.A.).

Aos 78 DAE, no dia 07/02/2006, aplicou-se a segunda pulverização com Piraclostrobina + Epoxiconazol ( $0,50 \text{ L ha}^{-1}$ ) e o inseticida Metamidofós ( $0,40 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial Metamidofós Fersol 600, Fersol Indústria e Comércio Ltda.).

Aos 93 DAE (Figura 3a), no dia 22/02/2006, fez-se outra pulverização com fungicida e utilizou-se  $0,50 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial Orius e o inseticida Deltametrina ( $300 \text{ ml ha}^{-1}$ ). Aos 112 DAE (Figura 3b), fez-se a última pulverização utilizando-se o inseticida Metamidofós ( $0,50 \text{ L ha}^{-1}$ ) e fungicida Piraclostrobina + Epoxiconazol ( $0,50 \text{ L ha}^{-1}$ ).



**Figura 3.** Cultura da soja: a) Plantas aos 93 DAE e b) Plantas aos 105 DAE.

Aos 135 DAE, no dia 05/04/2006, efetuou-se a colheita de 3 linhas centrais ( $16,2 \text{ m}^2$ ) com uma colheitadeira de parcelas automotriz da marca Winterteiger SeedMech, modelo Nursery Máster Elite (Figura 4).



**Figura 4.** Detalhe da colheitadeira de parcelas automotriz marca Winterteiger SeedMech, modelo Nursery Master Elite e área experimental após colheita da soja.

### 5.5.5. Semeadura e condução da braquiária (safra 2005/2006)

A braquiária foi sobre-semeada na cultura da soja em 22/02/2006 quando a mesma se encontrava em estágio fisiológico R7. A quantidade de sementes foi calculada de acordo com o valor cultural (V.C.) das sementes de *Brachiaria ruzizienses*, o qual se leva em consideração a percentagem de germinação e a pureza das sementes. Para o sistema, usaram-se 600 pontos de V.C. ha<sup>-1</sup>. O laudo de análise laboratorial das sementes, fornecido pelo produtor, apresentou 90% de germinação e 43,6 % de pureza. Assim, através das equações 1 e 2 obteve-se a quantidade de sementes necessária para atingir 600 pontos de V.C.

$$\text{Pontos V.C. (para 1 kg sementes)} = \{\text{germinação (\%)} \times \text{pureza (\%)}\} / 100 \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Quantidade de Sementes ha}^{-1} \text{ (kg)} = (600 / \text{Pontos VC}) \quad (\text{Equação 2})$$

Desta forma, para as condições deste experimento utilizaram-se 15,3 kg de sementes ha<sup>-1</sup>, as quais foram distribuídas manualmente na superfície do solo em linhas individuais para evitar a barreira proporcionada pela folhas da cultura da soja, o que poderia promover uma má distribuição das sementes, o que não ocorreu de acordo com a Figura 5.

A braquiária permaneceu na área até sua dessecação química em 27/11/2006 com a aplicação de Glyphosate (1 kg ha<sup>-1</sup> do produto comercial Roundup WG, Monsanto do Brasil Ltda.), aplicado com pulverizador de barras motomecanizado, munido com bicos tipo leque, modelo 110-03, marca Tej-Jet, espaçados em 0,5 m, com pressão de trabalho de 40 lbf cm<sup>-2</sup>, e com volume de calda de 190 L ha<sup>-1</sup> ).





**Figura 5.** Cultura da *Brachiaria ruziziensis* aos 15 e aos 240 DAE, respectivamente.

#### **5.5.6. Semeadura e condução da mamona (safra 2006/2007)**

No dia 06/04/2006, após a colheita da soja, semeou-se a mamona, cultivar Lyra, utilizando-se uma Semeadora-adubadora (descrita no item 5.5.3), com 5 linhas espaçadas à 0,45 m. As sementes foram depositadas a 0,05 m de profundidade e não se utilizou adubação.

Utilizou-se uma densidade de semeadura de, aproximadamente, 3,8 sementes  $m^{-1}$  (Germinação=70%). As sementes foram tratadas com o fungicida Carboxin e Thiran (produto comercial Vitavax-Thiran 200 SC, Uniroyal Química S.A) (150 ml para cada 50 kg de sementes).

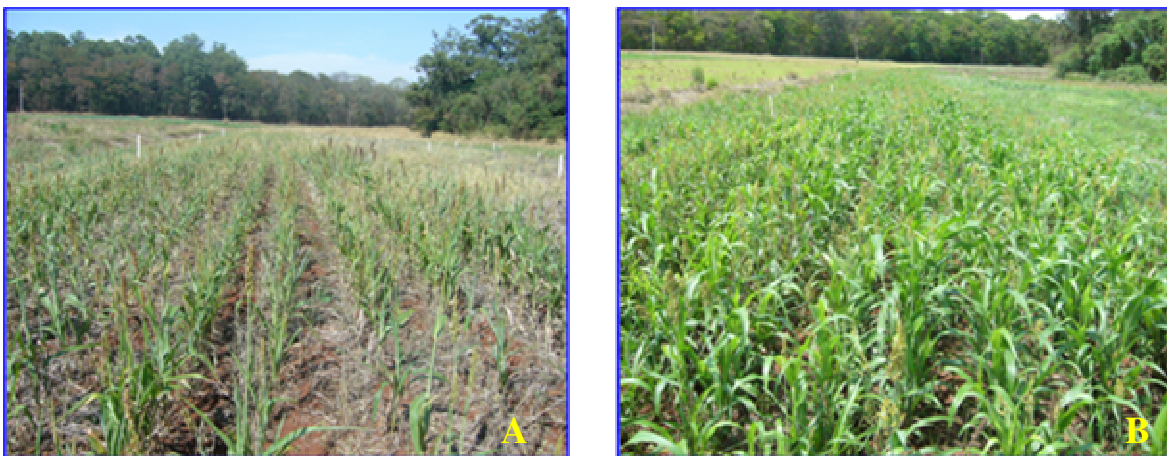
A cultura permaneceu na área como planta de cobertura, pois devido ao período prolongado de baixas precipitações (Figura 1A e 1B), a mesma não atingiu a maturação reprodutiva no momento do manejo químico em 27/11/06 (descrito no item 5.5.5) para a semeadura do milho.

#### **5.5.7. Semeadura e condução do sorgo (safra 2006/2007)**

No dia 06/04/2006, após a colheita da soja, semeou-se o sorgo, híbrido Pioneer 8118, utilizando-se a mesma Semeadora-adubadora (descrita no item 5.5.3) com 5 linhas espaçadas a 0,45 m. As sementes foram depositadas 0,04 m de profundidade e não se utilizou adubação.

Utilizou-se uma densidade de semeadura de, aproximadamente, 8 sementes  $m^{-1}$  (Germinação=90%). As sementes foram tratadas com os fungicidas Carboxin e Thiran (produto comercial Vitavax-Thiran 200 SC, Uniroyal Química S.A.) (150 ml por 50 kg de sementes) com o objetivo de proporcionar um stand final de 178000 pl  $ha^{-1}$ .

A cultura do sorgo foi prejudicada com a estiagem (veranico) durante o inverno, como pode ser observada na Figura 6 A, não sendo possível a colheita de grãos. Após o início do período chuvoso (Outubro 2006), a cultura rebrotou, mas não houve tempo suficiente para a produção de grãos, pois a mesma teve que ser dessecada quimicamente para semeadura do milho (Figura 6).



**Figura 6.** Cultura do sorgo aos 125 DAE (11/08/2006-estiagem) (A) e aos 194 DAE (20/10/2006-início das chuvas) (B), respectivamente.

#### 5.5.8. Semeadura e condução do milho + braquiária (2006/2007)

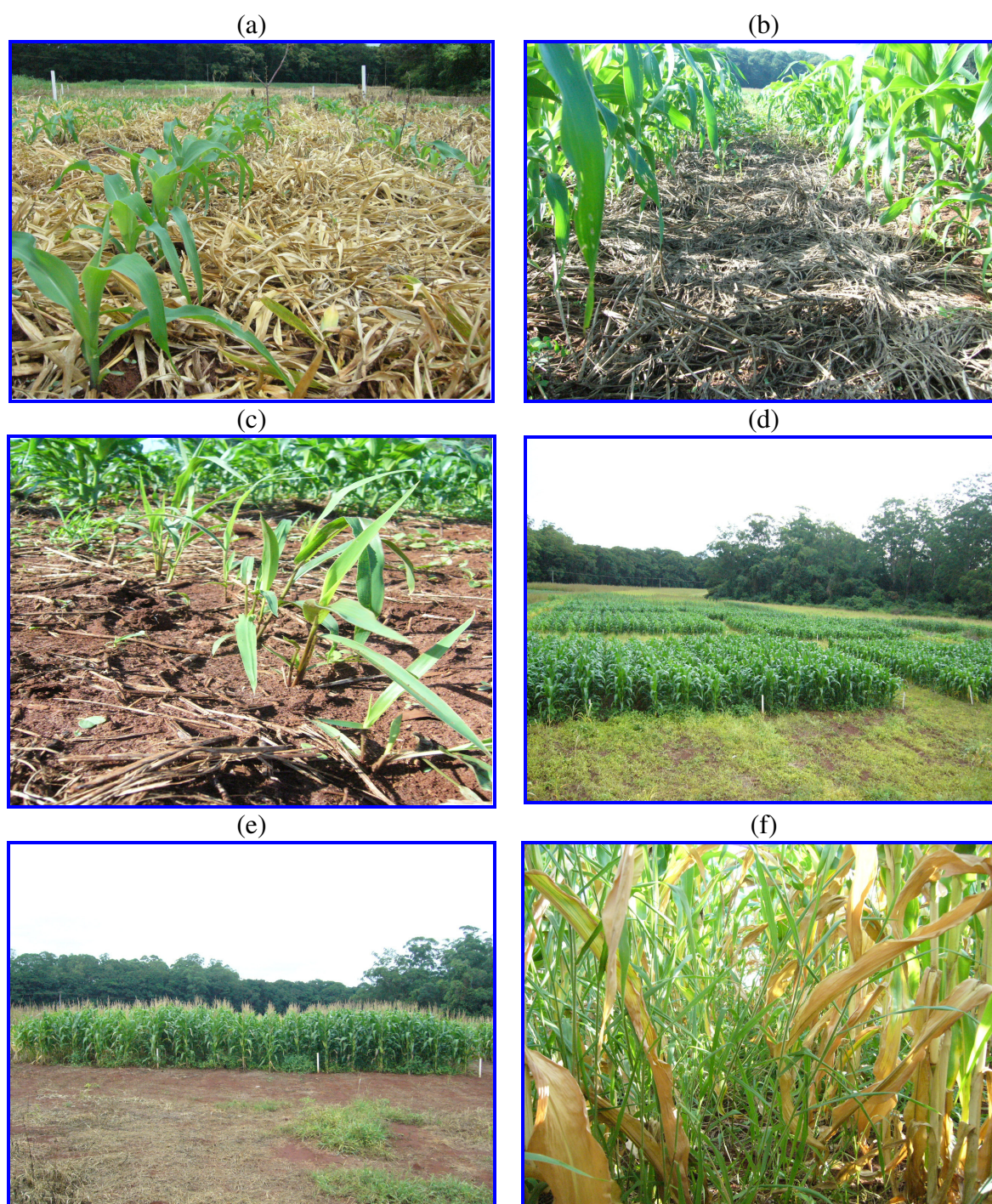
No dia 27/12/2006, após 1 semana da dessecação química das plantas de cobertura (sorgo, braquiária e mamona), semeou-se o milho, cultivar DOW 2B710 (Figura 7), utilizando-se a Semeadora-adubadora (descrita no item 5.5.3) com linhas espaçadas à 0,90 m. As sementes foram depositadas a 0,06 m de profundidade, sendo o adubo depositado logo abaixo, a 0,08 m.

Utilizou-se uma densidade de semeadura de, aproximadamente, 5,7 sementes  $m^{-1}$  (Germinação=98%) visando atingir 63000 plantas  $ha^{-1}$ . A adubação de semeadura foi realizada com a formulação 8-28-16 na quantidade de 400 kg  $ha^{-1}$ . Na mesma

operação, foi realizada a semeadura da braquiária na linha de semeadura do milho, na quantidade de sementes de 10% do peso de adubo, misturados em uma betoneira.

No dia 10/01/2007, aplicou-se 150 kg ha<sup>-1</sup> de Sulfato de Amônio (20% N e 23% S) visando suprir as necessidades iniciais da cultura, pois a mesma encontrava-se com clorose, devido ao período de intensas precipitações ocorridas no início de janeiro de 2007 (Figura 1 B). Aos 18 DAE, em 15/01/2007, para controle das plantas daninhas monocotiledôneas, utilizou-se o graminicida nicosulfuron (1,25 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Sanson 40 SC, Basf The Chemical Company) nas subparcelas que não continham a braquiária, e para o controle preventivo de insetos desfolhadores utilizou-se o inseticida Deltametrina (300 ml ha<sup>-1</sup> do produto comercial Keshet 25 CE, Agricur Defensivos Agrícolas Ltda.). No dia 31/01/2007 aplicaram-se os inseticidas lefenuron (0,3 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Match CE, Novartis Biociências S.A.) e Spinosad (75 mL ha<sup>-1</sup> do produto comercial Tracer, Dow AgroScience Industrial Ltda.), respectivamente.

Em 01/02/2007 fez-se a última aplicação de N em cobertura (60 kg ha<sup>-1</sup>, fonte Uréia) e a aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.



**Figura 7.** Cultura do milho sob palhada de braquiária: aos 18 DAE (a); aos 32 DAE (b); detalhe das plantas de braquiária na linha de semeadura (c); aos 54 DAE (d); aos 80 DAE (e) e aos 105 DAE com braquiária na linha (f).

Aos 120 DAE, em 02/05/2007 colheu-se manualmente o milho em 3 linhas centrais de cada subparcela, numa área útil de 32,4 m<sup>2</sup> acondicionando as espigas em sacos de ráfia para posterior trilha. Após a trilha das espigas, foi pesada a produção e retirado amostras para determinação do teor de umidade. A produtividade foi corrigida para 13% de umidade nos grãos, através da Equação 3.

$$\text{Produtividade} = (100 - \%U) / 87 \times \text{produção} \quad \dots\dots \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: Produtividade = kg ha<sup>-1</sup> a 13 % de umidade; % U = umidade de colheita; produção = kg colhidos.

### 5.5.9. Semeadura e condução do sorgo e da mamona (safra 2007/2008)

As baixas precipitações que ocorreram após a semeadura do sorgo e mamona na safra 2006, levaram-nos a alterar a época de semeadura destas culturas na safra 2007, a qual foi realizada em 26/07/2007, após precipitação de 86 mm ocorrida entre os dias 23 e 25/07.

Para semeadura foram usadas as mesmas cultivares utilizadas na safra anterior, como descrito nos itens 5.5.6 e 5.5.7 (Figura 8).



**Figura 8.** Cultura da braquiária e mamona em 20/10/2007.

### 5.5.10. Semeadura e condução da soja (safra 2007/2008)

No dia 13/12/2007 fez-se a dessecação das plantas de cobertura utilizando 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de Glifosato em 180 L de calda (Produto comercial Roundup WG, Monsanto S.A). No dia 15/12/2007, semeou-se a soja, cultivar Embrapa 48, utilizando-se uma Semeadora-adubadora já descrita anteriormente, com linhas espaçadas à 0,45 m (Figura 9).

As sementes foram depositadas a 0,05 m de profundidade, sendo o adubo depositado logo abaixo, a 0,07 m. No dia 17/12/2007, foi feita a aplicação de 2,0 L ha<sup>-1</sup> de Paraquat (Produto comercial Gramoxone, Zeneca Brasil Ltda) com o objetivo de evitar a competição entre a soja e a braquiária.

Utilizou-se uma densidade de semeadura de, aproximadamente, 21 sementes m<sup>-1</sup> (Germinação=88%). As sementes foram tratadas da mesma forma e com os mesmos produtos utilizados na safra 2005/2006 (descrito no item 5.5.4).

A adubação de semeadura foi realizada com a formulação 4-14-08 na quantidade de 400 kg ha<sup>-1</sup>. Aos 23 DAE, em 07/01/2008, para controle das plantas daninhas dicotiledôneas, fez-se uma aplicação de herbicida pós-emergente inicial seletivo Lactofem (0,650 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Cobra, Bayer S.A.). Para o controle de plantas daninhas monocotiledôneas, não foi necessário a aplicação de herbicida, pois sua incidência foi muito baixa devido a boa cobertura do solo pela palhada.



**Figura 9.** Semeadura de soja sob a cobertura do solo com braquiária e vista geral da área após dessecação química das plantas.

Aos 47 e aos 81 DAE, nos dias 31/01/2008 e 05/03/2008, foram realizadas as pulverizações com inseticida Deltametrina (300 ml ha<sup>-1</sup> do produto comercial Keshet 25 CE, Agricur Defensivos Agrícolas Ltda.) e com fungicida Piraclostrobina+Epoxiconazol (0,5 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Opera, Basf S.A.).

Aos 102 DAE, no dia 26/03/2007, aplicou-se a terceira pulverização com Piraclostrobina + Epoxiconazol (0,5 L ha<sup>-1</sup>) e o inseticida Metamidofós (0,8 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Tamaron, Bayer S.A.).

Aos 118 DAE, no dia 11/04/2008, efetuou-se a colheita de 3 linhas centrais (16,2 m<sup>2</sup>) com uma colhedora de parcelas automotriz da marca Winterteiger SeedMech, modelo Nursery Máster Elite (Figura 4).

## **5.6. Avaliações**

### **5.6.1. Fertilidade do solo (safras 2005/2006; 2006/2007; 2007/2008)**

Amostras foram coletadas nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m antecedendo a semeadura do milho em agosto de 2005 (as quais serviram para caracterização da área, análise completa), no manejo das plantas de cobertura em novembro de 2006, aos 30, 60 e 90 DAE do milho em 2007, no manejo das plantas de cobertura em novembro de 2007 e aos 54, 74, 94 e 114 DAE da soja em 2008. Em ocasião da caracterização da área foram determinados pH em CaCl<sub>2</sub> a 0,01 mol L<sup>-1</sup>, Ca, Mg, K, Al, H+Al, P, matéria orgânica (MO), de acordo com Raij et al., (2001). E para os demais períodos de avaliação foram analisados MO, P, K, Ca e Mg para as camadas estudadas.

Após secagem ao ar, as amostras foram destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, antes de serem submetidas às análises químicas. A matéria orgânica foi determinada por colorimetria (RAIJ et al., 2001).

### **5.6.2. Resistência do solo à penetração (1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup> e 3<sup>o</sup> ano agrícola)**

Utilizando-se um penetrômetro hidráulico-eletrônico desenvolvido por Santos e Lanças (1999) e seguindo normas da ASAE (1995), determinou-se a resistência do solo à penetração. As medidas foram efetuadas antes da instalação do experimento (agosto 2005) para caracterização inicial da área experimental antes da semeadura do milho (novembro 2006), onde neste período havia parcelas com sorgo, braquiária e mamona. Em novembro de 2007 no momento da avaliação da resistência do solo à penetração as parcelas tinham como cultura a braquiária, sorgo e mamona.

O penetrômetro utilizado possui acionamento por pistão hidráulico com haste de 1” de diâmetro e 600 mm de curso, acionado por um trator através de mangueiras e engates rápidos. Para garantir a velocidade de penetração constante da haste, independente da resistência encontrada na penetração do solo, uma válvula hidráulica de regulação de vazão (velocidade de  $1820 \text{ mm min}^{-1}$  - ASAE, 1995) foi instalada no circuito hidráulico.

A haste do penetrômetro possui diâmetro de 5/8” (15,875 mm) e ponteira na forma de um cone com ângulo sólido de 30° e diâmetro da base de 3/4” (19,05 mm). Uma célula de carga, com capacidade para 5000 N, instalada entre a haste do pistão e a haste do penetrômetro, fornece a força de penetração.

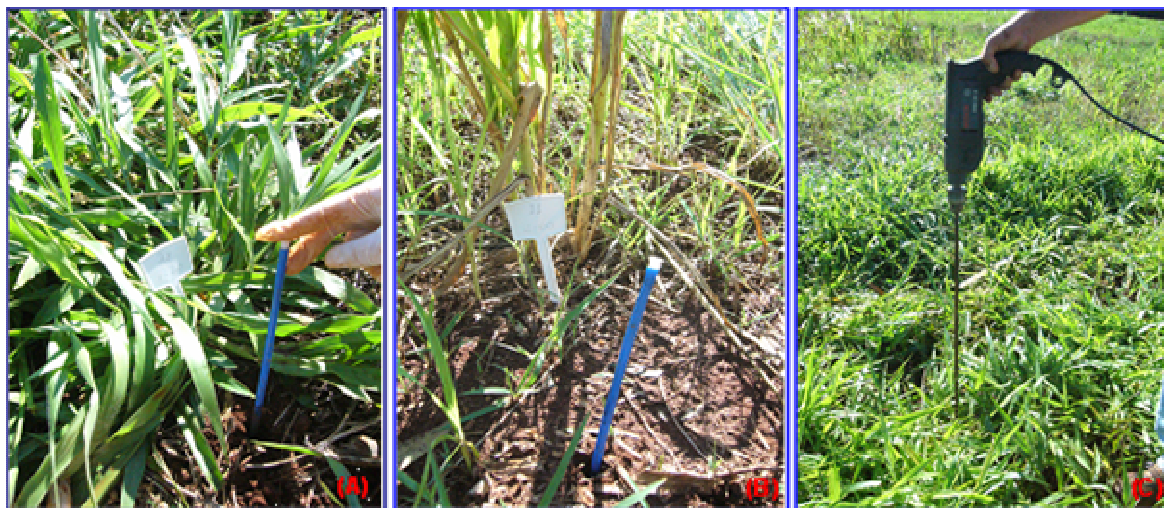
Para registro dos dados utilizou-se um MicroLogger 21 X e acessórios que recebem as informações (em milivolts) da célula de carga e de um potenciômetro elétrico instalado em uma polia para determinar a profundidade de penetração. Os dados descarregados em um computador e utilizando uma planilha do Excel para transformação dos dados (milivolts para Newton e milivolts para metros) e cálculo da resistência do solo à penetração.

### **5.6.3. Atividade radicular – sorgo, braquiária e mamona (novembro 2006)**

No manejo dos sistemas de rotação, nos quais continham braquiária e sorgo (novembro 2006) avaliou-se a atividade radicular dessas culturas, através da aplicação de 3 mL da solução de nitrato de Rubídio ( $\text{RbNO}_3$ ), na concentração  $1,0 \text{ mg.dm}^{-3}$  de Rb, com auxílio de um cateter, aplicado às distâncias de 0,11 e 0,22 m da planta de referência e nas profundidades 0,05; 0,10; 0,20, 0,40 e 0,60 m, com 4 repetições. O orifício feito no solo para a



passagem do cateter (Figura 10 A e 10 B) foi aberto com o auxílio de uma furadeira elétrica (Figura 10 C) provida de broca de ½". A parte aérea das plantas foi coletada decorridos 4 dias da aplicação do  $\text{RbNO}_3$ , seca em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65°C por 72 horas e posteriormente pesada (ENCIDE-OLIBONE, et al., 2008). Em seguida realizou-se a moagem das amostras para digestão nitroperclórica e determinação do teor de Rb (Rubídio) através da absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997).



**Figura 10.** Aplicação de  $\text{RbNO}_3$  nas parcelas com plantas de cobertura: (A) Detalhe do cateter de aplicação de  $\text{RbNO}_3$  em braquiária; (B) Detalhe do cateter de aplicação de  $\text{RbNO}_3$  em sorgo; (C) Furadeira elétrica utilizada para abertura do orifício no solo.

#### 5.6.4. Atividade radicular – sorgo, braquiária e mamona (dezembro 2007)

No manejo dos sistemas de rotação, nos quais continham braquiária, mamona e sorgo (dezembro 2007) avaliou-se a atividade radicular dessas culturas como descrito no item 5.6.3 (ENCIDE-OLIBONE, et al., 2008). As plantas foram coletadas decorridos 4 dias da aplicação do  $\text{RbNO}_3$ , secas em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65°C por 72 horas e posteriormente pesada. Em seguida realizou-se a moagem das amostras para digestão nitroperclórica e determinação do teor de Rb (Rubídio) através da absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997).

### **5.6.5. Massa seca aérea da braquiária, da mamona e do sorgo**

Para as avaliações da massa de matéria seca das plantas de braquiária e sorgo foram coletadas três amostras por parcela, utilizando-se um quadro de madeira com 0,25 m<sup>2</sup> (0,5 x 0,5 m), no momento da aplicação do nitrato de rubídio. O material foi seco em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65° C por 72 horas, efetuando-se posteriormente a pesagem das amostras e em seguida, foram moídas, passadas em peneira de 1 mm de malha para a análise química.

### **5.6.6. Acúmulo de nutrientes pela braquiária, mamona e sorgo**

O acúmulo de nutrientes nas plantas de cobertura foi realizado nas amostras coletadas antecedendo o manejo destas plantas (novembro de 2006 e dezembro de 2007). Determinaram-se os teores de N, P, K, Ca e Mg, segundo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

### **5.6.7. Massa seca radicular da braquiária, mamona e sorgo**

Foram coletadas amostras de raízes das plantas de cobertura, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. As raízes das plantas de cobertura foram amostradas antes da dessecação química, ou seja, no dia 26/11/2006, sendo coletadas quatro subamostras aleatórias em cada subparcela.

Para amostragem nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 utilizou-se um trado coletor de raízes confeccionado em aço com caneca coletora de solo + raiz com diâmetro interno de 0,067 m. Para amostragem das camadas de 0,20-0,40 e de 0,40-0,60 m foi utilizado outro trado semelhante, porém com diâmetro interno de 0,047 m.

Após a coleta, o solo contendo as raízes foi acondicionado em sacos plásticos e congeladas a -4°C, para em seguida serem lavadas e analisadas.

Precedendo a lavagem das raízes, as amostras foram colocadas em recipientes (baldes plásticos) contendo água para acelerar o descongelamento e amolecer o solo para facilitar o processo de lavagem. Após o descongelamento dos torrões, as amostras

foram despejadas em peneiras com malha de 0,001 m e lavadas com jatos de água dirigidos para a retirada de todo o solo das amostras. Utilizaram-se pinças para separar as raízes de impurezas, como caules e folhas. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de aeração forçada a 65°C por 48h, para determinação da massa de matéria seca radicular.

#### **5.6.8. Atividade radicular – milho**

Avaliou-se a atividade radicular do milho no estágio de pleno florescimento, o que ocorreu no mês de março de 2007. Os procedimentos foram os mesmos para a braquiária e o sorgo: 3 mL da solução de nitrato de Rubídio ( $\text{RbNO}_3$ ), na concentração  $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Rb, com auxílio de um cateter, aplicado às distâncias de 0,11 e 0,22 m (1/4 e 1/2 do espaçamento soja) das plantas de referência e nas profundidades 0,05; 0,10; 0,20; 0,40 e 0,60 m. O orifício feito no solo para a passagem do cateter foi aberto com o auxílio de uma furadeira elétrica provida de broca de 1/2". A parte aérea das plantas foi coletada decorridos 4 dias da aplicação do  $\text{RbNO}_3$ , seca em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65° C por 72 horas. Em seguida realizou-se a moagem das amostras para digestão nitroperclórica e determinação do teor de Rb (Rubídio) através da absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997).

#### **5.6.9. Massa seca e acúmulo de nutrientes pelo milho**

Para esta análise foram coletadas 3 plantas (parte aérea) aleatoriamente nas parcelas, aos 30, 60, 90 e 120 DAE correspondendo aos meses de fevereiro, março e abril de 2007, respectivamente. O material coletado foi seco em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65° C por 72 horas, efetuando-se posteriormente a pesagem das amostras. Em seguida, as amostras foram moídas, passadas em peneira de 0,001 m de malha para realização da análise química do teor e quantidade de N, P, K, Ca e Mg (MALAVOLTA et al, 1997).

#### **5.6.10. Diagnose foliar – milho**

Esta avaliação ocorreu quando pelo menos 50% das plantas de milho apresentavam a inflorescência feminina, diante deste parâmetro 6 folhas/subparcela foram coletadas, sendo elas amostradas abaixo e no sentido oposto a espiga. Determinou-se os teores de N, P, K, Ca e Mg (MALAVOLTA et al., 1997).

#### **5.6.11. Massa seca radicular do milho**

As raízes de milho foram amostradas na linha e na entrelinha de semeadura, quando a cultura apresentava-se em pleno florescimento, ou seja, no dia 05/03/2007, aos 60 DAE. As amostras tanto da linha como da entrelinha de semeadura foram compostas por 4 subamostras coletadas aleatoriamente em cada subparcela, sendo duas na linha e duas na entrelinha. A partir disso, foram seguidos os mesmos procedimentos descritos no item 5.6.7.

#### **5.6.12. Atividade radicular – soja (2007/2008)**

Avaliou-se a atividade radicular da soja no estágio de pleno florescimento, o que ocorreu no dia 18 de fevereiro de 2008. Os procedimentos foram os mesmos para a cultura do milho: 3 mL da solução de nitrato de Rubídio ( $\text{RbNO}_3$ ), na concentração  $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Rb, com auxílio de um cateter, aplicado às distâncias de 0,11 e 0,22 m da planta de referência e nas profundidades 0,05; 0,10; 0,20; 0,40 e 0,60 m (Figura 11). A parte aérea das plantas foi coletada no dia 22 de fevereiro, seca em estufa de ventilação forçada à temperatura de  $65^\circ \text{C}$  por 72 horas. Em seguida realizou-se a moagem das amostras para digestão nitroperclórica e determinação do teor de Rb (Rubídio) através da absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997).



**Figura 11.** Aplicação de  $\text{RbNO}_3$  em campo. (A) Haste de aço utilizada para abertura do orifício no solo; (B) Solução de  $\text{RbNO}_3$  injetada ao solo com auxílio de cateter e seringa.

#### 5.6.13. Acúmulo de nutrientes pela soja

Para esta análise foram coletadas 2 plantas (parte aérea) aleatoriamente nas parcelas, aos 54, 74, 94 e 114 DAE correspondendo aos meses de fevereiro, março e abril de 2008, respectivamente. O material coletado foi seco em estufa de ventilação forçada à temperatura de  $65^\circ\text{C}$  por 72 horas, efetuando-se posteriormente a pesagem das amostras. Em seguida, as amostras foram moídas, passadas em peneira de 0,001 m de malha para realização da análise química do teor e quantidade de N, P, K, Ca e Mg (MALAVOLTA et al, 1997).

#### 5.6.14. Diagnose foliar – soja

Esta avaliação ocorreu quando pelo menos 50% das plantas de soja estavam em florescimento, diante deste parâmetro 30 folhas/subparcela foram coletadas, sendo coletada a primeira folha amadurecida a partir da ponta do ramo, excluindo o pecíolo. Determinou-se os teores de N, P, K, Ca e Mg (MALAVOLTA et al., 1997).

#### **5.6.15. Massa seca da soja**

Para esta análise foram coletadas 2 plantas aleatoriamente nas parcelas, aos 54, 74, 94 e 114 DAE. As plantas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa de ventilação forçada com temperatura de 65° C por 72 horas, para efetuar posteriormente a pesagem das amostras.

#### **5.6.16. Massa seca radicular da soja**

As raízes de soja foram amostradas na linha e na entrelinha de semeadura, quando a cultura apresentava-se em pleno florescimento, ou seja, fevereiro de 2008, aos 64 DAE. As amostras tanto da linha como da entrelinha de semeadura foram compostas por 4 subamostras coletadas aleatoriamente em cada subparcela, sendo duas na linha e duas na entrelinha. A partir disso, foram seguidos os mesmos procedimentos descritos no item 5.6.7.

#### **5.6.18. Produtividade de grãos (2006/2007; 2007/2008)**

A produtividade média de grãos foi determinada colhendo-se as plantas de soja e milho da área útil de cada parcela. Os dados foram corrigidos para 13 % através da Equação 3.

### **5.7. Análises estatísticas**

Diante dos teores de Rb observados na matéria seca, convencionou-se que o maior teor de Rb observado correspondeu a 100 % de atividade radicular. Desta forma estimou-se a atividade radicular para as demais distâncias da planta referência e profundidade de aplicação.

Para demais resultados utilizou-se à análise de variância e ao teste de comparação de médias t (LSD) no nível de 5% de probabilidade de acordo com procedimentos propostos por Mischan & Pinho (1996).

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Fertilidade do solo**

Os teores de matéria orgânica (MO), P, K, Ca e Mg do solo referente à amostragem realizada após o primeiro ano, no manejo das plantas de cobertura estão apresentados no Quadro 3. Observa-se que o cultivo de diferentes espécies durante um ano (safra 2005/2006) não alterou significativamente os teores de MO, P, K, Ca e Mg do solo nas camadas estudadas. Mas, quanto aos manejos, houve diferenças nos teores de MO e P na camada de 0,00-0,05 m.

No primeiro ano de avaliação não se constatou diferenças no teor de MO entre os sistemas de rotação, mas houve diferenças entre os manejos do solo na camada superficial (Quadro 3). Os tratamentos sem escarificação (SDSE) apresentaram os maiores teores de MO, na camada de 0,00-05 m. Este comportamento é reflexo do sistema de semeadura e aporte de material vegetal deixado pelos cultivos anteriores, que neste caso, não sofreram ação do escarificador, o qual pode acelerar o processo de decomposição dos resíduos na superfície do solo.

Essa concentração de MO na superfície é importante, para a qualidade do solo, uma vez que diferentes tipos de estresses relacionados com aplicação de agroquímicos, fertilizantes, chuva e tráfego de máquinas incidem diretamente sobre o solo (TORMENA et al., 2004), também permite em sistema de semeadura direta maior estabilidade

do sistema poroso (FRANZLUEBBER, 2002) o que aumenta a capacidade do solo em suportar cargas sem sofrer compactação adicional (DIAS JÚNIOR, 2000).

Assim, sistemas de manejo que proporcionam aumentos de MO no solo, além de promoverem expressivas melhorias na qualidade do solo, resultam na retirada de CO<sub>2</sub> da atmosfera (BAYER et al., 2000), contribuindo para a mitigação do efeito estufa (SAMPSON & SCHOLLES, 2000). Segundo Follett (2001), a semeadura direta constitui uma prática agrícola que promove o aumento do teor de carbono orgânico no solo, tanto pelo aporte constante de material vegetal, como pela redução da taxa de decomposição da MO.

Em relação ao P, os maiores teores foram observados nas parcelas não escarificadas (SDSE) na camada de 0,00 a 0,10 m. Este comportamento deve-se a menor área de adsorção de P nas partículas de solo devido ao menor revolvimento deste. Esse maior teor na camada superficial possibilita maior disponibilidade de P às plantas, uma vez que o nutriente é pouco móvel no perfil do solo.

Na caracterização da área experimental (Quadro 1) o teor médio de P de 3,6 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 0,00-0,10 m apresentava-se muito baixo, e após 1 ano o P aumentou para 12,2 mg dm<sup>-3</sup> na média dos tratamentos utilizados, o que possibilitou mudança de classe de teor deste nutriente (RAIJ et al., 1997). No entanto, por menor que seja a movimentação de solo, pode ocorrer um aumento significativo da superfície de contato (NOVAIS & SMYTH, 1999) e o P manter-se indisponível às plantas, mesmo com esse aumento.

Estão apresentados os teores de MO e P (Quadro 3) e K, Ca e Mg (Quadro 4) referente ao manejo das plantas de cobertura (novembro 2006),

O teor de MO apresentou diferença significativa entre os manejos do solo somente na camada superficial (0,00-0,05 m) (Quadro 3). Em relação à análise de caracterização, pode ser observado um aumento nos teores.

Os teores de P apresentaram diferenças significativas entre os manejos somente na camada 0,00-0,05 m, sendo maior no manejo do solo que não sofreu a escarificação inicial (Quadro 3). Em relação a análise de caracterização houve aumento expressivo nos teores de P, principalmente até a camada de 0,20 m.



**Quadro 3.** Médias de análises químicas de matéria orgânica (MO - g dm<sup>-3</sup>) e fósforo no solo (P - mg dm<sup>-3</sup>) no solo no manejo das plantas de cobertura, em função dos sistemas de produção (novembro 2006).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
<b>MO (g dm<sup>-3</sup>)</b>					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	21,7 b	21,0	18,8	17,2	18,6
SDSE	24,2 a	31,9	19,2	16,9	17,8
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	22,2	33,4	18,3	16,6	18,2
M/S/B	23,5	20,2	19,1	17,5	18,3
M/S/B+Ma	23,1	25,7	19,6	17,1	18,1
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	11,2**	1,4 ns	0,2 ns	0,1 ns	1,1 ns
Sistemas de rotação (R)	1,2 ns	0,7 ns	0,5 ns	0,6 ns	0,0 ns
M x R	0,2 ns	0,3 ns	0,4 ns	1,2 ns	0,6 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	1,5	19,0	2,1	1,5	1,6
Sistemas de rotação	1,9	23,3	2,6	1,8	2,0
<b>P (mg dm<sup>-3</sup>)</b>					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	9,2 b	11,9	2,9	1,2	1,6
SDSE	15,3 a	12,1	3,4	2,2	1,8
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	9,2	9,4	2,4	1,2	1,7
M/S/B	14,8	17,5	4,7	2,8	1,7
M/S/B+Ma	12,8	9,3	2,4	1,1	1,7
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	5,3 *	0,0 ns	0,4 ns	0,9 ns	0,4 ns
Sistemas de rotação (R)	1,6 ns	0,6 ns	3,0 ns	0,9 ns	0,1 ns
M x R	0,3 ns	0,8 ns	2,1 ns	0,4 ns	0,1 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	5,5	15,4	1,8	2,4	0,4
Sistemas de rotação	6,8	18,9	2,2	2,9	0,5

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\* não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

Os teores de K, Ca e Mg no manejo das plantas de cobertura, não apresentaram diferença significativa entre os manejos do solo e também entre os sistemas de rotação em todas as camadas avaliadas (Quadro 4).

**Quadro 4.** Médias de análises químicas de potássio no solo (K -  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), cálcio no solo (Ca -  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e magnésio no solo (Mg -  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) no manejo das plantas de cobertura, em função dos sistemas de produção (novembro 2006).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
<b>K (<math>\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}</math>)</b>					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	2,12	0,37	0,46	0,67	0,40
SDSE	1,87	0,46	0,39	0,44	0,45
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	1,97	0,32	0,43	0,46	0,42
M/S/B	2,38	0,49	0,47	0,46	0,42
M/S/B+Ma	1,63	0,43	0,38	0,47	0,42
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,45 ns	1,85 ns	1,22 ns	1,64 ns	0,55 ns
Sistemas de rotação (R)	1,40 ns	1,83 ns	0,70 ns	1,11 ns	0,00 ns
M x R	0,07 ns	0,12 ns	0,26 ns	0,78 ns	0,19 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	0,77	0,15	0,13	0,37	0,14
Sistemas de rotação	0,94	0,19	0,15	0,46	0,17
<b>Ca (<math>\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}</math>)</b>					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	40,9	19,7	16,2	10,6	9,6
SDSE	51,3	14,2	14,2	9,9	10,3
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	44,9	17,3	15,2	8,9	8,4
M/S/B	52,0	15,3	16,2	10,0	10,1
M/S/B+Ma	41,4	18,2	14,1	11,9	11,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	2,4 ns	2,5 ns	0,5 ns	0,1 ns	0,1 ns
Sistemas de rotação (R)	0,9 ns	0,2 ns	0,2 ns	0,2 ns	0,3 ns
M x R	0,5 ns	0,3 ns	0,6 ns	0,3 ns	0,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	13,9	7,3	6,2	7,5	6,8
Sistemas de rotação	17,1	8,9	7,6	9,1	8,3

continua...

**Quadro 4. Continuação.**

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	25,4	12,9	9,1	6,6	5,6
SDSE	28,5	9,3	7,6	5,8	6,3
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	25,2	11,0	8,0	5,5	5,0
M/S/B	31,2	10,7	9,1	6,6	6,5
M/S/B+Ma	24,6	11,6	7,9	6,4	6,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,9 ns	3,1 ns	0,9 ns	0,2 ns	0,2 ns
Sistemas de rotação (R)	1,8 ns	0,1 ns	0,2 ns	0,2 ns	0,4 ns
M x R	0,3 ns	0,1 ns	0,6 ns	0,6 ns	0,1 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	6,6	4,4	3,2	3,6	2,9
Sistemas de rotação	8,1	5,4	3,9	4,4	3,7

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

Para a cultura do milho, os teores de MO, K, P, Ca e Mg do solo no decorrer do desenvolvimento da cultura podem ser observados nos Quadros 5, 6, 7, 8 e 9 respectivamente.

Os teores de MO não variaram expressivamente, o que está relacionado ao pequeno período de deposição da biomassa das plantas de cobertura instaladas anteriormente (Quadro 5).

**Quadro 5.** Médias de análises químicas de matéria orgânica no solo (MO - g dm<sup>-3</sup>) na cultura do milho, aos 30 DAE, 60 DAE e 90 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----30 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	32,4	28,7	28,1	25,1	23,7
SDSE	31,2	28,9	27,8	24,9	26,3
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	31,7	28,9	26,9	24,5	24,4
M/S/B	33,1	29,8	29,1	25,5	24,5
M/S/B+Ma	30,7	27,7	27,8	24,5	26,1
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,6 ns	0,1 ns	0,1 ns	0,1 ns	4,1 ns
Sistemas de rotação (R)	0,9 ns	1,1 ns	1,1 ns	0,4 ns	0,7 ns
M x R	0,1 ns	0,1 ns	0,4 ns	0,2 ns	1,0 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	3,1	2,4	2,6	2,1	2,8
Sistemas de rotação	3,7	2,9	3,2	2,6	3,4
-----60 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	32,7	27,9	27,5	26,3	26,5
SDSE	30,6	28,6	27,4	25,5	26,6
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	30,6 b	27,6	26,8	25,7	25,8
M/S/B	33,5 a	29,5	28,2	26,4	27,5
M/S/B+Ma	30,8 b	27,7	27,2	25,5	26,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	4,2 ns	0,7 ns	0,0 ns	1,0 ns	0,0 ns
Sistemas de rotação (R)	3,5 *	2,0 ns	1,0 ns	0,5 ns	0,6 ns
M x R	0,7 ns	1,5 ns	0,9 ns	3,9 *	4,8 *
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,1	1,8	1,8	1,7	2,7
Sistemas de rotação	2,6	2,2	2,1	2,0	3,3

continua...

**Quadro 5. Continuação**

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----90 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	34,0	31,1	30,3	27,4	26,8
SDSE	33,7	31,0	28,9	28,5	28,1
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	33,8	30,8	29,2	28,0	25,3
M/S/B	34,7	32,6	30,1	28,6	28,9
M/S/B+Ma	33,2	29,9	29,7	27,2	28,1
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,1 ns	0,0 ns	1,9 ns	1,1 ns	0,2 ns
Sistemas de rotação (R)	0,4 ns	2,7 ns	0,3 ns	0,6 ns	0,7 ns
M x R	0,9 ns	0,6 ns	0,4 ns	1,4 ns	0,2 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,8	2,1	2,1	2,2	5,7
Sistemas de rotação	3,4	2,5	2,5	2,7	7,0

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

Aos 30 DAE do milho, as diferenças nos teores de K observadas na camada de 0,00-0,05 m (Quadro 6) podem ser atribuídas ao efeito das plantas de cobertura, e das rotações empregadas. Entre as rotações, a M/S/B foi a que apresentou o maior teor de K (1,30 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) seguida da M/S/B+Ma (1,11 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e M/S/So (0,98 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Esta diferença entre as rotações empregadas é decorrente da disponibilização do K da palhada das plantas de cobertura para o solo. Aos 90 DAE, na camada de 0,20-0,40 m também se observou diferenças nos teores de K para as rotações e manejos avaliados. E este comportamento é atribuído à disponibilidade de K pelas plantas de cobertura implantadas anteriormente ao milho (principalmente a braquiária) e devido aos canais deixados pelas raízes o K foi lixiviado em maior profundidade do solo.

**Quadro 6.** Médias de análises químicas de potássio no solo ( $K - \text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na cultura do milho, aos 30 DAE, 60 DAE e 90 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----30 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	1,10	0,77	0,65	0,43	0,26
SDSE	1,16	0,79	0,65	0,39	0,28
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	0,98 b	0,68	0,56	0,40	0,27
M/S/B	1,30 a	0,82	0,66	0,42	0,26
M/S/B+Ma	1,11 ab	0,86	0,73	0,41	0,28
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,37 ns	0,01 ns	0,01 ns	0,65 ns	0,51 ns
Sistemas de rotação (R)	3,45*	1,73 ns	1,24 ns	0,05 ns	0,16 ns
M x R	0,41 ns	0,55 ns	0,54 ns	0,34 ns	0,37 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	0,21	0,17	0,18	0,10	0,05
Sistemas de rotação	0,26	0,21	0,22	0,13	0,07
-----60 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	0,58	0,38	0,28	0,17	0,14
SDSE	0,54	0,41	0,30	0,20	0,17
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	0,51	0,37	0,26	0,19	0,15
M/S/B	0,67	0,44	0,32	0,16	0,17
M/S/B+Ma	0,50	0,37	0,29	0,20	0,15
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,08 ns	0,18 ns	0,13 ns	0,41 ns	1,93 ns
Sistemas de rotação (R)	0,71 ns	0,33 ns	0,42 ns	0,35 ns	0,32 ns
M x R	0,93 ns	0,52 ns	0,13 ns	0,58 ns	0,16 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	0,29	0,18	0,10	0,09	0,04
Sistemas de rotação	0,35	0,22	0,12	0,11	0,05

continua...

**Quadro 6. Continuação.**

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----90 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	0,40	0,30	0,24	0,20 a	0,37
SDSE	0,52	0,28	0,17	0,12 b	0,28
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	0,34	0,30	0,25	0,24 a	0,35
M/S/B	0,69	0,37	0,22	0,14 b	0,28
M/S/B+Ma	0,34	0,20	0,14	0,11 b	0,36
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,58 ns	0,09 ns	1,72 ns	5,59 *	0,70 ns
Sistemas de rotação (R)	2,17 ns	1,38 ns	1,35 ns	4,91 *	0,22 ns
M x R	0,49 ns	0,53 ns	1,12 ns	4,20 *	0,03 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	0,34	0,18	0,12	0,07	0,22
Sistemas de rotação	0,41	0,22	0,14	0,09	0,27

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

Um dos benefícios dos sistemas de produção que empregam rotação de culturas é diminuir a perda de nutrientes do sistema, estabelecendo um ciclo de absorção e de retorno do nutriente ao solo. Assim, a palha que permanece na superfície como “mulch” para protegê-lo dos efeitos climáticos e da erosão, ao ser mineralizada libera nutrientes que podem ser aproveitados pela cultura subsequente (BORKERT et al., 2003).

O P aumentou em todas as camadas e em todas as épocas de coleta no milho (Quadro 7). Para os teores de P na camada 0,40-0,60 m aos 30 DAE (Quadro 7) observou-se diferença significativa entre os teores do nutriente em função do manejo do solo (Quadro 7). Este aumento do P pode ser atribuído a uma solubilização de P, por exemplo através da ação de ácidos orgânicos.

Aos 60 DAE (Quadro 7), na camada superficial do solo, o aumento do teor de MO ocorreu devido à boa cobertura do solo deixada pelas plantas de cobertura, ou seja, de 5000 kg ha<sup>-1</sup>. Entretanto, para as camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m (Quadro 7) as plantas de cobertura (braquiária e sorgo) por possuírem sistemas radiculares capazes de atingir profundidades no perfil do solo superiores a 1 m, possibilitaram maior acúmulo de material vegetal e conseqüentemente a decomposição de suas raízes também contribuíram para o aumento dos teores de MO do solo.

As diferenças de teores de P observadas entre as rotações na camada 0,00-0,05 m aos 90 DAE (Quadro 7) estão relacionadas à capacidade das espécies utilizadas em cobertura de solubilizarem ou disponibilizarem nutrientes para culturas sucessoras, no caso o milho. Os adubos verdes, geralmente, são solubilizadores de nutrientes e o P é dos mais influenciados com o uso de certas espécies (FANCELLI, 2000; CALEGARI, 2006; MUZILLI, 2006). Tal disponibilidade ocorreu aos 90 DAE porque as gramíneas, no caso as braquiárias, apresentam alta relação C/N, o que possibilitou maior permanência da biomassa dessas plantas como cobertura do solo.

**Quadro 7.** Médias de análises químicas de fósforo no solo (P - mg dm<sup>-3</sup>) na cultura do milho, aos 30 DAE, 60 DAE e 90 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----30 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	52,8	38,8	10,0	3,3	2,9 b
SDSE	42,8	35,5	11,7	3,8	3,5 a
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	49,9	39,8	11,9	3,5	3,2
M/S/B	39,5	37,3	10,6	3,8	3,1
M/S/B+Ma	53,8	34,4	10,1	3,3	3,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,8 ns	0,1 ns	0,4 ns	1,9 ns	6,9 *
Sistemas de rotação (R)	0,6 ns	0,1 ns	0,2 ns	0,7 ns	0,3 ns
M x R	0,4 ns	0,4 ns	0,5 ns	0,1 ns	2,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	23,1	19,3	5,7	0,8	0,5
Sistemas de rotação	28,3	23,7	6,9	1,0	0,6

continua...



Quadro 7. Continuação.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----60 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	36,3	38,5	8,8	2,6	2,7
SDSE	34,7	32,5	9,4	3,0	3,7
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	33,1	47,2	9,0	2,8	3,0
M/S/B	38,2	32,6	9,3	2,7	3,2
M/S/B+Ma	35,2	26,7	9,1	2,9	3,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,1 ns	0,4 ns	0,1 ns	0,7 ns	0,1 ns
Sistemas de rotação (R)	0,1 ns	1,5 ns	0,0 ns	0,1 ns	3,2 ns
M x R	0,0 ns	1,1 ns	1,4 ns	0,1 ns	0,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	19,4	20,8	2,2	1,2	1,2
Sistemas de rotação	23,8	25,5	5,2	1,4	1,4
-----90 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	32,9	20,9	8,7	4,6	4,5
SDSE	26,1	17,2	7,2	3,6	4,1
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	25,4 ab	18,8	6,5	4,6	5,1
M/S/B	19,6 b	24,4	9,6	3,9	3,9
M/S/B+Ma	43,5 a	14,1	7,8	3,8	3,9
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,9 ns	0,7 ns	1,6 ns	3,1 ns	0,5 ns
Sistemas de rotação (R)	4,0 *	1,6 ns	2,2 ns	0,9 ns	1,8 ns
M x R	0,9 ns	1,9 ns	0,8 ns	1,6 ns	1,6 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	15,1	9,8	2,5	1,1	1,3
Sistemas de rotação	18,5	11,9	3,1	1,4	1,5

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

**Quadro 8.** Médias de análises químicas de cálcio no solo (Ca – mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) na cultura do milho, aos 30 DAE, 60 DAE e 90 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----30 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	9,2	7,4	5,2	3,8	3,5
SDSE	10,2	5,9	5,7	5,1	4,5
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	9,4	7,3	5,2	3,8	3,1
M/S/B	10,5	6,2	5,5	4,4	4,2
M/S/B+Ma	9,3	6,6	5,7	5,1	4,8
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,6 ns	1,7 ns	0,3 ns	2,1 ns	1,0 ns
Sistemas de rotação (R)	0,3 ns	0,4 ns	0,1 ns	0,7 ns	0,9 ns
M x R	0,8 ns	0,2 ns	0,2 ns	0,1 ns	0,1 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,8	2,3	1,9	1,9	2,2
Sistemas de rotação	3,4	2,8	2,3	2,3	2,7
-----60 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	5,7	3,7	2,9	2,2	2,3
SDSE	5,0	3,7	3,0	2,7	2,5
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	4,6	4,2	2,6	2,4	2,1
M/S/B	5,9	3,5	3,3	1,9	1,9
M/S/B+Ma	5,6	3,3	3,0	2,9	3,2
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,4 ns	0,0 ns	0,1 ns	1,0 ns	0,2 ns
Sistemas de rotação (R)	0,7 ns	0,9 ns	0,9 ns	1,2 ns	1,5 ns
M x R	0,3 ns	0,8 ns	0,2 ns	0,7 ns	0,7 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,0	1,2	0,8	1,0	1,4
Sistemas de rotação	2,5	1,5	0,9	1,3	1,7

continua...

**Quadro 8. Continuação.**

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----90 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	6,1	3,8	3,9	2,2	2,3
SDSE	6,3	3,1	2,7	2,5	2,9
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	5,7	3,3	2,9	1,9	2,2
M/S/B	6,6	3,6	3,1	2,4	2,3
M/S/B+Ma	6,4	3,5	2,8	2,8	3,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,0 ns	1,5 ns	1,1 ns	0,2 ns	0,4 ns
Sistemas de rotação (R)	0,2 ns	0,1 ns	0,2 ns	0,8 ns	0,5 ns
M x R	0,5 ns	0,5 ns	3,4 *	0,2 ns	0,1 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,6	1,2	0,9	1,3	2,1
Sistemas de rotação	3,2	1,9	1,1	1,6	2,5

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

**Quadro 9.** Médias de análises químicas de magnésio no solo ( $\text{Mg} - \text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na cultura do milho, aos 30 DAE, 60 DAE e 90 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2006/2007).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----30 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	9,6	7,3	5,4	4,0	3,0
SDSE	10,1	5,9	5,2	5,0	4,4
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	8,9	6,7	4,9	4,1	3,2
M/S/B	11,7	6,4	5,5	4,6	3,7
M/S/B+Ma	8,9	6,7	5,5	4,8	4,1
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,1 ns	1,6 ns	0,1 ns	1,4 ns	2,8 ns
Sistemas de rotação (R)	1,6 ns	0,1 ns	0,3 ns	0,3 ns	0,5 ns
M x R	0,3 ns	0,9 ns	0,1 ns	0,0 ns	0,2 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	3,1	2,3	1,5	1,7	1,7
Sistemas de rotação	3,8	2,8	1,9	2,1	2,1
-----60 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	8,2	5,2	3,9	2,9	2,7
SDSE	8,3	4,3	3,7	3,5	3,2
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	7,5	4,4	3,2	3,2	2,5
M/S/B	9,6	5,1	4,3	2,8	3,0
M/S/B+Ma	7,7	4,8	3,9	3,5	3,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,0 ns	4,3 ns	0,2 ns	1,6 ns	1,1 ns
Sistemas de rotação (R)	1,1 ns	0,6 ns	2,5 ns	0,8 ns	1,4 ns
M x R	1,9 ns	0,3 ns	0,8 ns	0,7 ns	0,5 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,7	1,0	0,9	1,0	0,9
Sistemas de rotação	3,3	1,2	1,1	1,3	1,1

continua...

**Quadro 9. Continuação.**

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----90 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	7,6	4,9	4,2	3,2	2,9
SDSE	8,2	4,3	3,6	3,7	3,5
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	6,5	3,7	3,8	2,9	3,1
M/S/B	8,8	5,4	4,4	3,8	3,2
M/S/B+Ma	8,5	4,6	3,5	3,7	3,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,2 ns	0,8 ns	1,2 ns	0,6 ns	0,5 ns
Sistemas de rotação (R)	0,9 ns	1,9 ns	1,4 ns	0,6 ns	0,0 ns
M x R	0,5 ns	0,2 ns	4,52*	0,2 ns	0,1 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	3,2	1,5	1,1	1,5	1,4
Sistemas de rotação	3,9	1,9	1,4	1,8	1,8

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

No ano agrícola 2007/2008 as variáveis MO (Quadro 10), K e P (Quadro 11), Ca e Mg (Quadro 12) do solo foram avaliadas no manejo das plantas de cobertura em novembro 2007. Os teores de Ca aumentaram em relação aos teores desse nutriente observados aos 90 DAE do milho (Quadro 8) para as rotações empregadas. As parcelas com as rotações M/S/B e M/S/B+Ma apresentaram os maiores teores de Ca em relação à rotação M/S/So. Este comportamento é devido à mobilização que ocorre com certos nutrientes (principalmente Ca e Al) por plantas com sistema radicular eficientes na ciclagem de nutrientes. De acordo com Muzilli (2006) o uso de adubos verdes eficientes na ciclagem de nutrientes, como é o caso da aveia e centeio, são expressantes na mobilização do Ca, e perante os resultados a braquiária e o sorgo também apresenta esta característica.

O P na camada de 0,10-0,20 m apresentou teores diferentes entre as rotações empregadas (Quadro 11). A rotação M/S/B foi a que apresentou maior teor deste elemento (6,25 mg dm<sup>-3</sup>). Pode-se observar que os teores de P, K e Mg apresentaram redução

nas camadas de solo estudadas, fato atribuído ao desenvolvimento dos sistemas radiculares das culturas de cobertura que possuem intensa atividade radicular (Figura 20).

**Quadro 10.** Médias de análises químicas de matéria orgânica (MO - g dm<sup>-3</sup>) do solo no manejo das plantas de cobertura, em função dos sistemas de produção (novembro 2007).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	31,8	28,6	25,0	24,3	24,6
SDSE	33,4	28,0	26,7	25,0	25,4
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	32,5	27,5	25,9	24,5	23,9
M/S/B	33,3	29,5	26,7	24,7	25,8
M/S/B+Ma	32,0	27,9	24,9	24,8	25,2
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	1,9 ns	0,3 ns	2,2 ns	0,5 ns	0,4 ns
Sistemas de rotação (R)	0,4 ns	1,4 ns	0,8 ns	0,1 ns	0,7 ns
M x R	0,5 ns	2,3 ns	2,3 ns	1,1 ns	1,0 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,5	2,2	2,3	2,4	2,7
Sistemas de rotação	3,0	2,7	2,8	2,9	3,3

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

**Quadro 11.** Médias de análises químicas de fósforo no solo (P - mg dm<sup>-3</sup>) e potássio no solo (K - mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no manejo das plantas de cobertura, em função dos sistemas de produção (novembro 2007).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
<b>P (mg dm<sup>-3</sup>)</b>					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	13,9	12,3	4,7	3,4	4,4
SDSE	14,3	13,1	5,2	3,9	4,4
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	13,1	14,6	4,5 b	3,7	4,2
M/S/B	15,8	14,9	6,3 a	4,0	5,3
M/S/B+Ma	13,5	8,5	4,1 b	3,2	3,6
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,0 ns	0,0 ns	1,5 ns	2,1 ns	0,0 ns
Sistemas de rotação (R)	0,4 ns	0,6 ns	9,6**	1,3 ns	0,6 ns
M x R	0,0 ns	0,8 ns	1,8 ns	0,6 ns	0,7 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	5,4	11,0	0,9	0,9	2,7
Sistemas de rotação	6,6	13,5	1,1	1,1	3,3
<b>K (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	1,93	1,98	1,57	1,15	2,08
SDSE	2,69	1,26	1,24	1,23	2,29
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	2,13	1,87	1,63	1,43	2,01
M/S/B	2,51	1,63	1,19	0,89	2,22
M/S/B+Ma	2,31	1,37	1,39	1,24	2,32
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	2,00 ns	4,13 ns	0,58 ns	0,06 ns	0,07 ns
Sistemas de rotação (R)	0,16 ns	0,66 ns	1,02 ns	0,76 ns	0,05 ns
M x R	0,93 ns	0,30 ns	0,79 ns	0,56 ns	0,08 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	1,14	0,75	0,70	0,77	1,66
Sistemas de rotação	1,40	0,92	0,86	0,94	2,03

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\* - não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So - milho/soja/sorgo; M/S/B - milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária+mamona.

**Quadro 12.** Médias de análises químicas de cálcio no solo (Ca -  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e magnésio no solo (Mg -  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) no manejo das plantas de cobertura, em função dos sistemas de produção (novembro 2007).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
<b>Ca (<math>\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}</math>)</b>					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	17,3	11,4	7,8	5,9	5,2
SDSE	17,9	9,7	8,7	8,5	8,6
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	17,9	7,6 b	5,8 b	5,4	5,8
M/S/B	15,8	10,7 ab	8,7 ab	7,4	6,9
M/S/B+Ma	19,2	13,3 a	10,3 a	8,8	7,9
<b>Valor de F<sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,1 ns	1,0 ns	0,4 ns	1,7 ns	2,7 ns
Sistemas de rotação (R)	0,6 ns	3,5*	2,7 *	1,1 ns	0,4 ns
M x R	0,4 ns	1,2 ns	0,8 ns	0,1 ns	0,3 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	5,5	3,7	3,4	4,1	4,3
Sistemas de rotação	6,8	4,5	4,2	5,0	5,3
<b>Mg (<math>\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}</math>)</b>					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	3,1	1,5	1,3	1,0	0,9
SDSE	2,8	1,6	1,3	1,1	1,1
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	3,2	1,8	1,5	1,0	1,0
M/S/B	3,1	1,6	1,4	1,1	1,1
M/S/B+Ma	2,5	1,3	1,0	1,0	1,0
<b>Valor de F<sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,3 ns	0,2 ns	0,0 ns	0,1 ns	0,4 ns
Sistemas de rotação (R)	1,5 ns	0,6 ns	0,8 ns	0,1 ns	0,1 ns
M x R	1,0 ns	0,5 ns	0,3 ns	0,2 ns	0,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7
Sistemas de rotação	0,9	1,0	0,9	0,7	0,8

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\* não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.



Para a cultura da soja, os teores de MO, P, K, Ca e Mg aos 54, 74, 94 e 114 DAE encontram-se nos Quadros 13, 14, 15, 16 e 17, respectivamente. Os teores de P, Ca e Mg aumentaram até 0,20 m aos 54 DAE em relação aos teores observados no manejo das plantas de cobertura, provavelmente devido a liberação da palhada e a demanda não ser muito grande.

Os maiores teores encontrados para MO no manejo SDCE em relação ao manejo SDSE em 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m podem estar relacionados em parte, à escarificação inicial, através da qual ocorreu incorporação de material orgânico, contribuindo para aumento da MO até 0,20 m de profundidade (Quadro 13), mas principalmente ao maior crescimento de raízes até 0,20 m no manejo com escarificação inicial. Para a camada de 0,20-0,40 m (Quadro 13), possivelmente ainda houve influência dos maiores teores de MO das camadas superiores que por meio de canais naturais deixados pelas raízes ou mesmos pelas fissuras longitudinais ocasionadas pela escarificação proporcionaram os maiores teores no manejo SDCE aos 54 DAE em relação ao manejo SDSE.

A variação dos teores de P para as rotações e manejos utilizados é devida a própria variação espacial no solo, mas principalmente é em função da adubação realizada anteriormente (Quadros 14).

Desta maneira, pode-se dizer que no perfil do solo, de maneira geral em todas as épocas de avaliação da cultura da soja, manejo e rotações adotadas, houve aumento das variáveis analisadas (exceto MO e K) em relação aos teores observados no manejo da braquiária e do sorgo. Isto pode estar relacionado à ação de disponibilização de nutrientes nas camadas mais profundas do perfil do solo pelo sistema radicular agressivo das plantas de cobertura (MUZILLI, 2006) utilizadas antes da semeadura da soja.

**Quadro 13.** Médias de análises químicas de matéria orgânica no solo (MO - g dm<sup>-3</sup>) na cultura da soja, aos 54 DAE, 74 DAE, 94 DAE e 114 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----54 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	29,8	27,1 a	25,6 a	23,1 a	22,5
SDSE	28,8	24,9 b	23,9 b	21,3 b	21,7
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	28,4	25,8	24,5	22,3	22,2
M/S/B	29,2	25,9	24,8	22,2	21,9
M/S/B+Ma	30,3	26,2	25,1	22,1	21,9
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	1,3 ns	10,3**	6,9*	6,9*	1,1 ns
Sistemas de rotação (R)	1,6 ns	0,1 ns	0,3 ns	0,0 ns	0,1 ns
M x R	0,6 ns	1,4 ns	0,1 ns	0,4 ns	1,6 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	1,9	1,5	1,3	1,4	1,6
Sistemas de rotação	2,4	1,8	1,6	1,7	2,0
-----74 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	34,3	31,0	28,0	26,5	25,4
SDSE	35,2	31,1	29,1	26,1	26,7
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	34,5	30,6	28,5	25,9	26,1
M/S/B	35,2	31,7	28,7	26,3	25,9
M/S/B+Ma	34,4	30,9	28,5	26,8	26,0
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,5 ns	0,0 ns	3,2 ns	0,3 ns	3,3 ns
Sistemas de rotação (R)	0,2 ns	0,7 ns	0,1 ns	0,4 ns	0,0 ns
M x R	0,6 ns	0,2 ns	1,4 ns	0,7 ns	0,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,6	1,5	1,3	1,7	1,5
Sistemas de rotação	3,2	1,9	1,6	2,1	1,9

continua...

Quadro 13. Continuação.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----94 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	35,6	33,9	30,6	28,8	28,8
SDSE	35,3	31,7	29,3	26,9	25,4
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	34,3	32,6	29,9	26,8	27,1
M/S/B	36,9	33,8	30,3	28,3	27,6
M/S/B+Ma	35,1	32,2	29,7	28,6	26,6
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,0 ns	2,9 ns	2,7 ns	1,9ns	1,8 ns
Sistemas de rotação (R)	0,8 ns	0,6 ns	0,2 ns	0,6 ns	0,1 ns
M x R	1,4 ns	0,1 ns	0,7 ns	0,3 ns	0,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	3,5	2,8	1,6	2,9	5,4
Sistemas de rotação	4,3	3,4	1,9	3,5	6,6
-----114 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	28,9	25,6	23,5	21,3	21,8
SDSE	28,9	25,7	23,7	21,6	23,0
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	28,2	25,3	23,4	21,3	21,9
M/S/B	28,6	25,6	23,8	21,1	22,2
M/S/B+Ma	29,9	25,9	23,5	21,9	23,1
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,0 ns	0,0 ns	0,1 ns	0,6 ns	3,7 ns
Sistemas de rotação (R)	0,7 ns	0,1 ns	0,1 ns	1,2 ns	1,2 ns
M x R	0,8 ns	0,5 ns	0,0 ns	2,3 ns	1,5 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,7	2,4	2,1	1,0	1,4
Sistemas de rotação	3,3	2,9	2,6	1,3	1,7

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milheto/soja/sorgo; M/S/B – milheto/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milheto/soja/braquiária+mamona.

**Quadro 14.** Médias de análises químicas de fósforo no solo (P - mg dm<sup>-3</sup>) na cultura da soja, aos 54 DAE, 74 DAE, 94 DAE e 114 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----54 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	36,5	48,9	7,7	2,8	2,9
SDSE	36,8	24,3	6,9	2,6	3,2
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	34,4	41,9	8,5	2,4 b	2,9
M/S/B	41,4	20,5	6,1	2,3 b	2,9
M/S/B+Ma	34,1	47,5	7,4	3,4 a	3,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,0 ns	2,5 ns	0,9 ns	0,5 ns	0,4 ns
Sistemas de rotação (R)	0,4 ns	1,1 ns	2,8 ns	4,7*	0,5 ns
M x R	3,9*	0,2 ns	3,8 *	0,3 ns	0,3 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	15,8	32,9	1,8	0,7	0,7
Sistemas de rotação	19,3	40,3	2,2	0,9	0,9
-----74 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	17,5	89,6 a	29,9	3,0	2,4
SDSE	36,6	50,0 b	15,7	3,7	2,8
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	25,1	81,9	20,1	3,5	2,5
M/S/B	31,5	59,5	27,8	3,5	2,4
M/S/B+Ma	24,5	68,1	20,7	3,1	2,8
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	3,2 ns	4,7*	4,1 ns	1,3 ns	0,4 ns
Sistemas de rotação (R)	0,2 ns	0,5 ns	0,5 ns	0,2 ns	0,2 ns
M x R	0,8 ns	2,1 ns	0,1 ns	0,9 ns	0,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	22,4	1,5	14,8	1,3	1,2
Sistemas de rotação	27,4	1,9	18,1	1,6	1,5

continua...

**Quadro 14. Continuação.**

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----94 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	20,6	47,0	11,4	2,1	2,1
SDSE	41,9	56,1	13,8	2,2	1,7
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	40,6	60,1	12,3	2,2	1,8
M/S/B	21,1	33,7	10,7	1,8	1,8
M/S/B+Ma	32,1	61,0	14,8	2,4	1,9
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	1,8 ns	0,4 ns	0,3 ns	0,1 ns	2,7 ns
Sistemas de rotação (R)	0,5 ns	1,7 ns	0,3 ns	0,7 ns	0,0 ns
M x R	0,2 ns	0,1 ns	1,1 ns	1,2 ns	1,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	33,6	28,9	9,8	0,8	0,5
Sistemas de rotação	41,2	35,4	11,9	1,0	0,6
-----114 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	30,0	61,0	11,4	7,8	5,9
SDSE	40,7	52,6	11,8	7,8	7,9
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	32,7	62,8	10,5	9,5	7,2
M/S/B	29,1	63,8	12,8	6,7	6,3
M/S/B+Ma	44,4	43,9	11,4	7,2	7,3
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,9 ns	0,4 ns	0,1 ns	0,0 ns	3,9 ns
Sistemas de rotação (R)	0,7 ns	0,8 ns	0,4 ns	0,5 ns	0,5 ns
M x R	2,6 ns	0,7 ns	0,1 ns	0,8 ns	0,2 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	23,5	30,1	4,8	5,4	2,1
Sistemas de rotação	28,8	36,9	5,8	6,6	2,6

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milheto/soja/sorgo; M/S/B – milheto/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milheto/soja/braquiária+mamona.

**Quadro 15.** Médias de análises químicas de potássio no solo ( $K - \text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) na cultura da soja, aos 54 DAE, 74 DAE, 94 DAE e 114 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----54 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	1,96	0,82	0,60	0,17	0,11
SDSE	1,76	0,96	0,69	0,22	0,17
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	1,74	0,85	0,67	0,26	0,17
M/S/B	2,01	0,89	0,57	0,09	0,10
M/S/B+Ma	1,82	0,93	0,68	0,24	0,15
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,43 ns	0,86 ns	0,32 ns	0,25 ns	0,62 ns
Sistemas de rotação (R)	0,30 ns	0,10 ns	0,20 ns	1,39 ns	0,28 ns
M x R	2,87 ns	1,02 ns	1,81 ns	0,01 ns	0,04 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	0,63	0,32	0,33	0,20	0,15
Sistemas de rotação	0,78	0,39	0,40	0,24	0,18
-----74 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	1,48	0,86	0,82 a	0,30	0,19
SDSE	1,56	0,80	0,51 b	0,28	0,20
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	1,56	0,96	0,72	0,31	0,27
M/S/B	1,43	0,79	0,51	0,18	0,11
M/S/B+Ma	1,58	0,74	0,78	0,38	0,19
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,08 ns	0,16 ns	6,02*	0,05 ns	0,01 ns
Sistemas de rotação (R)	0,10 ns	0,80 ns	1,65 ns	0,80 ns	1,15 ns
M x R	0,27 ns	0,49 ns	4,53*	0,18 ns	1,01 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	0,62	0,30	0,27	0,27	0,18
Sistemas de rotação	0,76	0,37	0,33	0,33	0,22

continua...

Quadro 15. Continuação.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----94 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	2,01	1,22	1,06	0,60	0,33
SDSE	1,57	1,14	0,85	0,68	0,42
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	1,37	1,03	0,99	0,89	0,47
M/S/B	1,87	1,29	0,91	0,58	0,34
M/S/B+Ma	2,13	1,23	0,97	0,45	0,31
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	3,11 ns	0,22 ns	0,82 ns	0,11 ns	1,39 ns
Sistemas de rotação (R)	3,08 ns	0,87 ns	0,042 ns	1,32 ns	1,70 ns
M x R	0,19 ns	0,35 ns	2,02 ns	0,21 ns	1,57 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	0,53	0,35	0,49	0,47	0,16
Sistemas de rotação	0,65	0,42	0,60	0,57	0,20
-----114 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	1,84	1,04	0,90	0,50	0,30
SDSE	1,73	0,95	0,77	0,34	0,24
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	1,54	0,91	0,72	0,49	0,30
M/S/B	1,99	1,07	0,86	0,36	0,20
M/S/B+Ma	1,83	1,00	0,91	0,42	0,32
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,08 ns	0,58 ns	0,72 ns	2,50 ns	1,48 ns
Sistemas de rotação (R)	0,47 ns	0,71 ns	0,57 ns	0,54 ns	2,33 ns
M x R	0,23 ns	1,76 ns	1,15 ns	2,31 ns	4,29*
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	0,82	0,23	0,32	0,21	0,10
Sistemas de rotação	1,00	0,29	0,39	0,26	0,12

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\* não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

**Quadro 16.** Médias de análises químicas de cálcio no solo (Ca - mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) na cultura da soja, aos 54 DAE, 74 DAE, 94 DAE e 114 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----54 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	28,3	22,0	15,9	16,8	17,1
SDSE	28,5	18,2	17,8	12,8	14,7
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	26,5	21,9	15,5	12,8	12,9
M/S/B	29,5	17,2	16,0	12,8	15,2
M/S/B+Ma	29,3	21,3	19,1	18,7	19,5
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,0 ns	0,7 ns	0,9 ns	3,3 ns	0,4 ns
Sistemas de rotação (R)	0,2 ns	0,4 ns	1,4 ns	3,1 ns	0,9 ns
M x R	0,4 ns	0,2 ns	0,2 ns	0,5 ns	0,6 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	9,4	9,4	4,1	4,7	8,4
Sistemas de rotação	11,5	11,5	4,9	5,8	10,3
-----74 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	25,2	24,5	13,7	13,6	16,6
SDSE	33,8	24,8	17,8	13,7	8,9
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	27,0	23,8	15,6	12,8	10,4
M/S/B	34,8	25,9	14,5	13,5	10,2
M/S/B+Ma	26,8	24,3	17,2	14,6	17,8
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	2,9 ns	0,01 ns	1,8 ns	0,0 ns	3,0 ns
Sistemas de rotação (R)	1,1 ns	0,2 ns	0,3 ns	0,1 ns	1,3 ns
M x R	1,9 ns	0,6 ns	0,7 ns	0,8 ns	0,7 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	10,6	7,4	6,4	7,2	9,3
Sistemas de rotação	12,9	9,1	7,9	8,8	11,4

continua...



Quadro 16. Continuação.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----94 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	30,9	24,8	15,3	13,7	13,3
SDSE	32,6	21,3	13,2	13,4	12,0
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	30,6	24,6	16,3	12,6	10,3
M/S/B	30,6	22,7	13,2	11,7	11,4
M/S/B+Ma	34,1	21,8	13,3	16,2	16,2
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,1 ns	0,9 ns	1,0 ns	0,01 ns	0,1 ns
Sistemas de rotação (R)	0,1 ns	0,2 ns	1,0 ns	0,9 ns	0,5 ns
M x R	0,6 ns	1,0 ns	0,1 ns	1,4 ns	0,9 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	12,9	7,7	4,3	0,1	10,4
Sistemas de rotação	15,8	9,4	5,3	7,4	12,8
-----114 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	30,6	24,8 a	16,9	16,4	15,6
SDSE	27,3	18,4 b	18,4	17,1	17,2
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	31,3	23,6	18,5	15,5	13,8
M/S/B	23,9	20,4	17,2	15,3	14,9
M/S/B+Ma	31,8	20,8	17,2	19,5	20,6
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,5 ns	5,7*	0,2 ns	0,1 ns	0,1 ns
Sistemas de rotação (R)	1,2 ns	0,6 ns	0,1 ns	0,6 ns	0,6 ns
M x R	1,4 ns	1,2 ns	0,3 ns	0,1 ns	0,8 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	9,6	5,6	6,7	7,5	11,7
Sistemas de rotação	11,8	6,8	8,2	9,1	14,3

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\* não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milheto/soja/sorgo; M/S/B – milheto/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milheto/soja/braquiária+mamona.

**Quadro 17.** Médias de análises químicas de magnésio no solo ( $\text{Mg} - \text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na cultura da soja, aos 54 DAE, 74 DAE, 94 DAE e 114 DAE em função dos sistemas de produção (safra 2007/2008).

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----54 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	16,1	10,2	8,6	8,4	7,4
SDSE	16,2	9,0	9,8	6,5	6,7
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	15,6	10,4	8,4	6,6	6,1
M/S/B	16,5	8,9	8,9	6,9	7,1
M/S/B+Ma	16,4	9,5	10,2	8,9	7,9
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,0 ns	0,5 ns	1,8 ns	2,5 ns	0,3 ns
Sistemas de rotação (R)	0,1 ns	0,3 ns	1,5 ns	1,5 ns	0,9 ns
M x R	0,3 ns	0,5 ns	0,6 ns	0,3 ns	0,1 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	4,8	3,7	1,9	2,6	2,5
Sistemas de rotação	5,9	4,5	2,3	3,2	3,1
-----74 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	15,9	11,0	7,3	7,5	6,9
SDSE	18,9	11,1	9,3	8,2	6,2
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	15,5	10,4	8,3	7,4	6,0
M/S/B	20,3	12,2	7,9	8,8	6,4
M/S/B+Ma	16,6	10,7	8,8	7,4	7,2
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	1,4 ns	0,0 ns	1,9 ns	0,3 ns	0,3 ns
Sistemas de rotação (R)	1,3 ns	0,4 ns	0,1 ns	0,5 ns	0,4 ns
M x R	1,5 ns	0,5 ns	0,4 ns	1,6 ns	0,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	5,4	3,5	2,9	2,7	2,3
Sistemas de rotação	6,7	4,3	3,7	3,3	2,8

continua...

Quadro 17. Continuação.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)				
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
-----94 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	18,4	11,6	8,5	7,4	5,9
SDSE	18,3	10,4	6,9	7,6	5,6
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	17,7	11,5	8,8	7,4	5,4
M/S/B	17,8	11,4	7,6	6,9	5,2
M/S/B+Ma	19,5	9,9	6,6	8,1	6,7
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,0 ns	0,4 ns	1,8 ns	0,1 ns	0,2 ns
Sistemas de rotação (R)	0,2 ns	0,3 ns	1,2 ns	0,4 ns	1,0 ns
M x R	0,4 ns	1,9 ns	0,2 ns	0,7 ns	0,4 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	6,6	4,1	2,5	2,3	1,9
Sistemas de rotação	8,1	5,0	3,1	2,8	2,3
-----114 DAE-----					
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	7,8	11,6 a	9,2	9,5	8,3
SDSE	11,3	8,5 b	9,9	10,1	9,1
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	9,3	11,5	9,9	9,3	8,4
M/S/B	9,9	8,3	9,3	9,6	8,3
M/S/B+Ma	9,3	10,4	9,4	10,5	9,4
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	2,3 ns	5,3*	0,2 ns	0,2 ns	0,3 ns
Sistemas de rotação (R)	0,0 ns	1,9 ns	0,1 ns	0,2 ns	0,2 ns
M x R	5,7 ns	2,8 ns	0,2 ns	0,1 ns	1,2 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	4,8	2,9	3,3	3,4	3,1
Sistemas de rotação	5,9	3,5	4,1	4,1	3,8

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\* não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milheto/soja/sorgo; M/S/B – milheto/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milheto/soja/braquiária+mamona.

## 6.2. Resistência do solo à penetração (novembro 2006; novembro 2007)

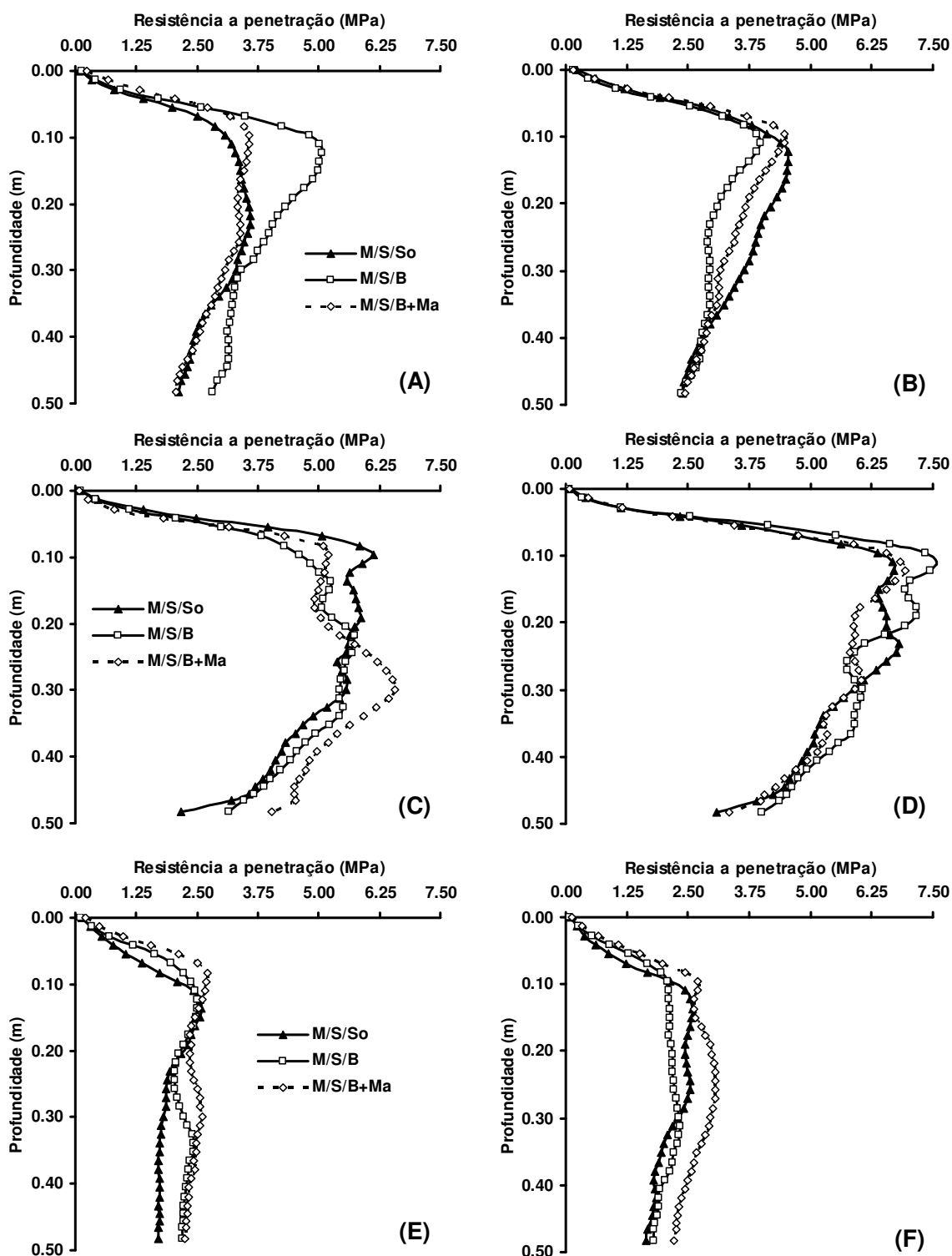
Na Figura 12 estão apresentados os valores da resistência do solo a penetração após os 3 anos agrícolas, e nos Quadros 18, 19 e 20 as respectivas umidades gravimétricas do solo obtidas imediatamente após a avaliação da resistência à penetração.

Para o manejo do solo SDCE (Figura 12 C) observa-se que as rotações que continham apenas a braquiária, a resistência do solo à penetração foi menor comparada ao sistema M/S/So para a profundidade de até 0,25 m, profundidade esta que provavelmente sofreu a ação do escarificador. Para o manejo do solo SDSE (Figura 12 D) foram observados valores de resistência do solo à penetração superior aos do SDCE, independente da rotação usada, o que pode ser explicado pela redução de espaços vazios, com acréscimo da resistência ao cisalhamento e redução da compressibilidade e permeabilidade que este manejo proporciona (BUENO & VILAR, 1998).

Em novembro de 2006, em ambos os manejos de solo os valores de resistência do solo à penetração apresentam-se elevados em todos os tratamentos (Figura 12 C; D), fato atribuído à baixíssima umidade do solo no momento das avaliações (Quadro 18). Assim, a resistência do solo à penetração aumenta de acordo com o estado de compactação do solo, mas tem função direta, principalmente, com a quantidade de água no solo, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores, que segundo Grant e Lafond (1993), variam de 1,5 a 3,0 MPa. Porém, pode-se ter valores restritivos para o crescimento das raízes entre 2,0 e 4,0 MPa (ARSHAD et al., 1996). Mas são admitidos valores superiores em sistema de semeadura direta na ordem de 5 MPa (EHLERS et al., 1983), porque para este sistema de manejo as plantas conseguem desenvolver-se com valores de resistência do solo à penetração maiores quando comparado aos valores restritivos ao desenvolvimento radicular em sistema convencional.

Mas tratando-se de valores restritivos ao crescimento radicular devem-se levar em conta alguns fatores, como por exemplo, a cultura usada e assim o tipo de sistema radicular, tipo de solo, manejo adotado e quantidade de água no solo. Rosolem et al., (1994a) constataram para a cultura do milho redução de 50 % no crescimento radicular com resistência do solo à penetração de 1,42 MPa, embora não tendo sido completamente inibido mesmo com resistência de 4 MPa (ROSOLEM et al., 1994b).

Os valores de resistência do solo à penetração para o ano de 2006 (Figura 12 C e D) foram maiores em relação ao ano de 2005 (Figura 12 A e B) devido a baixa umidade do solo (Quadro 19), pois as chuvas no mês de avaliação (novembro) foram irregulares e mal distribuídas (Figura 1 B). Para o ano de 2007 (Figura 12 E e F) a resistência do solo foi menor comparada aos 2 anos anteriores porque as chuvas foram mais constantes e melhor distribuídas (Figura 1 C) no mês de novembro.



**Figura 12.** Resistência do solo à penetração nas camadas estudadas após 3 anos agrícolas: (A e B; C e D; E e F correspondem a data de avaliação nos meses de Agosto 2005, Novembro 2006 e Novembro de 2007, respectivamente). SDCE (A; C; E) e SDSE (B; D; F) sob as rotações. M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária e M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

**Quadro 18.** Umidade gravimétrica do solo em amostras coletadas simultaneamente ao teste de resistência à penetração do solo (Agosto 2005).

Sistema de rotação	Umidade gravimétrica (g g <sup>-1</sup> )	
	Com escarificação (SDCE)	Sem escarificação (SDSE)
<b>0,00-0,05 m</b>		
M/S/So	0,219	0,235
M/S/B	0,227	0,237
M/S/B+Ma	0,235	0,248
<b>0,05-0,10 m</b>		
M/S/So	0,229	0,252
M/S/B	0,245	0,244
M/S/B+Ma	0,251	0,238
<b>0,10-0,20 m</b>		
M/S/So	0,247	0,256
M/S/B	0,256	0,265
M/S/B+Ma	0,265	0,257
<b>0,20-0,40 m</b>		
M/S/So	0,257	0,254
M/S/B	0,262	0,265
M/S/B+Ma	0,275	0,277
<b>0,40-0,60 m</b>		
M/S/So	0,258	0,258
M/S/B	0,268	0,259
M/S/B+Ma	0,277	0,278

M/S/So - milho/soja/sorgo; M/S/B - milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária + mamona.

**Quadro 19.** Umidade gravimétrica do solo em amostras coletadas simultaneamente ao teste de resistência do solo à penetração (Novembro 2006).

Sistema de rotação	Umidade gravimétrica (g g <sup>-1</sup> )	
	Com escarificação (SDCE)	Sem escarificação (SDSE)
<b>0,00-0,05 m</b>		
M/S/So	0,119	0,119
M/S/B	0,097	0,091
M/S/B+Ma	0,112	0,128
<b>0,05-0,10 m</b>		
M/S/So	0,141	0,152
M/S/B	0,145	0,144
M/S/B+Ma	0,151	0,138
<b>0,10-0,20 m</b>		
M/S/So	0,149	0,153
M/S/B	0,156	0,155
M/S/B+Ma	0,157	0,161
<b>0,20-0,40 m</b>		
M/S/So	0,157	0,164
M/S/B	0,162	0,165
M/S/B+Ma	0,165	0,167
<b>0,40-0,60 m</b>		
M/S/So	0,176	0,178
M/S/B	0,178	0,177
M/S/B+Ma	0,177	0,178

M/S/So - milho/soja/sorgo; M/S/B - milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária + mamona.



**Quadro 20.** Umidade gravimétrica do solo em amostras coletadas simultaneamente ao teste de resistência do solo à penetração (Novembro 2007).

Sistema de rotação	Umidade gravimétrica (g g <sup>-1</sup> )	
	Com escarificação (SDCE)	Sem escarificação (SDSE)
<b>0,00-0,05 m</b>		
M/S/So	0,261	0,252
M/S/B	0,255	0,264
M/S/B+Ma	0,271	0,278
<b>0,05-0,10 m</b>		
M/S/So	0,281	0,285
M/S/B	0,285	0,289
M/S/B+Ma	0,297	0,298
<b>0,10-0,20 m</b>		
M/S/So	0,285	0,297
M/S/B	0,287	0,293
M/S/B+Ma	0,301	0,308
<b>0,20-0,40 m</b>		
M/S/So	0,294	0,295
M/S/B	0,291	0,298
M/S/B+Ma	0,299	0,301
<b>0,40-0,60 m</b>		
M/S/So	0,314	0,309
M/S/B	0,319	0,328
M/S/B+Ma	0,329	0,331

M/S/So - milho/soja/sorgo; M/S/B - milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária + mamona.

### 6.3. Massa seca radicular das plantas de cobertura (safra 2006/2007)

Nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m observa-se que a massa de matéria seca radicular se diferiu para os manejos e rotações adotados (Quadro 21). O manejo SDCE apresentou massa de matéria seca maior (0,79 g dm<sup>-3</sup>; 0,29 g dm<sup>-3</sup>) comparada a massa de matéria seca obtida no SDSE (0,49 g dm<sup>-3</sup>; 0,17 g dm<sup>-3</sup>) para a camada de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente, sendo esta diferença entre os manejos proporcionada pela ação do escarificador pela quebra da camada compactada.

Para as rotações observa-se que a maior massa seca deu-se na rotação M/S/B+Ma, seguida pela M/S/B e M/S/So na camada de 0,05 a 0,20 m.

**Quadro 21.** Massa seca radicular de plantas de cobertura ( $\text{g dm}^{-3}$ ) em função do sistema de manejo do solo e sistemas de rotação de culturas (novembro 2006).

Variáveis <sup>(1)</sup>	Profundidade do solo (m)				
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
<b>Massa seca radicular (<math>\text{g dm}^{-3}</math>)</b>					
<b>Manejo</b>					
SDCE	0,73	0,79 a	0,29 a	0,09	0,05
SDSE	0,82	0,49 b	0,17 b	0,10	0,07
<b>Rotação</b>					
M/S/So	0,57	0,47 b	0,16 b	0,08	0,05
M/S/B	0,70	0,54 b	0,19 b	0,09	0,05
M/S/B+Ma	1,05	0,90 a	0,35 a	0,12	0,08
<b>Valor de F<sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,30 ns	16,78 **	8,83 **	0,04 ns	1,88 ns
Sistemas de rotação (R)	2,87 ns	13,00 **	8,77 **	1,52 ns	2,18 ns
M x R	0,31 ns	2,07 ns	2,56 ns	0,20 ns	2,15 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo (M)	0,36	0,16	0,09	0,04	0,02
Sistemas de rotação (R)	0,44	0,19	0,10	0,05	0,03

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

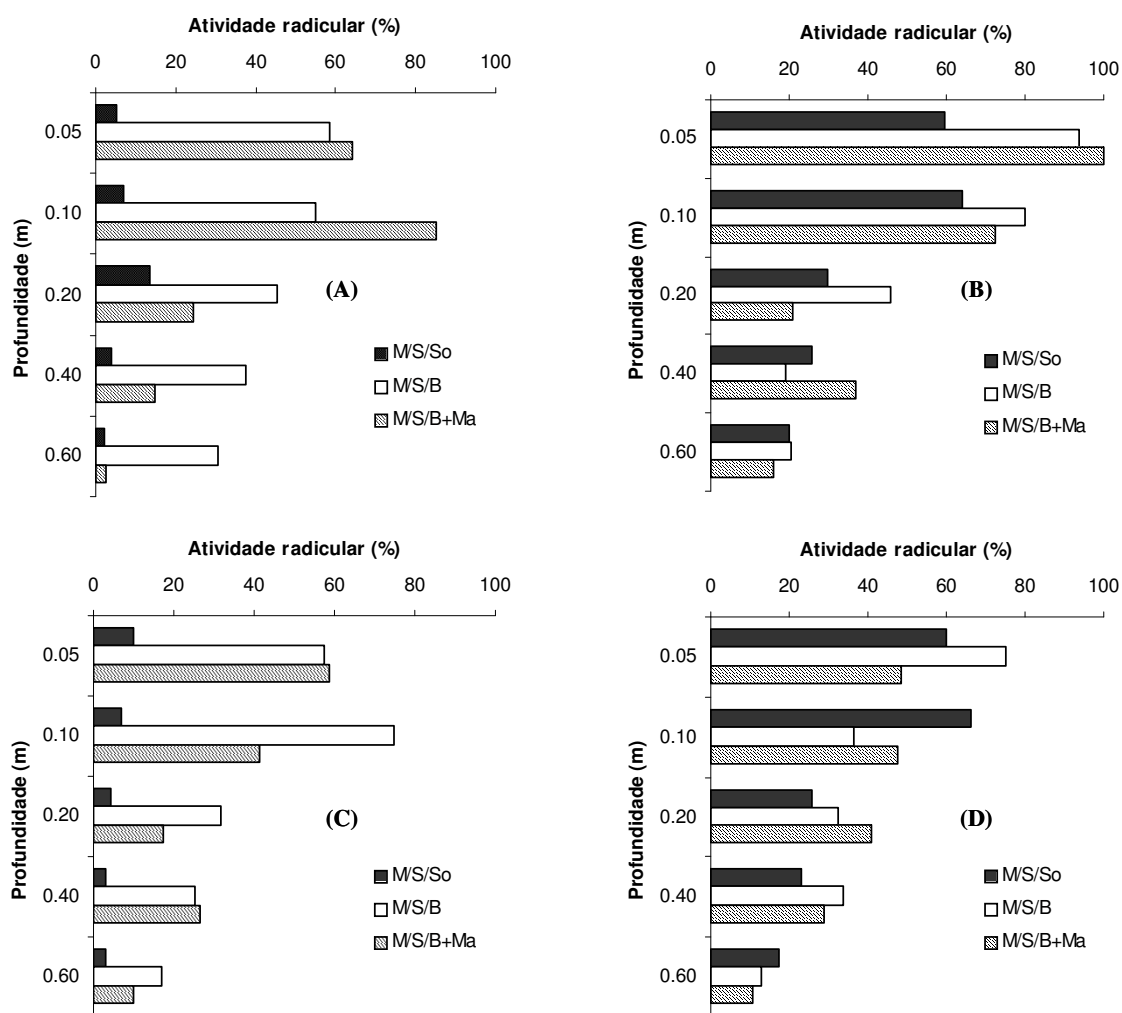
<sup>(2)</sup> ns, \*\*. não significativo; significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B - milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária+mamona.

#### 6.4. Atividade radicular das plantas de cobertura (safra 2006/2007)

As plantas de cobertura utilizadas, independente do sistema de rotação e dos manejos adotados, apresentaram maior atividade radicular próximo à superfície, a qual decresceu com o aumento da profundidade (Figura 13), o que está de acordo com Raji et al. (2001). As distâncias de aplicação da solução de rubídio (0,11 e 0,22 m) possibilitam observar que houve maior atividade das raízes, quanto mais próximas estas estavam da planta, e diminuição da atividade radicular com o aumento da distância da planta.

Para o sistema radicular se desenvolver e ter pleno aproveitamento dos nutrientes da solução do solo, as condições físicas, químicas e biológicas precisam estar em equilíbrio, mas todo sistema de manejo envolve perdas e ganhos. Isto é evidenciado na Figura 13A e 13C, onde o manejo do solo SDCE possibilitou maior massa seca radicular nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Quadro 21), ou seja, o sistema passou por uma

interferência mecânica para rompimento da camada compactada e a planta respondeu de imediato com o aumento da massa seca radicular e aérea (Quadro 21 e 22). No entanto, a capacidade das plantas em absorver água e nutrientes do solo não aumentou, pois a atividade radicular da braquiária e do sorgo foi menor no manejo SDCE comparada a atividade radicular dessas plantas sob manejo do solo SDSE (Figura 13B e 13D).



**Figura 13.** Atividade radicular (%) estimada para as plantas de cobertura (safra 2006/2007) nas profundidades e distâncias estudadas. (A) SDCE - 0,11 m da planta referência; (B) SDSE - 0,11 m da planta referência; (C) SDCE - 0,22 m da planta referência; (D) SDSE - 0,22 m da planta referência.

A maior atividade radicular observada no manejo SDSE (Figura 13) deve-se à não mobilização do solo, evitando perdas de água e melhor distribuição das raízes no perfil do solo (Quadro 21) (FIORIN, 1999). E independente da distância e do sistema de

rotação, ocorreu intensa atividade radicular das plantas de cobertura sob manejo do solo SDSE (Figura 13 B; D). Este comportamento é característico de sistemas de manejo que não há revolvimento do solo, o que proporciona a proximidade das partículas do solo possibilitando maior contato íon-raiz (NOVAIS & SMYTH, 1999) e, estando a planta bem nutrida suas raízes apresentaram maior atividade.

Nas rotações M/S/B e M/S/B+Ma a atividade radicular das plantas foi bastante intensa no perfil do solo comparada a atividade radicular da rotação M/S/So, e este comportamento intensificou-se quando o solo foi mantido sob manejo SDSE (Figura 13). Este comportamento é resultado da distribuição radicular uniforme no perfil do solo das plantas utilizadas. A braquiária, o sorgo e a mamona possuem sistema radicular agressivo que após serem manejadas, suas raízes deixam canais no solo por onde são carreados água, nutrientes e oxigênio, o que foi independente da produção de massa seca radicular (Quadro 21), ou seja, o manejo SDSE produziu menos raiz que o manejo SDCE, o que não foi fator impeditivo para atividade radicular das culturas naquele sistema ser melhor, fato que contribui para maior ciclagem de nutriente.

#### **6.5. Massa seca aérea das plantas de cobertura (safra 2006/2007)**

A produtividade de massa seca aérea das plantas de cobertura na amostragem realizada em novembro de 2006 (Quadro 22), possibilita verificar que não houve diferença de produção de massa seca entre os manejos utilizados (SDCE e SDSE). As rotações sob manejo SDCE não diferiram entre si quanto à produtividade de massa de matéria seca uma vez que a ação mecânica de romper a camada compactada através da escarificação proporcionou condições físicas do solo semelhantes para o desenvolvimento das culturas nas diferentes rotações. Ainda para o manejo do solo SDCE a produtividade de massa seca das culturas foi de 5869 kg ha<sup>-1</sup> e de 5049 kg ha<sup>-1</sup> para SDSE. A maior produtividade pode estar associada à resposta imediata das plantas a ação mecânica de descompactação, ou seja, as plantas responderam com aumento da produção de massa seca e a melhor condição física do solo proporcionada pela escarificação.

A menor produtividade de massa seca das rotações com braquiária sob manejo SDSE pode ser atribuída ao crescimento lento da braquiária, comparado ao da cultura do sorgo, e à maior resistência do solo à penetração neste sistema (Figura 12 C e D). Porém, mesmo com a produtividade de massa seca menor (Quadro 22) as rotações sob o manejo SDSE apresentaram maior atividade radicular quando comparadas às rotações sob manejo SDCE (Figura 13). Assim é possível considerar que a avaliação da produtividade sozinha em determinados casos não ilustra a real condição de atividade radicular da planta, assim pode haver boas produtividades da parte aérea, enquanto os sistemas radiculares podem estar sob interferência de algum fator físico, químico ou biológico do solo.

**Quadro 22.** Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de massa de matéria seca aérea das plantas de cobertura na aplicação de  $\text{RbNO}_3$  (novembro 2006).

Sistema de rotação <sup>(1)</sup>	Semeadura Direta	
	Com Escarificação	Sem Escarificação
	-----Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ )-----	
M/S/So	7369 a	7147 a
M/S/B	5103 a	3639 b
M/S/B+Ma	5136 a	4361 b
<b>Média</b>	<b>5869</b>	<b>5049</b>
<b>Valor de F<sup>(2)</sup></b>		
Manejo do solo (M)		1,57 ns
Sistemas de rotação (R)		7,14 **
M x R		0,28 ns
<b>D.M.S</b>		
Manejo do solo (M)		1424
Sistemas de rotação (R)		1744

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milheto/soja/sorgo; M/S/B – milheto/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milheto/soja/braquiária+mamona.

As culturas do sorgo bem como a da mamona foram extremamente prejudicadas pelo período de inverno seco que ocorreu na região, tendo seu desenvolvimento restabelecido somente após as primeiras chuvas de setembro de 2006, não havendo tempo hábil para as suas respectivas colheitas. Portanto, após este período, estas obtiveram um desenvolvimento satisfatório até a época de amostragem, sendo contabilizadas como plantas de cobertura para a produtividade de massa seca.

## 6.6. Acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura (safra 2006/2007)

De acordo com o Quadro 23 as rotações diferiram entre si quanto os teores de N, Ca e Mg acumulados na parte aérea das plantas de cobertura. Para N a rotação M/S/B apresentou o maior teor do elemento ( $15,35 \text{ g kg}^{-1}$ ) seguida pela M/S/B+Ma ( $12,50 \text{ g kg}^{-1}$ ) e M/S/So ( $11,81 \text{ g kg}^{-1}$ ), enquanto o maior acúmulo de Ca e Mg foi observado na rotação M/S/B+Ma. Os manejos de solo diferiram-se sendo o SDSE o que acumulou maiores teores de Ca e Mg em relação ao manejo SDCE.

Na Figura 14 observam-se as quantidades dos nutrientes acumulados na fitomassa aérea das plantas de cobertura durante o primeiro ano agrícola, onde o N e o K foram os nutrientes acumulados em maiores quantidades, independente da rotação ou manejo adotado.

Na Figura 14 B as rotações sob manejo SDCE diferiram entre si quanto ao acúmulo de P, e para K as rotações diferiram-se no manejo SDSE (Figura 14 C). Para N, Ca e Mg não houve efeito significativo do manejo do solo e sistemas de rotação (Figura 14 A, D, E, respectivamente).

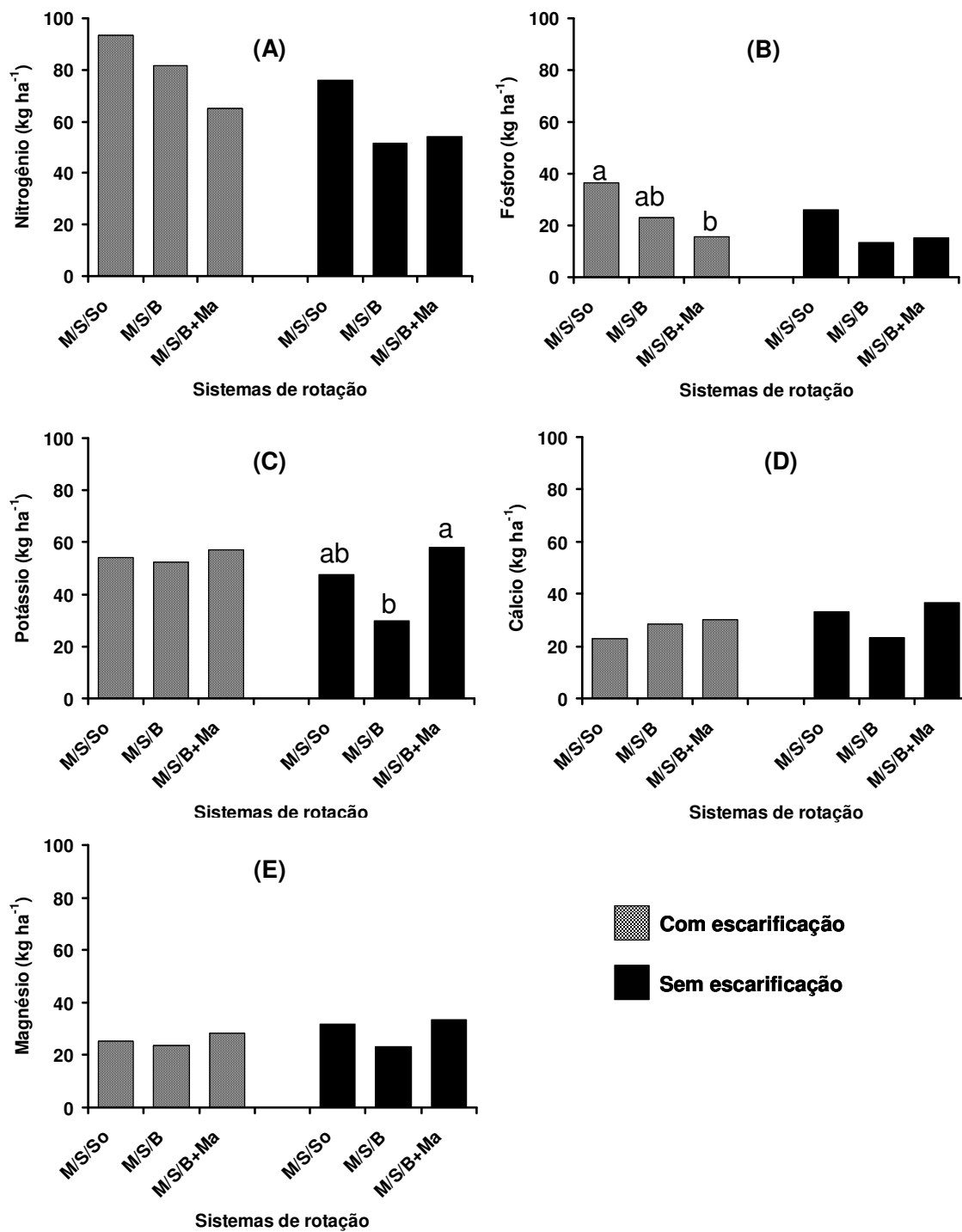
Para P no manejo SDCE (Figura 14 B), a rotação M/S/So foi a que mais acumulou P ( $36,68 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguida da M/S/B ( $23,00 \text{ kg ha}^{-1}$ ), e M/S/B+Ma ( $15,57 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Quanto ao acúmulo de K, as rotações diferiram sob manejo SDSE, sendo a rotação M/S/B+Ma superior as demais rotações quanto ao acúmulo do nutriente ( $57,81 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguida das rotações M/S/So ( $47,67 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e M/S/B ( $29,76 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

O N (Figura 14 A) e K (Figura 14 C) são os nutrientes que apresentam maior acúmulo na massa seca das plantas de cobertura o que expressa que as rotações usadas possuem potencial de disponibilizar através da decomposição da biomassa esses nutrientes a cultura sucessora, ou seja, disponíveis em maior quantidade para a ciclagem de nutrientes, seguidos do Ca, Mg e P, respectivamente.

**Quadro 23.** Teor médio de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea de plantas de cobertura, em função de sistemas de produção (novembro 2006).

Tratamento <sup>(1)</sup>	N	P	K	Ca	Mg
	-----( $\text{g kg}^{-1}$ )-----				
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	14,05	4,18	11,58	4,87 b	4,69
SDSE	12,39	3,65	10,26	6,31 a	6,00
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	11,81 b	4,27	8,50	3,84 b	3,95 b
M/S/B	15,35 a	4,20	12,06	5,68 a	5,44 ab
M/S/B+Ma	12,50 b	3,27	12,20	7,25 a	6,65 a
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	3,15 ns	0,91 ns	0,44 ns	4,59 *	3,67 ns
Sistema de rotação (R)	5,38 **	1,31 ns	1,47 ns	8,58 **	5,23 **
M x R	0,49 ns	0,73 ns	2,49 ns	0,42 ns	0,47 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	1,96	1,18	4,20	1,41	1,43
Sistema de rotação	2,40	1,45	5,14	1,73	1,75

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*, não significativo, significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste t (LSD). M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária+mamona.



**Figura 14.** Acúmulo de N, P, K, Ca e Mg em plantas de cobertura (novembro de 2006), A, B, C, D e E, respectivamente, em função do manejo do solo e sistemas de rotação de culturas. M/S/So - milho/soja/sorgo; M/S/B - milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária+mamona.



### 6.7. Massa seca radicular do milho

A massa seca radicular do milho de acordo com manejo do solo e rotações empregadas pode ser observada no Quadro 24. Verifica-se que apenas houve diferença entre os manejos de solo na camada 0,05-0,10 m, onde a massa de raízes no manejo SDCE foi maior (0,81 g dm<sup>-3</sup>) comparada a do manejo SDSE (0,37 g dm<sup>-3</sup>). O que pode ser atribuído a concentração de raízes de milho em função da ação do escarificador, o qual proporcionou condições físicas do solo mais propícias ao crescimento radicular em relação ao manejo SDSE, onde não houve escarificação e o solo apresentava mais compactado. Assim, para o manejo do solo SDSE foram observados valores superiores de resistência do solo à penetração aos observados no manejo SDCE, independente da rotação usada (Figura 12 E, F) o que influenciou na produtividade radicular do milho.

**Quadro 24.** Massa seca radicular do milho (g dm<sup>-3</sup>) em função do sistema de manejo do solo e sistemas de rotação de culturas.

Variáveis	Profundidade do solo (m)				
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
<b>Massa seca radicular (g dm<sup>-3</sup>)</b>					
<b>Manejo</b>					
SDCE	0,55	0,81 a	0,25	0,15	0,07
SDSE	0,61	0,37 b	0,24	0,14	0,05
<b>Rotação</b>					
M/S/So	0,57	0,70	0,22	0,12	0,05
M/S/B	0,56	0,45	0,25	0,15	0,06
M/S/B+Ma	0,62	0,61	0,27	0,16	0,07
<b>Valor de F</b>					
Manejo do solo (M)	0,38 ns	15,45 **	0,04 ns	0,09 ns	1,30 ns
Sistemas de rotação (R)	0,19 ns	1,69 ns	0,34 ns	1,26 ns	2,21 ns
M x R	1,36 ns	2,82 ns	0,51 ns	2,05 ns	0,68 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo (M)	0,20	0,23	0,11	0,04	0,02
Sistemas de rotação (R)	0,24	0,29	0,13	0,06	0,03

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns; \*\*. não significativo, significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

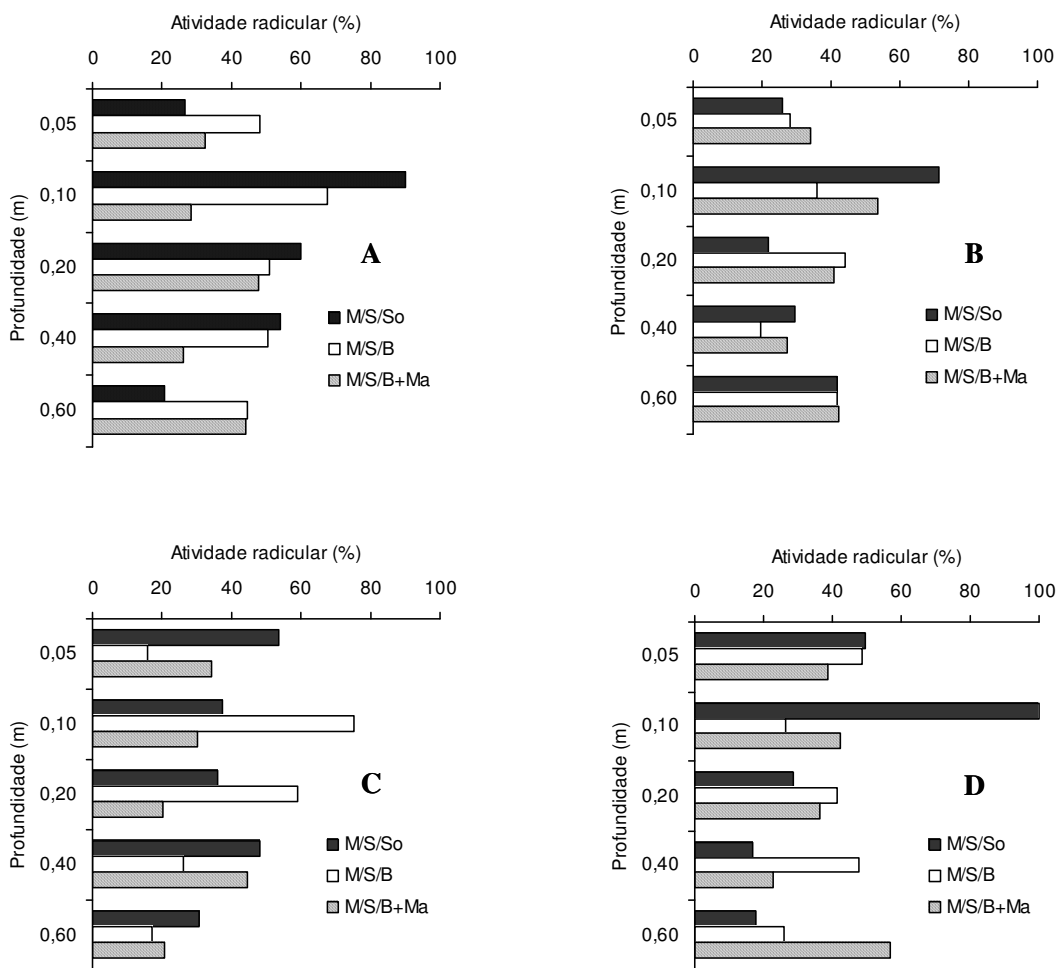
## 6.8. Atividade radicular do milho

As plantas de milho, independente do sistema de rotação e do manejo apresentaram atividade radicular uniforme no perfil do solo (Figura 15). Esta uniformidade no perfil da atividade radicular foi em razão do baixo teor de água no solo, ou seja, na presença de baixa umidade, as raízes em profundidade tendem a apresentar atividade equivalente às raízes da superfície, mesmo possuindo as camadas superficiais maiores concentração de raiz (Quadro 24).

Na camada 0,10 m, independente do manejo, rotação e distância de aplicação da solução de rubídio observa-se a maior atividade radicular (Figura 15). Para a distância 0,11 m, no manejo SDCE a rotação M/S/So apresentou a maior atividade radicular em relação às demais rotações (acima de 90 % Figura 15 A) e no manejo SDSE foi acima de 75% (Figura 15 B). Para a distância de 0,22 m a maior atividade (acima de 75%) no manejo SDCE pode ser observada na rotação M/S/B (Figura 15 C), enquanto sob manejo SDSE a rotação com maior atividade radicular foi a M/S/So (Figura 15 D). Os valores de atividade radicular superiores da rotação M/S/So em relação às demais rotações empregadas resultou em maior acúmulo de nutriente (Figuras 16 e 17) encontrado para esta rotação, demonstrando que apesar de não apresentar a maior massa seca radicular, o sistema de rotação possui raízes eficientes para absorverem nutrientes.

De maneira geral para a cultura do milho, as maiores porcentagens de atividade de raiz se concentram de 0,00 a 0,10 m, fato atribuído à maior produtividade de massa seca radicular da cultura (Quadro 24).

A decomposição de palha e o não revolvimento do solo no sistema semeadura direta, favorecendo maior quantidade de água e concentração de nutrientes na superfície do solo, provocam alterações no desenvolvimento do sistema radicular de modo diferente do sistema convencional de cultivo, particularmente no que se refere à sua distribuição no solo (TIRITAN, 2001), isto ocorre sob condições climáticas favoráveis aos diferentes manejos e não em situações de déficit hídrico acentuado.



**Figura 15.** Atividade radicular (%) estimada para as plantas de milho nas profundidades e distâncias estudadas. (A) SDCE - 0,11 m da planta referência; (B) SDSE - 0,11 m da planta referência; (C) SDCE - 0,22 m da planta referência; (D) SDSE - 0,22 m da planta referência.

### 6.9. Acúmulo de nutrientes pela cultura do milho

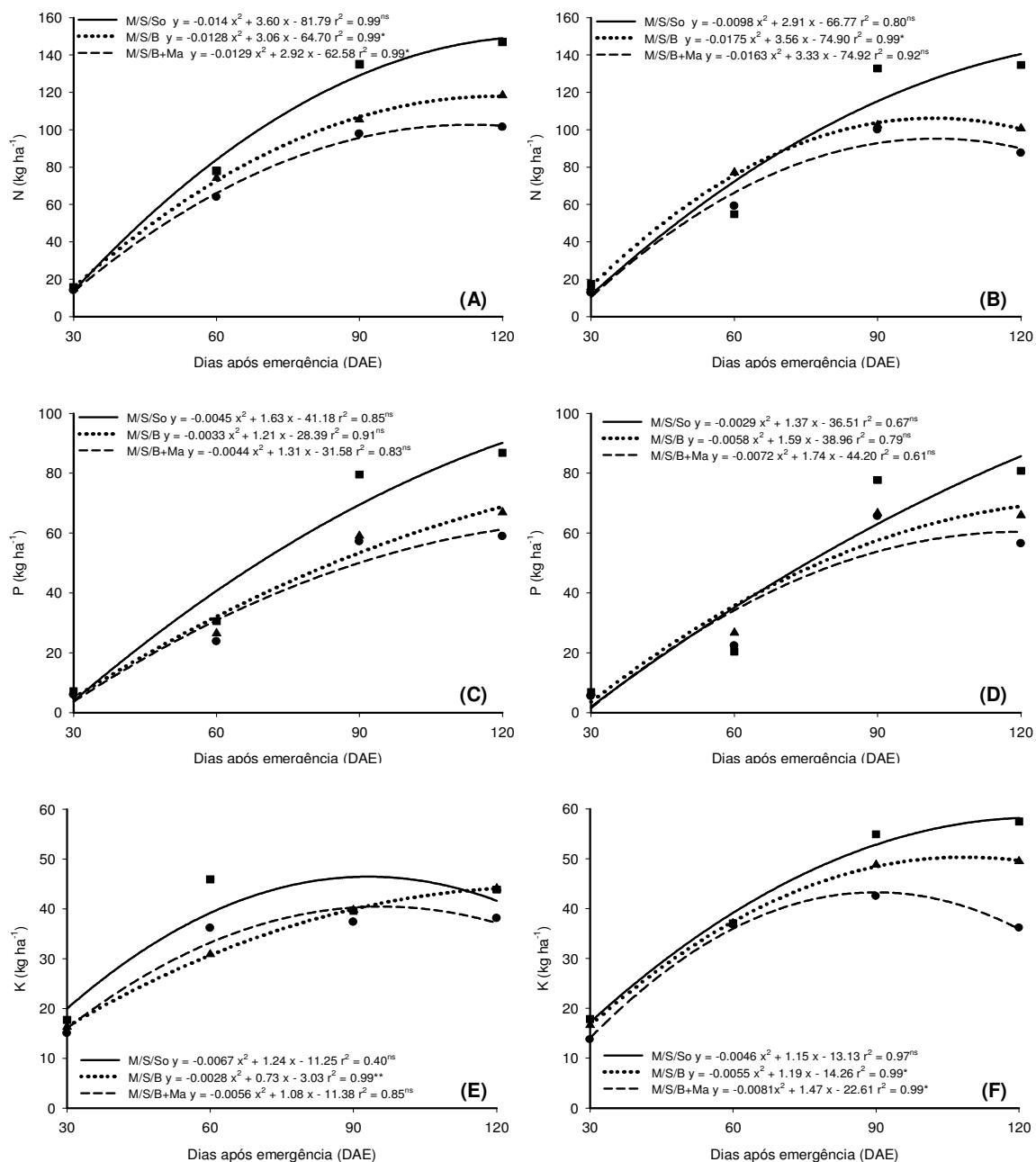
Para a cultura do milho, o acúmulo de N, P, K, Ca e Mg estão apresentados nas Figuras 16 e 17, respectivamente, onde nota-se que apenas o acúmulo de N na massa de matéria seca pelo milho aos 120 DAE diferiu estatisticamente para os sistemas de rotação (Figura 16 A e B), sendo a rotação M/S/So sob manejo SDCE (Figura 16 A) a que apresentou maior acúmulo do nutriente ( $146,95 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ), seguida pela rotação M/S/B ( $118,41 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ) e M/S/B+Ma ( $101,38 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ). No manejo SDSE as rotações tiveram o mesmo comportamento, ou seja, a rotação M/S/So acumulou  $134 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ , seguida pelas rotações M/S/B ( $100,72 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ) e M/S/B+Ma ( $87,59 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ), o que proporcionou ao

manejo SDSE as menores quantidades acumuladas dos nutrientes de maneira geral. Deve-se considerar que o sistema de rotação M/S/So acumulou as maiores quantidades dos nutrientes avaliados, em razão da população de plantas de milho ter sido maior em relação às demais rotações (Figura 18).

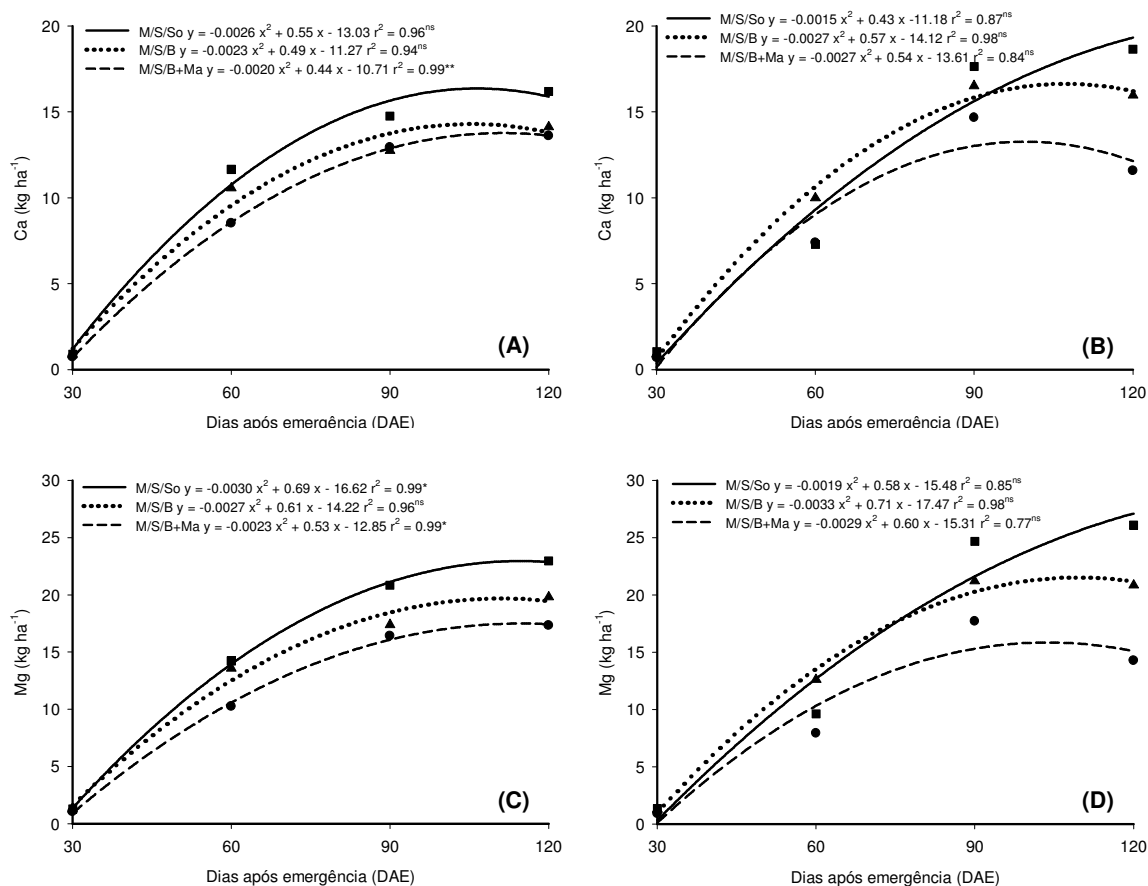
De acordo com as quantidades de nutrientes acumuladas pelas plantas de milho, fica evidente que a rotação M/S/So é superior às demais rotações, isto além da maior população de plantas, também está relacionado à maior atividade radicular (Figura 15) observada para a rotação. Desta maneira, quanto maior a ação das raízes em absorver nutrientes da solução do solo, maior a capacidade da planta em acumular determinados nutrientes em sua parte aérea, sendo pelo milho o N, P e K (Figura 16) os elementos acumulados em maiores quantidades e Mg e Ca em menores (Figura 17).

Para Siqueira et al. (1994), a imobilização de N na biomassa torna a reciclagem do N mais vagarosa, porém mais eficiente, quando comparada àquela incorporada através de arações, escarificações e gradagens.

Na mineralização do tecido foliar de culturas ocorrem perdas de nutrientes por volatilização, lixiviação, percolação e escorrimento por erosão laminar. Mesmo com essas perdas, estima-se que 60% a 70% do nitrogênio encontrado na biomassa vegetal é reciclado e novamente absorvido pelas plantas do cultivo seguinte (SPAIN & SALINAS 1985).

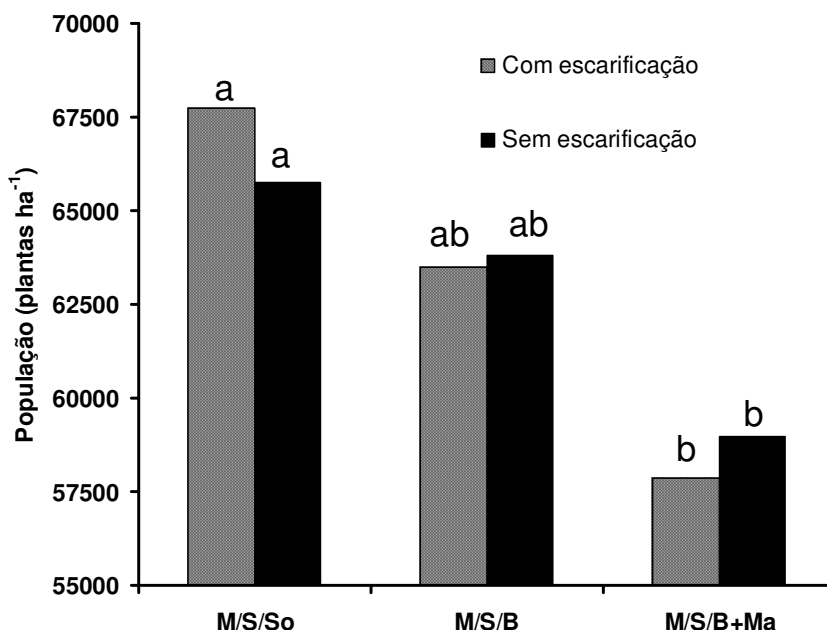


**Figura 16.** Acúmulo de N, P e K na matéria seca de milho em função dos manejos do solo, onde: A, C e E sob manejo SDCE; B, D e F sob SDSE, e sistemas de rotação: M/S/So - milho / soja / sorgo; M/S/B - milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma - milho / soja / braquiária + mamona.



**Figura 17.** Acúmulo de Ca e Mg na matéria seca de milho em função dos manejos do solo, onde: A e C sob manejo SDCE; B e D sob manejo SDSE, e sistemas de rotação; M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

A população de plantas de milho diferiu de acordo com a rotação utilizada (Figura 18) e não ao manejo do solo, apresentando maior população de plantas a rotação M/S/So para ambos os manejos (SDCE e SDSE) em relação às demais rotações. A diferença no stand de milho foi devido à maior dificuldade operacional que as touceiras da braquiária nas rotações M/S/B e M/S/B+Ma proporciona no momento da semeadura do milho. Desta maneira, algumas sementes ficaram depositadas sobre e/ou entre a palhada da braquiária o que dificultou a incorporação das sementes de milho ao solo de maneira adequada. Além disso, a quantidade elevada de palha dificulta a incidência de luz sobre o solo retardando a emergência das plântulas, que quando conseguem romper a barreira física, ficam suprimidas pela palha e pelas outras plantas da própria cultura.



**Figura 18.** População média de plantas de milho no momento da colheita (120 DAE) em função do manejo do solo e sistemas de rotação de culturas. Letras iguais dentro do mesmo manejo do solo não diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade. M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma - milho / soja / braquiária + mamona.

### 6.10. Diagnose foliar - milho

A diagnose foliar é baseada nos teores de nutrientes presentes nas folhas e pode ser eficiente para identificar carências nutricionais e toxicidade. Para a cultura do milho avaliou-se aos 62 DAE os valores de N, P, K, Ca e Mg (Quadro 25). De acordo com os teores observados, é possível dizer que apenas o N e o K estão abaixo da faixa adequada de macronutrientes recomendada por Raij et al. (1997), ou seja, para N a faixa de teor foliar indicada para cultura é de 27-35 g kg<sup>-1</sup> e para o K é de 17-35 g kg<sup>-1</sup>. Os demais nutrientes avaliados estão de acordo com a faixa de teor foliar adequada para a cultura.

O teor de N nas folhas é muito influenciado pela adubação nitrogenada e, segundo Killorn & Zourarakis (1992), a concentração foliar de nitrogênio reflete sua disponibilidade no solo, sendo que a sua análise pode ser útil na detecção de deficiência de N e, conseqüentemente, na predição de produção de grãos.

Assim, o N, é um elemento que uma vez fixado em compostos orgânicos fica à disposição da ciclagem no complexo planta-palha-solo, formado pelos agroecossistemas (CRUSCIOL et al., 2005). Segundo o autor, isto pode ser verificado ao manejar o nabo forrageiro no estágio de pré-florescimento, pois ocorre rápida degradação da palhada, acarretando liberação de quantidades significativas de macronutrientes. Os nutrientes disponibilizados em maior quantidade e velocidade para a cultura subsequente neste caso foram o K e N, sendo a maior velocidade de liberação de macronutrientes pelo nabo forrageiro entre 10 e 20 dias após o manejo da fitomassa. Desta maneira, provavelmente, no manejo da braquiária e do sorgo houve imobilização do N no processo de mineralização da matéria orgânica da própria biomassa das plantas de cobertura. Em relação ao K, ocorrem perdas deste da palhada para o solo em curto período de tempo, de maneira tão rápida que no momento de necessidade de absorção de K pelo milho o nutriente já não estava mais disponível à cultura na camada 0,00-0,20 m onde concentra-se maior volume de raízes para absorvê-lo.

**Quadro 25.** Teor foliar médio de N, P, K, Ca e Mg para a cultura do milho aos 62 DAE, em função de sistemas de produção.

Tratamento <sup>(1)</sup>	N	P	K	Ca	Mg
	-----( $\text{g kg}^{-1}$ )-----				
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	19,95	7,66	11,78	2,50	2,25
SDSE	20,70	7,97	11,24	2,67	2,28
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	19,81	7,43	11,36	2,49	2,20
M/S/B	20,14	8,12	12,19	2,69	2,39
M/S/B+Ma	21,02	7,88	10,98	2,58	2,21
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	0,73 ns	0,16 ns	0,35 ns	0,48 ns	0,02 ns
Sistema de rotação (R)	0,68 ns	0,27 ns	0,63 ns	0,23 ns	0,21 ns
M x R	0,09 ns	0,03 ns	0,39 ns	0,61 ns	0,94 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	1,84	1,64	1,90	0,51	0,56
Sistema de rotação	2,25	2,01	2,32	0,62	0,68

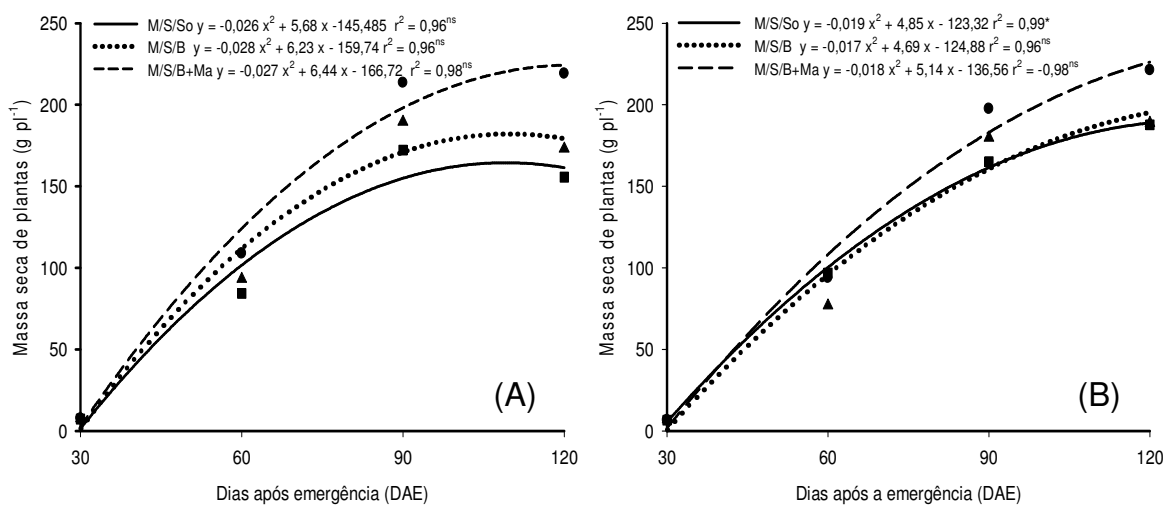
<sup>(1)</sup> ns, não significativo a 5% pelo teste t (LSD). M/S/So - milheto/soja/sorgo; M/S/B - milheto/soja/braquiária; M/S/B+Ma - milheto/soja/braquiária+mamona.



### 6.11. Massa seca da parte aérea de plantas de milho

De acordo com a Figura 19, observa-se o acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea das plantas de milho, as quais após 90 DAE continuaram a apresentar um acúmulo expressivo de matéria seca devido à presença de plantas em maturação fisiológica no momento da coleta. Independente do manejo adotado, as rotações com braquiária nos sistemas avaliados (M/S/B e M/S/B+Ma) produziram as maiores massas de matéria seca em relação à rotação M/S/So (Figura 19 A; B). O fato da rotação M/S/So apresentar as menores massas de matéria seca não influenciou a cultura do milho em acumular nutrientes, uma vez que foi esta rotação que possibilitou os maiores teores de N, P, K, Ca e Mg (Figura 16 e 17), no entanto, ressalta-se que isto é atribuído a maior população de planta (Figura 18).

Assim, independente da produtividade de massa de matéria seca da cultura do milho a rotação M/S/So apresentou maior acúmulo de N, P, K Ca e Mg (Figuras 16 e 17) em relação às demais rotações avaliadas para ambos os manejo empregados, o que atribui-se a maior atividade das raízes neste sistema (Figura 15).



**Figura 19.** Acúmulo de massa de plantas de milho em função do manejo do solo SDCE (A) e SDSE (B) e sistemas de rotação de culturas. M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

### **6.12. Massa seca radicular das plantas de cobertura (safra 2007/2008)**

Para a produtividade de massa de matéria seca radicular (Quadro 26), não houve diferença para os manejos adotados. O sistema de manejo de solo SDSE, mesmo com 2,5 MPa de compactação até 0,10 m de profundidade (Figura 12 E; F), não apresentou diminuição da produtividade radicular da braquiária e do sorgo, mas isto desde que os teores de água e nutrientes ao longo do perfil do solo atendam às necessidades fisiológicas das plantas.

Assim, as rotações M/S/B e M/S/B+Ma apresentaram produtividade de raiz no perfil do solo maior em relação à rotação M/S/So. Esta diferença entre as rotações é atribuída a presença de raízes, a quais proporcionaram maior atividade radicular (Figura 20).

Queiroz-Voltan et al., (2000) enfatizam que em solo compactado as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado, além do decréscimo da quantidade de oxigênio na rizosfera limitar os processos metabólicos, o que não está de acordo com os resultados observados nesta pesquisa.

A adaptação das plantas no ambiente agricultável que são inseridas depende, principalmente, do material genético de cada espécie, o que permite respostas distintas quando submetidas a condições de compactação de solo. Esta característica pode estar relacionada com a capacidade de adaptação das raízes em crescerem em solos relativamente densos (FOLONI, 1999).

**Quadro 26.** Massa seca radicular de plantas de cobertura ( $\text{mg cm}^{-3}$ ) em função do sistema de manejo do solo e rotações de culturas (novembro 2007).

Variável <sup>(1)</sup>	Profundidade do solo (m)				
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
<b>Massa seca radicular (<math>\text{g dm}^{-3}</math>)</b>					
<b>Manejo</b>					
SDCE	1,22	0,81	0,33	0,14	0,05
SDSE	0,96	0,97	0,31	0,14	0,06
<b>Rotação</b>					
M/S/So	0,39 b	0,17 b	0,10 b	0,04 b	0,02 b
M/S/B	1,34 a	1,23 a	0,43 a	0,21 a	0,08 a
M/S/B+Ma	1,54 a	1,28 a	0,42 a	0,16 a	0,06 a
<b>Valor de F<sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	1,22 ns	1,28 ns	0,37 ns	0,01 ns	0,06 ns
Sistemas de rotação (R)	9,61 **	26,20 **	35,42 **	11,88 **	7,86 **
M x R	0,19 ns	0,56 ns	0,44 ns	0,11 ns	0,39 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo (M)	0,48	0,30	0,08	0,06	0,02
Sistemas de rotação (R)	0,59	0,37	0,09	0,08	0,03

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \*\*. não significativo; significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So - milho / soja / sorgo; M/S/B - milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária+mamona.

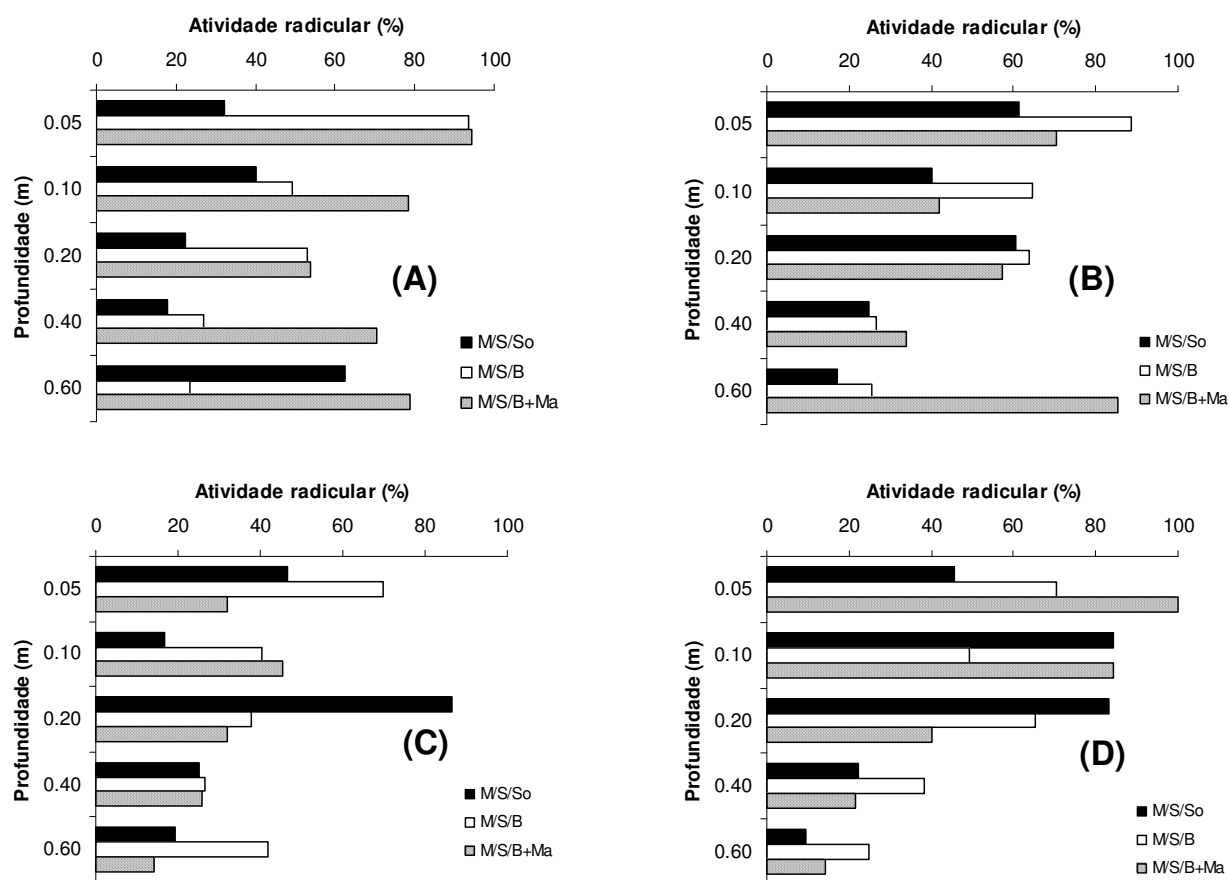
### 6.13. Atividade radicular das plantas de cobertura (safra 2007/2008)

A atividade radicular das plantas de cobertura (Figura 20), independente, das rotações e manejos adotados, apresentou maior atividade radicular próximo à superfície do solo a qual decresceu com o aumento da profundidade, o que corrobora com Raij et al.(2001). No entanto, em profundidade de subsuperfície (0,40 m - Figura 20 A; B; C e D; e 0,60 m - Figura 20 B; C) observou-se atividade radicular tanto quanto na superfície. A atividade das raízes foi maior no manejo SDSE (Figura 20 B; D) comparada ao manejo SDCE (Figura 20 A; C) independente das rotações usadas. Culturas com sistemas radiculares ativos em maiores profundidades no perfil do solo poderão evitar, por exemplo, lixiviação de K e disponibilizá-lo futuramente através da decomposição da cobertura vegetal dessas culturas.

Nesta safra, a atividade radicular das plantas de cobertura foi maior comparada a da safra anterior (Figura 15) devido à maior precipitação (Figura 1) ocorrida na safra 2007/2008 em relação à 2006/2007. Desta maneira, o solo com maior teor de água e umidade uniforme no perfil proporcionou às raízes uma maior uniformidade de sua atividade radicular.

Pode-se verificar que a mudança na distribuição das raízes é influenciada pela espécie de planta de cobertura usada em rotação, e conseqüentemente pelo tipo de sistema radicular que estas possuem. As rotações M/S/B e M/S/B+Ma no manejo SDCE (Figura 20 A; C), apresentaram maior atividade radicular comparada a rotação M/S/So. Este comportamento é devido a presença de braquiária nestas rotações, a qual proporcionou maior massa seca radicular (Quadro 26) e conseqüentemente maior atividade das raízes.

A uniformidade da atividade radicular no perfil do solo possibilita que as plantas retirem os nutrientes de camadas subsuperficiais e os liberem em camadas superiores (FIORIN, 1999) os quais poderão ser absorvidos pelas culturas sucessoras.



**Figura 20.** Atividade radicular (%) estimada para as plantas de cobertura (safra 2007/2008) nas profundidades e distâncias estudadas. (A) SDCE – 0,11 m da planta de referência; (B) SDSE – 0,11 m da planta de referência; (C) SDCE – 0,22 m da planta de referência; (D) SDSE – 0,22 m da planta de referência.

#### 6.14. Massa seca aérea das plantas de cobertura (safra 2007/2008)

De acordo com o Quadro 27 a produtividade de massa seca das plantas de cobertura para a safra 2007/2008 não diferiu entre os manejos de solo estudados, mas pode-se observar diferenças as rotações adotadas de acordo com o manejo de solo.

As rotações M/S/B e M/S/B+Ma produziram mais massa de matéria seca em relação à rotação M/S/So para ambos os manejos de solo adotados. Esta melhor produtividade das rotações M/S/B e M/S/B+Ma deve-se a maior massa seca radicular (Quadro 26) produzida pelas plantas de cobertura em todas as camadas avaliadas do solo, o que

possibilitou melhor absorção dos nutrientes da solução do solo e conseqüentemente maior acúmulo de nutrientes (Quadro 28).

Desta forma, observou-se que a braquiária é capaz de manter sua produção mesmo em solos compactados, beneficiando com seu sistema radicular, ao ultrapassar as camadas compactadas, as espécies que possuem sistemas radiculares menos agressivos (MIELNICZUK, 1996).

**Quadro 27.** Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de massa de matéria seca aérea das plantas de cobertura na aplicação de  $\text{RbNO}_3$  (2007).

Sistema de rotação	Semeadura Direta	
	Com Escarificação	Sem Escarificação
	-----Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ )-----	
M/S/So	3296,90 b	3050,80 b
M/S/B	5404,70 ab	4480,20 ab
M/S/B+Ma	5659,30 a	6559,50 a
<b>Média</b>	<b>4786,97</b>	<b>4696,83</b>
<b>Valor de F</b>		
Manejo do solo (M)		0,023 ns
Sistemas de rotação (R)		8,404**
M x R		0,818 ns
<b>D.M.S</b>		
Manejo do solo (M)		1236,86
Sistemas de rotação (R)		1514,84

ns; \*\* - não significativo; significativo a 1% de probabilidade pelo teste t (LSD). Letras iguais na coluna não diferem entre si. M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária e M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

### 6.15. Acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura (safra 2007/2008)

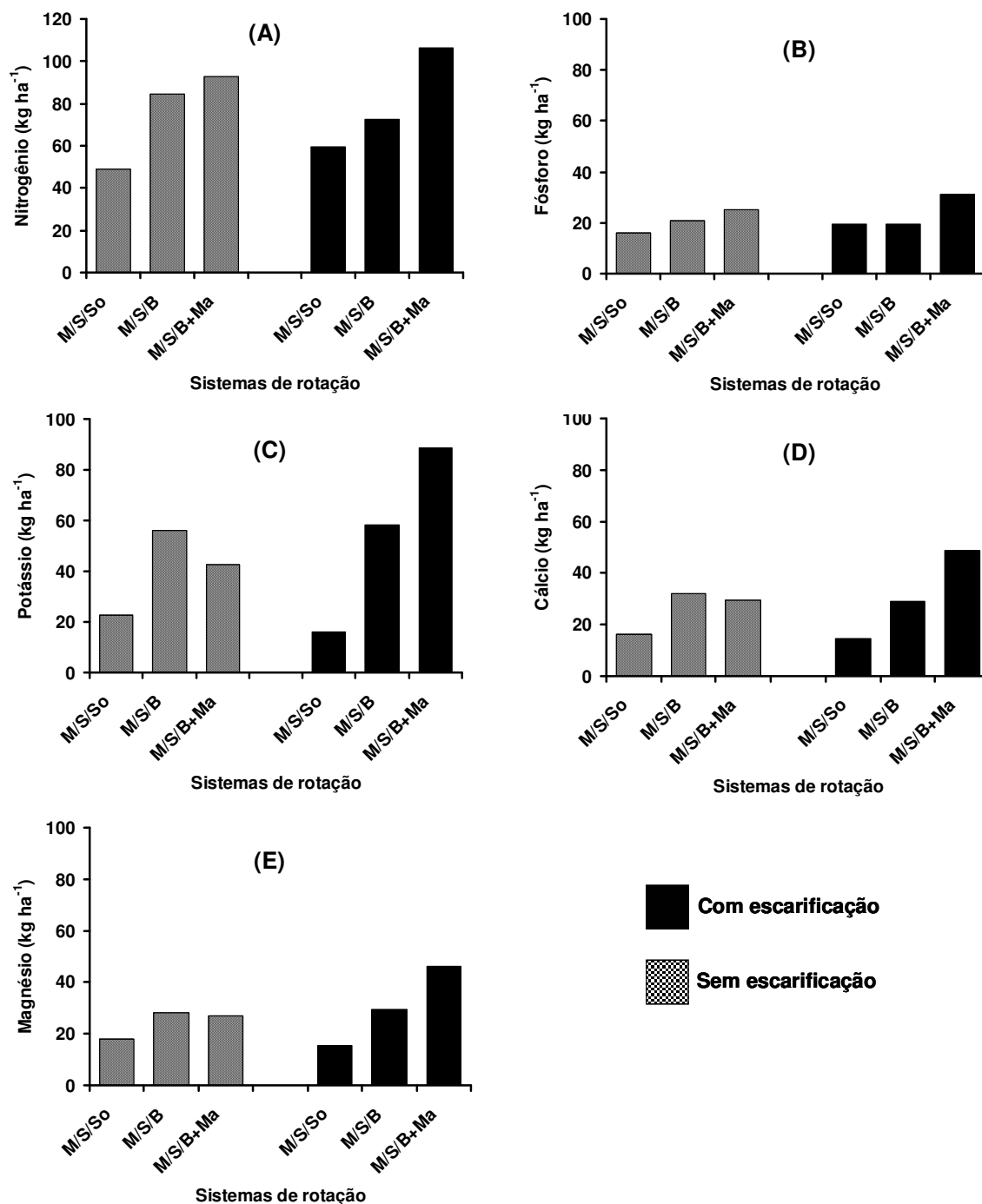
Os manejos de solo SDCE e SDSE não se diferiram quanto aos teores de nutrientes na matéria seca das plantas de cobertura (Quadro 28). A rotação M/S/So ( $2,94 \text{ g kg}^{-1}$ ) apresentou maiores teores de P na biomassa de sorgo em relação às rotações M/S/B ( $2,10 \text{ g kg}^{-1}$ ) e M/S/B+Ma ( $2,33 \text{ g kg}^{-1}$ ). Desta maneira, observa-se que o sorgo foi mais eficiente em absorver P comparado as rotações com braquiária, e esta característica foi independente da produtividade radicular (Quadro 26) e aérea (Quadro 27) do sorgo, as quais foram menores em relação às das demais rotações.

**Quadro 28.** Teor médio de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea de plantas de cobertura, em função de sistemas de produção (dezembro 2007).

Tratamento <sup>(1)</sup>	N	P	K	Ca	Mg
	-----( $\text{g kg}^{-1}$ )-----				
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	16,21	2,31	4,14	5,48	5,19
SDSE	17,38	2,61	5,10	5,77	6,19
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	17,52	2,94 a	3,02	5,01	5,21
M/S/B	15,86	2,10 b	5,68	5,48	5,91
M/S/B+Ma	17,01	2,33 b	5,17	6,39	5,95
<b>Valor de F <sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	1,10 ns	1,92 ns	1,02 ns	0,24 ns	3,68 ns
Sistema de rotação (R)	0,76 ns	5,23 *	2,97 ns	1,85 ns	0,84 ns
M x R	2,16 ns	0,20 ns	0,43 ns	2,98 ns	1,51 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	2,37	0,46	1,99	1,26	1,10
Sistema de rotação	2,91	0,56	2,44	1,54	1,34

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup> ns; \* - não significativo, significativo a 5%, respectivamente, pelo teste t (LSD). M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma – milho/soja/braquiária+mamona.

As rotações com braquiária (M/S/B e M/S/B+Ma) mostraram-se mais eficientes que a rotação M/S/So em acumular nutrientes, sendo acumulados em maiores quantidades o N, K, Ca, Mg e P, respectivamente (Figura 21) em ambos os manejos do solo (SDCE e SDSE). Observa-se que os sistemas com braquiária foram mais eficiente em ciclar N e menos eficientes em acumular P e Mg. Kluthcoushi (2003) salienta que os sistemas com integração lavoura-pecuária são mais eficientes no aproveitamento do P do solo, além de recuperar mais este nutriente em comparação aos sistemas com culturas anuais sem rotações, chegando a recuperar mais de 60% do P aplicado após 13 anos de cultivo. Os dados observados no Quadro 28 e Figura 21 demonstram que o P foi o nutriente recuperado e acumulado em menor quantidade e isso pode estar associado ao tempo de instalação dos sistemas com braquiária o qual possivelmente foi pequeno para haver diferenças entre os manejos e rotações em relação aos teores de P.



**Figura 21.** Acúmulo de N, P, K, Ca e Mg em plantas de cobertura (dezembro de 2007), A, B, C, D e E, respectivamente, em função do manejo do solo e sistemas de rotação de culturas. M/S/So - milho/soja/sorgo; M/S/B - milho/soja/braquiária; M/S/B+Ma - milho/soja/braquiária+mamona.



### 6.16. Massa seca radicular da soja (safra 2007/2008)

Para manejos do solo e rotações empregadas é possível verificar que não houve diferença entre nem para os manejos e nem para as rotações empregadas (Quadro 29). De maneira geral as maiores massas de matéria seca radicular ocorreram nas camadas superficiais independente do manejo e da rotação adotada. Este comportamento reflete as condições físicas do solo o qual apresentou maiores resistência do solo à penetração nos primeiros 20 cm do perfil (Figura 12 E; F). O aumento de nutrientes no solo em profundidade não foi suficiente para estimular maior massa seca radicular da soja.

**Quadro 29.** Massa seca radicular ( $\text{g dm}^{-3}$ ) da soja sob sistemas de produção (safra 2007/2008).

Variáveis	Profundidade do solo (m)				
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
<b>Massa seca radicular (<math>\text{g dm}^{-3}</math>)</b>					
<b>Manejo</b>					
SDCE	0,30	0,33	0,08	0,03	0,02
SDSE	0,37	0,31	0,08	0,05	0,02
<b>Rotação</b>					
M/S/So	0,23	0,24	0,06	0,02	0,01
M/S/B	0,37	0,37	0,10	0,06	0,02
M/S/B+Ma	0,42	0,34	0,08	0,04	0,02
<b>Valor de F</b>					
Manejo do solo (M)	0,82 ns	0,02 ns	0,22 ns	1,89 ns	0,00 ns
Sistemas de rotação (R)	2,04 ns	0,79 ns	1,69 ns	2,81 ns	1,55 ns
M x R	0,92 ns	1,11 ns	0,30 ns	2,04 ns	2,46 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo (M)	0,34	0,38	0,08	0,06	0,01
Sistemas de rotação (R)	0,42	0,46	0,10	0,07	0,02

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, não significativo ao teste t (LSD). M / S / So - milho / soja / sorgo; M / S / B - milho / soja; M / S / B + Ma.

### 6.17. Atividade radicular da soja (safra 2007/2008)

As plantas de soja independente do sistema de rotação e do manejo apresentaram uma atividade radicular uniforme no perfil do solo (Figura 22). As maiores atividades não se concentraram apenas nas camadas superficiais, mas em todo o perfil do solo.

Desta maneira, a intensa atividade das raízes observada está relacionada com maior teor de água no solo ocorrido no período de permanência da cultura no campo. A umidade uniforme no perfil proporcionou às raízes também, uma maior uniformidade da atividade radicular.

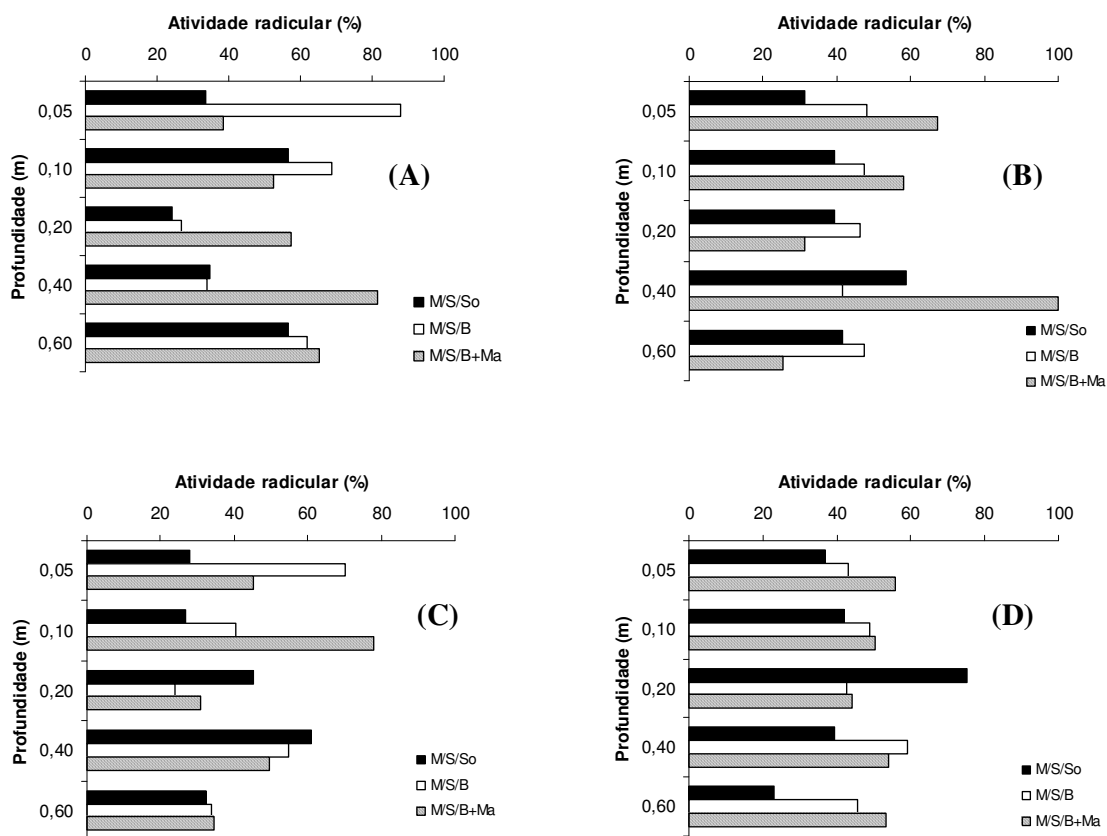
O manejo do solo SDSE apresentou as maiores atividades radiculares, bem como melhor distribuição desta atividade entre as rotações avaliadas (Figura 22 B; D). Entre as rotações a M/S/B+Ma foi a que apresentou maior atividade no perfil do solo.

Na Figura 22 D, observa-se para o manejo SDSE apenas na profundidade de 0,20 m e distância 0,22 m da planta que a maior atividade radicular ocorreu na rotação M/S/So o que pode estar relacionado ao maior teor de P nesta camada no manejo das plantas de cobertura e aos 54 DAE da soja. A soja em associação com as bactérias de suas raízes solubilizam maiores teores de P através de processos químicos (fosfatases ácidas) disponibilizando o P antes retido nas partículas do solo para a solução facilitando assim, a absorção pelas plantas.

É o que ocorre com o P na fração inorgânica (P-lábil) o qual permanece mais concentrada na camada superior, enquanto a fração orgânica concentra-se nas camadas subjacentes do perfil do solo após vários anos em plantio direto. Esta distribuição de P em profundidade é atribuída à atividade biológica e à decomposição de raízes remanescentes (FANCELLI, 2000; CALEGARI, 2006; MUZILLI, 2006). Assim quanto mais vigoroso e agressivo o sistema radicular, provavelmente mais P será reciclado.

Ainda segundo esses autores, a fração de P-orgânico é importante reserva de P-lábil para as plantas nas camadas mais profundas do perfil do solo. Por isso, maior teor de umidade nas camadas superficiais protegidas pelos resíduos vegetais facilita a difusão das formas de P-lábil inorgânico na solução do solo, melhorando a eficiência de aproveitamento do nutriente pelas culturas.

Outro ponto a salientar foi que a atividade radicular representada pela concentração de Rb foliar apresentou comportamento diferenciado ao proposto na literatura sobre arquitetura radicular (Allan Jones et al., 1991; Fitter, 1996; Lynch & Nielsen, 1996; Berntson, 1996), o que evidencia que algumas espécies possuem potencial de expandir horizontalmente em profundidade os seus sistemas radiculares.



**Figura 22.** Atividade radicular (%) estimada para plantas de soja nas profundidades e distâncias estudadas. (A) SDCE - 0,11 m da planta referência; (B) SDSE - 0,11 m da planta referência; (C) SDCE - 0,22 m da planta referência; (D) SDSE - 0,22 m da planta referência.

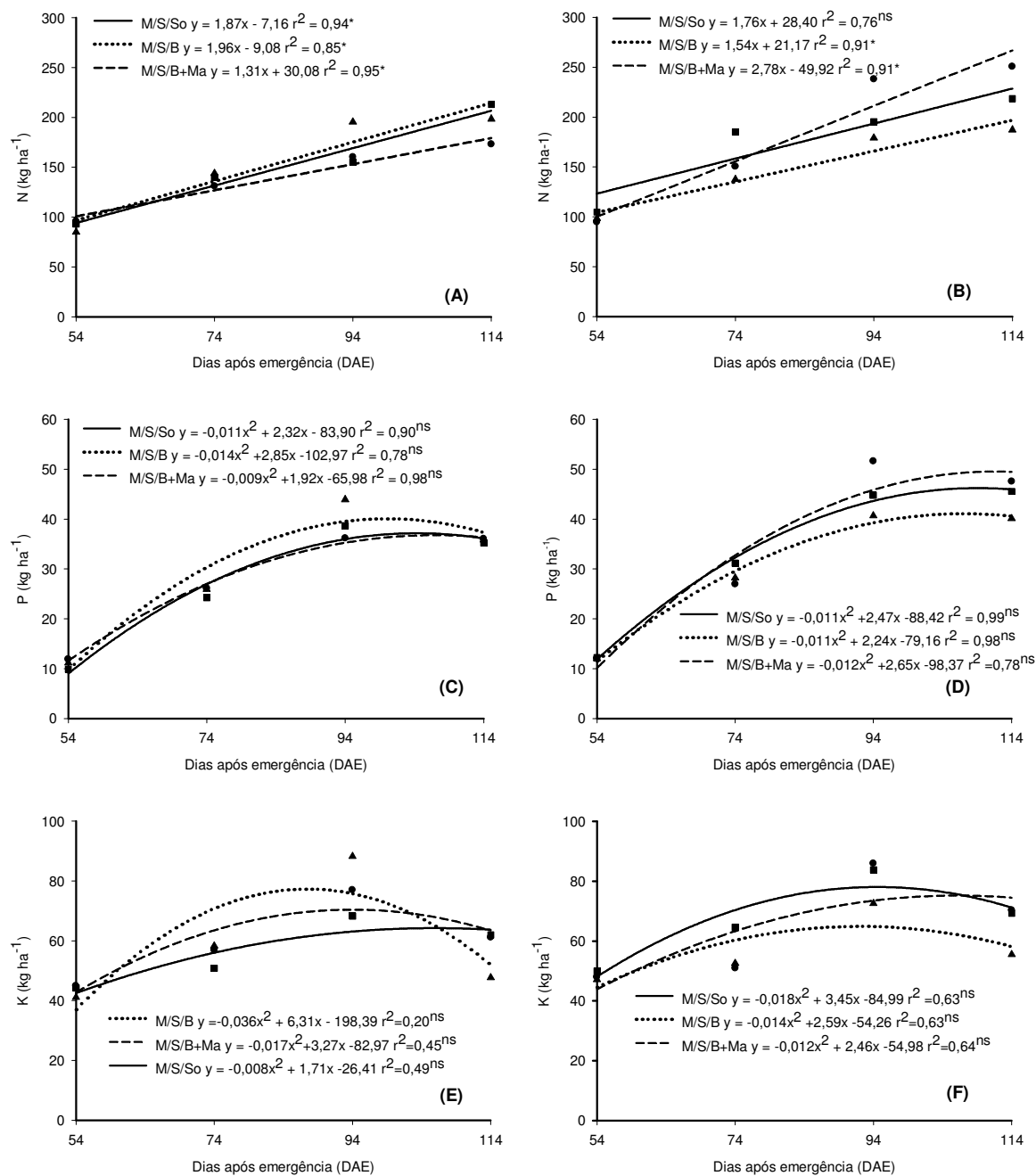
### 6.18. Acúmulo de nutrientes pela cultura da soja (safra 2007/2008)

Para a cultura da soja o acúmulo de N, P, K e Ca, Mg estão apresentados nas Figuras 23 e 24, respectivamente. Pode-se verificar que a rotação M/S/B acumulou mais N, P, K, Ca e Mg sob manejo SDCE comparada as demais rotações, correspondendo, aproximadamente, um acúmulo de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 114 DAE, 40 kg ha<sup>-1</sup> de P aos 94 DAE, 79 kg ha<sup>-1</sup> de K aos 80 DAE, 90 kg ha<sup>-1</sup> de Ca aos 80 DAE e 35 kg ha<sup>-1</sup> de Mg aos 92 DAE.

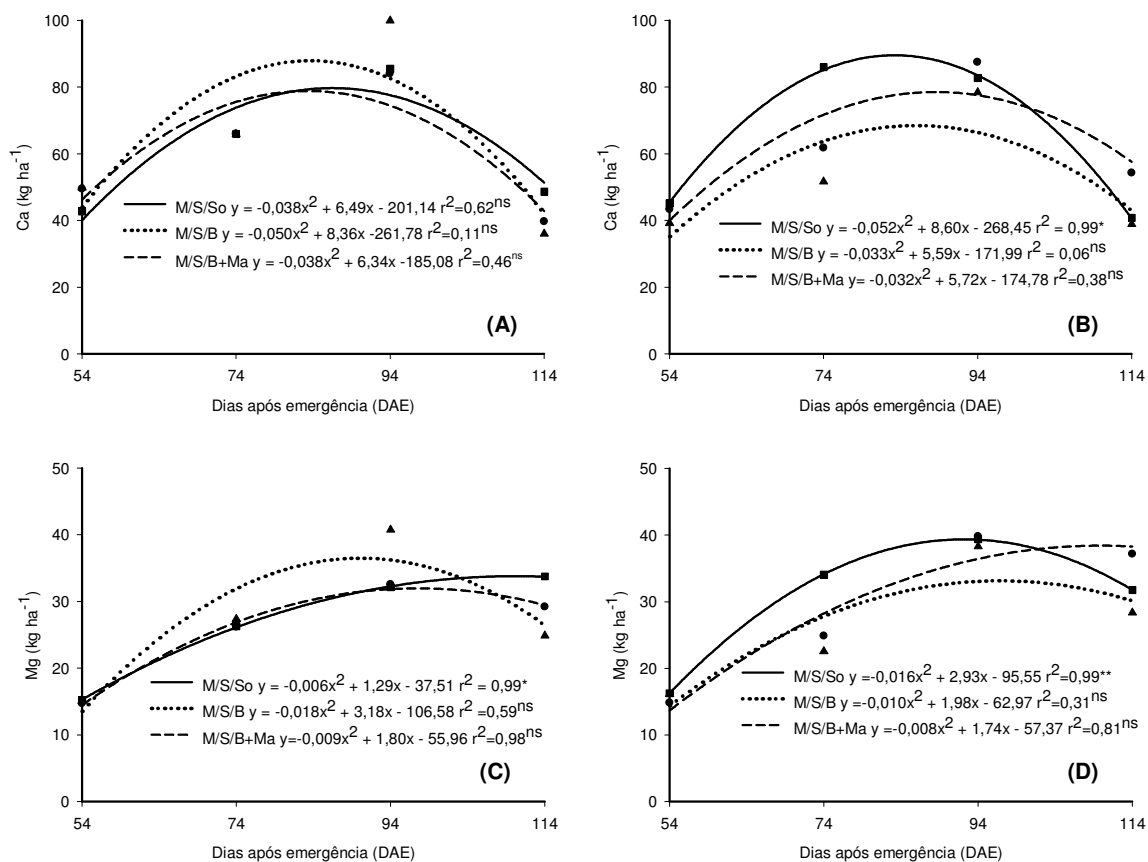
No manejo SDSE a rotação M/S/B+Ma acumulou maiores quantidades de N ( $250 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e P ( $50 \text{ kg ha}^{-1}$ ) aos 114 DAE. O maior acúmulo de K ( $79 \text{ kg ha}^{-1}$ ) aos 94 DAE, Ca ( $90 \text{ kg ha}^{-1}$ ) aos 84 DAE e Mg ( $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ) aos 94 DAE foi observado para a rotação M/S/So.

Desta forma, é possível dizer que para sistema de semeadura direta com escarificação inicial a rotação M/S/B foi eficiente em acumular nutrientes na massa de matéria seca, sendo acumuladas maiores quantidades de N, Ca, K, P e Mg, respectivamente a partir de 84 DAE. As plantas de soja acumularam na mesma ordem decrescente de nutrientes acumulados pelas plantas de cobertura que antecederam a cultura (Figura 21) o que ilustra que os sistemas de rotação de culturas diminuem as perdas de nutrientes, e estabelecem um ciclo de absorção e de retorno do nutriente ao solo (BORKERT et al., 2003).

O N foi o nutriente mais ciclado pelas rotações e de acordo com Malhi et al. (2001), em geral, a eficiência de recuperação de N aplicado é inferior a 50 % em solos tropicais; em sistema plantio direto, há mudanças na demanda de N pela cultura devido à mudança do potencial produtivo e da disponibilidade pelo solo em razão da ciclagem de N e suas perdas. Em consequência, a eficiência de recuperação de N do fertilizante é alterada, com mudanças no preparo de solo, microclima, atividade microbiana e distribuição do fertilizante em relação à resteva em superfície. A localização em faixa reduz o contato com a biomassa de solo e diminui a hidrólise da uréia, reduzindo as perdas por desnitrificação e lixiviação (CABEZAS; COUTO, 2007).



**Figura 23.** Acúmulo de N, P e K na massa de matéria seca de soja em função dos manejos do solo, onde: A, C e E sob SDCE e B, D e F sob SDSE, e sistemas de rotação; M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.



**Figura 24.** Acúmulo de Ca e Mg na massa de matéria seca de soja em função dos manejos do solo, onde: A e C sob SDCE; B e D sob SDSE, e sistemas de rotação: M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

### 6.19. Diagnóstico foliar- soja (safra 2007/2008)

A diagnose com base nos teores de macronutrientes nos tecidos vegetais é eficiente para avaliar nutricionalmente a planta, pois são correlacionados os valores determinados nas amostras aos níveis críticos internos previamente estabelecidos para a cultura. Valores inferiores aos da faixa crítica são indicativos de carência nutricional e da necessidade de correção, enquanto valores superiores o são para toxicidade (OLIVEIRA et al., 1996; MARTINEZ et al., 1999).

Para a cultura da soja avaliou-se em pleno florescimento da cultura os valores de N, P, K, Ca e Mg (Quadro 30). De acordo com os teores observados é possível dizer que apenas o N encontra-se abaixo da faixa adequada de macronutrientes recomendada por Raj et al. (1997), ou seja, para N a faixa de teor foliar indicada para cultura é de 40-50 g

kg<sup>-1</sup>. O P, Ca e Mg estão de acordo com a faixa de teor foliar recomendada para a cultura, enquanto observou-se teores elevados de K, sem sintomas visuais de toxidez nas plantas no campo.

**Quadro 30.** Teor médio foliar de N, P, K, Ca e Mg da soja aos 58 DAE, em função de sistemas de produção.

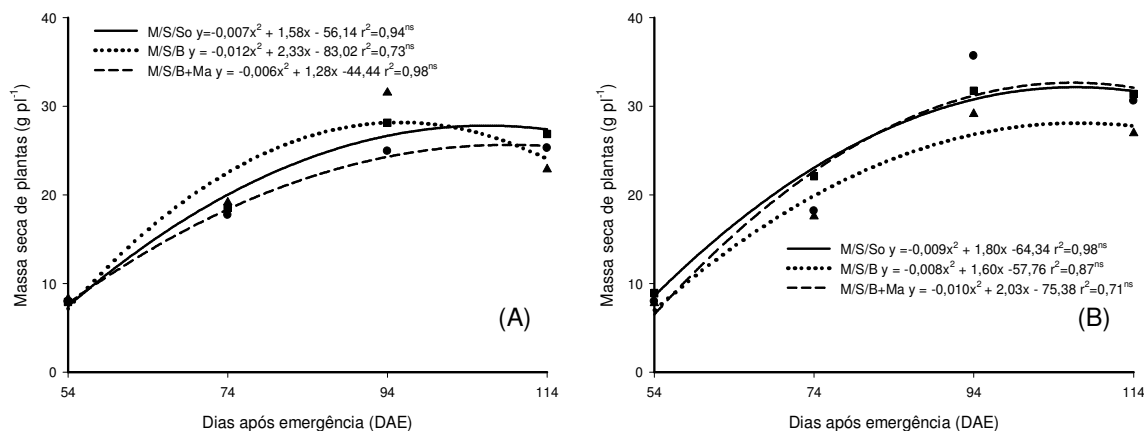
Tratamento <sup>(1)</sup>	N	P	K	Ca	Mg
	-----( $\text{g kg}^{-1}$ )-----				
<b>Manejo do solo</b>					
SDCE	35,28 b	3,59	30,52	7,11	4,38
SDSE	41,48 a	3,65	30,41	6,31	4,05
<b>Sistema de rotação</b>					
M/S/So	38,55	3,54	31,67	8,02 a	4,48
M/S/B	39,05	3,47	29,58	5,14 b	4,08
M/S/B+Ma	37,52	3,86	30,14	6,96 a	4,09
<b>Valor de F<sup>(2)</sup></b>					
Manejo do solo (M)	9,65**	0,09 ns	0,002 ns	1,57 ns	0,99 ns
Sistema de rotação (R)	0,21 ns	1,33 ns	0,20 ns	6,89**	0,64 ns
M x R	0,61 ns	2,32 ns	0,27 ns	1,89 ns	2,69 ns
<b>D.M.S.</b>					
Manejo do solo	4,19	0,44	5,88	1,35	0,69
Sistema de rotação	5,13	0,54	7,21	1,65	0,85

<sup>(1)</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD).

<sup>(2)</sup> ns, \* e \*\*. não significativo; significativo a 1% de probabilidade, respectivamente ao teste t (LSD). M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária; M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

## 6.20. Massa seca da parte aérea de plantas de soja (safra 2007/2008)

A maior produção de massa de matéria seca foi observada no manejo SDSE (Figura 25 B) o que corresponde aos maiores acúmulos de nutrientes para este manejo (Figura 23 e 24), apresentando as rotações M/S/So e M/S/B+Ma o maior acúmulo de biomassa. No manejo SDCE (Figura 25 A), a rotação M/S/B atingiu seu máximo acúmulo de massa seca aos 94 DAE, enquanto para as demais rotações este fato ocorreu aos 114 DAE, porém a quantidade de biomassa entre as 3 rotações não foram tão discrepantes.



**Figura 25.** Acúmulo de massa seca de plantas de soja em função do manejo do solo SDCE (A) e SDSE (B) e rotação de culturas. M/S/So – milho/soja/sorgo; M/S/B – milho/soja/braquiária; M/S/B + Ma – milho/soja/braquiária + mamona.

## 6.21. Produtividade das culturas

### 6.21.1. Cultura da soja (2005/2006)

No primeiro ano (2005/2006) não houve diferença de produtividade de soja entre os tratamentos avaliados, como mostra a análise de variância (Quadro 31).

Produtividades semelhantes às obtidas em área escarificada podem ser alcançadas em áreas manejadas em Semeadura Direta, com o cultivo de planta de cobertura com sistema radicular agressivo e vigoroso, capaz de melhorar a qualidade estrutural do solo. Câmara & Klein (2005) verificaram ausência de resposta na produtividade de grãos de soja com o manejo envolvendo escarificação solo, em comparação aos tratamentos mantidos em semeadura direta sem a intervenção mecânica, mesmo havendo redução da resistência à penetração com a utilização do escarificador. O que está de acordo com o observado para os manejos e rotações empregados.



**Quadro 31.** Produtividade média de grãos de soja, cultivar Embrapa 48, corrigidos a 13 % de umidade, safra 2005/2006.

Sistema de rotação	Semeadura Direta		
	-----Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )-----		
	Com Escarificação	Sem Escarificação	Média
M/S/So	3525	3295	<b>3410</b>
M/S/B	3283	3229	<b>3256</b>
M/S/B+Ma	3303	3328	<b>3315</b>
<b>Média</b>	<b>3370</b>	<b>3284</b>	---
<b>Valor de F<sup>(1)</sup></b>			
Manejo do solo (M)	0,59 ns		
Sistemas de rotação (R)	0,63 ns		
M x R	0,44 ns		
<b>D.M.S</b>			
Manejo do solo (M)	295,2		
Sistemas de rotação (R)	241,1		

<sup>(1)</sup> ns - não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t (LSD). M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária e M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

### 6.21.2. Cultura do milho (2006/2007)

Os tratamentos avaliados não apresentaram diferença para a produtividade de milho (safra 2006/2007), como mostra a análise de variância (Quadro 32). Este comportamento ocorreu em função da severa estiagem durante o pleno estágio de florescimento e, principalmente durante o enchimento de grãos da cultura do milho o que resultou em baixa produtividade.

**Quadro 32.** Produtividade média de grãos de milho, cultivar DOW 2B710, corrigidos a 13 % de umidade, safra 2006/2007.

Sistema de rotação	Semeadura Direta		
	-----Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )-----		
	Com Escarificação	Sem Escarificação	Média
M/S/So	4296	4401	<b>4349</b>
M/S/B	4449	4273	<b>4361</b>
M/S/B+Ma	4609	4596	<b>4603</b>
<b>Média</b>	<b>4451</b>	<b>4423</b>	---
<b>Valor de F</b>			
Manejo do solo (M)	0,11 ns		
Sistemas de rotação (R)	0,01 ns		
M x R	0,03 ns		
<b>D.M.S</b>			
Manejo do solo (M)	1067		
Sistemas de rotação (R)	1307		

ns - não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t (LSD). M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária e M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

### 6.21.3. Cultura da soja (2007/2008)

No último ano agrícola as rotações se diferenciaram quanto a produtividade de soja, porém tanto os manejos SDCE e SDSE não se diferiram (Quadro 33). Para ambos os manejos de solo a rotação que produziu melhor foi a M/S/B+Ma (média de 2691 kg ha<sup>-1</sup>), comparada às demais rotações. Para o manejo SDSE a rotação M/S/B+Ma apresentou maior produtividade (2653 kg ha<sup>-1</sup>), seguida da M/S/So (2438 kg ha<sup>-1</sup>) e da M/S/B (2130 kg ha<sup>-1</sup>).

Assim, esta diferença de produtividade da rotação M/S/B+Ma pode estar associada a maior atividade radicular observada (Figura 22), resultando em maior eficiência da planta em extrair nutrientes do solo, resultando maior disponibilização de nutrientes para a soja (Figura 23 B; D).

**Quadro 32.** Produtividade média de grãos de soja, cultivar EMBRAPA 48, corrigidos a 13 % de umidade, safra 2007/2008.

Sistema de rotação	Semeadura Direta		
	-----Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )-----		
	Com Escarificação	Sem Escarificação	Média
M/S/So	2274	2438	<b>2356</b>
M/S/B	2409	2130	<b>2270</b>
M/S/B+Ma	2728	2653	<b>2691</b>
<b>Valor de F <sup>(1)</sup></b>			
Manejo do solo (M)	0,25 ns		
Sistemas de rotação (R)	4,18 *		
M x R	1,04 ns		
<b>D.M.S</b>			
Manejo do solo (M)	264		
Sistemas de rotação (R)	323		

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade; ns - não significativo; \* significativo. M/S/So – milho / soja / sorgo; M/S/B – milho / soja / braquiária e M/S/B+Ma – milho / soja / braquiária + mamona.

## 7. CONCLUSÕES

De maneira geral, os sistemas de manejo do solo e as rotações de cultura promoveram aumento nos teores de nutrientes no solo. No manejo de solo SDCE o aumento de MO foi maior. E as rotações que continham braquiária melhoraram a disponibilidade de Ca.

A atividade radicular está associada aos teores de água no solo. Desta forma, em condições de solo úmido, a intensidade da atividade radicular é em função da distribuição das raízes no perfil do solo.

Em condições de déficit hídrico, a atividade radicular não é proporcional à distribuição das raízes no solo, ou seja, pouca quantidade de raiz em profundidade compensa a absorção de água e nutrientes, através de maior atividade radicular.

No manejo SDSE houve maior atividade radicular em relação ao manejo SDCE. Para as rotações empregadas, os sistemas com braquiária apresentaram maior atividade, independente do manejo do solo.

Através da atividade radicular estudada sugere-se que algumas espécies apresentam potencial de expandir o sistema radicular horizontalmente em profundidade.

O manejo de solo SDSE apresentou-se mais eficiente quanto à ciclagem de nutrientes quando comparado ao manejo SDCE, devido à maior atividade das raízes em solo menos mobilizado. Houve maior ciclagem de N e K com o uso da braquiária, e observou-se que o sorgo foi mais eficiente em ciclar P.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN JONES, C.; BLAND, W. L.; RITCHIE, J. T. & WILLIAMS, J. R. Simulation of Root Growth. In.: **Modeling Plant and Soil Systems** – Agronomy Monograph nº.31. MADISON, USA, 1991. p.91-123.

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.319-326, 1996.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.857-865, 2000.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B., GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America. 1996. p. 123-141 (SSA Special publication 49).

ASAE, Standard. ASAE S 313.2. Soil Cone Penetrometer. St. Jph, MI, p 591. 1995.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York, John Wiley, 1984. 398p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.599-607, 2000.

BENGHOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal Soil Science**, 41:341-358, 1990.

BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plants Roots: The Hidden Half**. 2. ed. New York: MARCEL DEKKER, 1996. p. 453-470.

BERNTSON, G. M. Fractal geometry, scaling and the description of plant root architecture. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plant roots: the hidden half**. 2 ed. New York: DEKKER, 1996. p.259-272.

BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F. de; REGAZZI, A.J.; FERNANDES, B.; BARROS, N.F. de. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, v.35, n.202, p.553-568, 1988.

BORKERT, C.M.; et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.143-153, 2003.

BUENO, B.S. ; VILAR, O.M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: USP, EESC, 1998, v. 1, 131p.

CABEZAS, W. A. R. L.; COUTO, P. A. Imobilização de nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.739-752, 2007.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: SISTEMA PLANTIO DIRETO COM QUALIDADE. Londrina: IAPAR, Foz de Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006.p 60-61

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, v. 35, p. 813-819, 2005.

CAMARGO, A. O.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997. 132 p.

CAMARGO, O. A. de. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 44 p.

CATTELAN, A.J.; GAUDÊNCIO, C.A.; SILVA, T.A. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.293-301, 1997.

CRUSCIOL, C.A.C.; COTTICA, R.L.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.161-168, 2005.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F. & BOHM, W. Penetration resistance and root growth of oats tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Research**. v. 3, p. 261-275, 1983.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Pesquisa do Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ENCIDE-OLIBONE, A.P.; OLIBONE, D.; ROSOLEM, C.A. Atividade radicular da soja: definição de um método. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 899-903, 2008.

EPSTEIN, E. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells. **Plant Physiology**, v. 36, p.437-444, 1961.

EPSTEIN, E.; RAINS, D.W.; ELZAM, O.E. Resolution of dual mechanisms of potassium absorption by barley roots. **Proceedings of The National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 49, p.684-692, 1963.

FANCELLI, A. L. Manejo do solo em plantio direto. In: GUIA PARA PLANTIO DIRETO. Ponta Grossa, PR. Julho de 2000, p.25-26.

FERNANDES, E. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; THIMOTEO, C. M. de S.; ROSOLEM, C. A. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. **Científica**, v.23, n.1, p.117-32, 1995.

FIORIN, J.E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1999, Passo Fundo. **Resumos de Palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. 92p.

FITTER, A. Characteristics and function of root systems. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plant roots: The Hidden Half**. 2 ed. New York: DEKKER, 1996. p.1-20.

FOLLETT, R.F. Soil Management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil Tillage Research**, v. 61, p.77-92, 2001.

FOLONI, J.S.S. **Crescimento radicular da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e de cinco adubos verdes em função da compactação do solo**. Botucatu: 1999. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

FRANZLUEBBERS, A.J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil Tillage Research**, v. 66, p.197-205, 2002.



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

GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R. **Plantio Direto**. Passo Fundo, Ed. Aldeia Sul, 1996. 207 p.

GRANT, C.A. & LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on clay soil in southern Saskatchewan. Canada: **Journal of Soil Science**. v. 73, p. 223-232, 1993.

HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C.; PITOL, C.; SALTON, J.C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa – CPAO, 1995. 93p.

INFORZATO, R. Nota sobre o sistema radicular do guandu *Cajanus cajan* L. Mill sp. e sua importância na adubação verde. *Bragantia*, v. 7, p.125-127, 1947.

INFORZATO, R. Estudo dos sistemas radicular de *Tephrosia cândida* D.C. **Bragantia**, v.7, p.49-54, 1974.

INFORZATO, R.; TELLA, R. Sistema radicular do amendoim. *Bragantia*, v.19, 1960. Nota 24.

KHAN, A.R.; CHANDRA, D.; QURAIISHIAND, S. & SINHA,S.R.K. Soil aeration under different soil surface conditions. *J. Agropec. & Crop Sci.*, 185:105-112, 2000.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba, Ed. Agronômica Ceres, 1985. p.117-129.

KILLORN, R.; ZOURARAKIS, D. Nitrogen fertilizer management effects on corn grain yield and nitrogen uptake. **Journal of Production Agriculture**, v.5, p.142-148, 1992.

LIMA, E. do V. **Alterações dos atributos químicos do solo e resposta da soja à cobertura vegetal e à calagem superficial na implantação do sistema de semeadura direta.** Botucatu: 2001. 125p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

LYNCH, J.; NIELSEN, K. L. Simulation of root system architecture. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plant roots: the hidden half.** 2 ed. New York: DEKKER, 1996. p.247-257.

MALAVOLTA, E.A. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas.** São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.A.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Potafós, 1997. 201p.

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M. & GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: **A review. Soil Till. Res.**, v.60, p.101-122, 2001.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5<sup>o</sup> Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais-CFSEMG, 1999. p.143-168.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 197-202, 1999.

MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de raízes, como método de avaliação das práticas de manejo do solo. In: CASTRO FILHO, C. & MUZILLI, O., eds. Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas. Londrina, IAPAR/SBCS, 1996. p. 219-224.

MISCHAN, M.M., PINHO, S.Z. **Experimentação agrônômica: dados não balanceados**. Botucatu: FUNDIBIO, 1996. 456p.

MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v.54, n. 2, p. 393-403, 1995.

MULLER, M.M.L.; CECCON, G.; CAMPOS, M. F. de.; MARCELO, C. S.; ROSOLEM, C. A. Crescimento de raízes e acúmulo de nutrientes em espécies de inverno em função da presença de camada de solo compactado em subsuperfície. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. Brasília, 1999. **Resumos...** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

MUZILLI, O. **Princípio e perspectivas de expansão**. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Londrina: IAPAR, 1981. p.11-17 (Circular IAPAR, 23).

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. In: SISTEMA PLANTIO DIRETO COM QUALIDADE. Londrina: IAPAR, Foz de Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p.9-24.

OLIVEIRA, I.P.; ARAUJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.169-222.

OLIVEIRA, T.K. de; CARVALHO, G.J. de; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1079-1087, 2002.

PASSIOURA, J.B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research**. v.29, p.717-728, 1991.

PINTO, L.F.G.; CRESTANA, S. Viabilidade do uso da adubação verde nos agroecossistemas da região de São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.329-336, 1998.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p.929-938, 2000.

RAIJ, B. Van, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed.rev.atual. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1997. 285p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001.

ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO; L.V.S. Sistema Radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**. v. 53, n. 2, p. 259-266, 1994a.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p. 1063-1074, 2005.

ROSOLEM, C.A.; PACE, L.; CRUSCIOL, A.C. Nitrogen management in maize cover crop rotations. **Plant and Soil**, v.264, p.261-271, 2004.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.18, n. 3, p. 491-497, 1994a.

SAMPSON, R.N., SCHOLLES, R.J. Additional human-induced activities – Article 3.4. In.: WATSON, R.T; NOBLE, I.R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J.; DOKKEN, D.J. (Eds.), **Land Use, Land-use Change, and Forestry, A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 377 p. 2000.

SANTOS, C.A. dos; LANÇAS, K.P. Projeto e construção de um penetrômetro hidráulico-eletrônico. **Revista Energia na Agricultura**, v. 14, p. 55-61, 1999.

SANTOS, G; CAMARGO, F. 1999. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-90.

SHER, G.M.; MOSCHLER, W.W. Continuous corn by the no-tillage and continuous tillage methods: a six-year comparison. **Agronomy Journal**., Matison, v.58, n.1, p.147-148, 1969.

SILBERBUSH, M.; HALLMARK, W.B.; BARBER, S.A. Simulation of effects of soil bulk density and P addition on K uptake by soybeans. **Commun. in Soil Sci. Plant Anal.**, v.14, n.4, 287-296, 1983.

SILVA, R H. da. **Crescimento radicular e nutrição da soja (Glycine max.) em função da cultura anterior e da compactação em Latossolo Vermelho Escuro**. Botucatu: 1998. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; ARAÚJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 142p. (Embrapa-CNPAP. Documentos, 45).

SPAIN, J. M. & J. G. SALINAS. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais p. 159-299. In Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 1985, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus-Ba:1985: 341 p.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; DIAS, O.S.; CAMPIDELLI, C.; BULISANI, E.A. Cultivo da soja após incorporação de adubo verde e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n.11, p.1477-1483, 1992.

TAYLOR, H.M. Root behavior as affected by soil structure and strength. In: CARSON, E.W. **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p.271-291.

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. 108 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.1023-1031, 2004.

WUTKE, E.B. et al. Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Roxo cultivado com feijoeiro irrigado em rotação de culturas, em preparo convencional do solo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Centro Nacional de Pesquisa arroz e Feijão, EMBRAPA, 1999. p. 850-853.

# Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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