

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM UM
LATOSSOLO BRUNO AFETADOS POR SISTEMAS DE MANEJO E
CALAGEM**

JOÃO FREDERICO MANGRICH DOS PASSOS

Lages (SC), Brasil

Setembro, 2004

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM UM
LATOSSOLO BRUNO AFETADOS POR SISTEMAS DE MANEJO E
CALAGEM**

JOÃO FREDERICO MANGRICH DOS PASSOS

Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo

Lages (SC), Brasil

Setembro, 2004

JOÃO FREDERICO MANGRICH DOS PASSOS

Engenheiro Agrônomo – UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM UM
LATOSSOLO BRUNO AFETADOS POR SISTEMAS DE MANEJO E
CALAGEM**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de
MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Aprovado em:
Pela banca examinadora

Homologado em:
Por:

JACKSON ADRIANO ALBUQUERQUE
Dr. Física do Solo

Dr. JAIME ANTÔNIO DE ALMEIDA
Coordenador do Programa de Mestrado em
Agronomia, Coordenador Técnico do Curso de
Mestrado em Ciência do Solo.

ÁLVARO LUIZ MAFRA
Dr. Manejo e Conservação do Solo

Dr. PAULO CESAR CASSOL
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias.

EVANDRO SPAGNOLLO
Dr. Manejo e Conservação do Solo

AGRADECIMENTOS

A Deus;

A minha mãe Elvira e irmã Lidyani, minha noiva e futura esposa Rúbia;

À minha família e da Rúbia;

Ao prof. Jackson Adriano Albuquerque, pela orientação e compreensão;

Aos professores Álvaro Luiz Mafra, Cimélio Bayer, Dalvan José Reinert e Osmar Klauberg Filho pelo auxílio.

Aos professores do curso de Mestrado em Ciência do Solo;

Aos irmãos de república Giuliano, Adalcio e Rudnei;

Aos colegas João Berton, Janaína, André, Marcelo,

À Fundação de Apoio a Pesquisa Agropecuária da Cooperativa Agrária Entre Rios, em especial aqueles que implantaram o experimento atualmente conduzido pelos pesquisadores Sandra Mara Vieira Fontoura e Celso Wobeto;

A Capes e ao CNPq, pelo apoio para a realização deste trabalho;

A UDESC pela oportunidade de realização do Curso.

ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM UM LATOSSOLO BRUNO AFETADOS POR SISTEMAS DE MANEJO E CALAGEM¹

Autor: Engenheiro Agrônomo João Frederico Mangrich dos Passos
Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque
Co-orientador: Dr. Álvaro Luiz Mafra

RESUMO GERAL

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do preparo do solo e formas de aplicação de calcário em experimento de longa duração, sobre atributos biológicos, físicos e químicos de um Latossolo Bruno Alumínico argiloso e em componentes do rendimento da cultura da soja. O experimento foi implantado em 1978, em Guarapuava, PR, com cinco tratamentos: preparo convencional (PC) sem calcário; PC com calcário; plantio direto (PD) sem calcário; PD com calcário superficial e PD com calcário incorporado. O solo e a planta foram analisados na safra 2001-2002. Do ponto de vista físico-estrutural do solo, o sistema plantio direto em comparação ao preparo convencional, aumentou o volume de microporos (0 a 0,10 m) e a estabilidade de agregados (0 a 0,05 m), sendo esta relacionada ao incremento no comprimento do micélio micorrízico. Essas alterações, associadas aos maiores teores de carbono orgânico, foram relacionadas a maior umidade e teor água disponível no PD sem revolvimento. O solo em PD apresentou maiores teores de Ca, Mg e K trocáveis na camada de 0 a 0,05 m e maiores teores de P disponível na camada de 0 a 0,10 m, em comparação ao solo em PC. As alterações nos atributos edáficos em PD estiveram relacionadas com o acúmulo de nutrientes no tecido. A soja cultivada nos sistemas sem calagem evidenciou maiores teores de Mg, P e N no PD comparado ao PC. Nos sistemas com calcário, somente os teores de P no tecido foram maiores no PD comparado ao PC. A calagem, independentemente do método de preparo, elevou o pH, a altura de plantas, o peso de 1000 sementes e o rendimento de grãos. A altura de plantas, número de grãos por legume, grãos por metro quadrado foram influenciados pelo preparo do solo, resultando em aumento médio de 16% na produtividade sob PD comparado ao PC, possivelmente, reflexo das melhorias no solo conferido pelos sistemas conservacionistas.

Termos de Indexação: plantio direto, preparo convencional, agregação, água disponível, *Glicine max*, nutrientes.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC, (66p.) – Setembro de 2004.

SOIL ATTRIBUTES AND SOYBEAN YIELD IN A BROWN OXISOL AS AFFECTED BY SOIL MANAGEMENT AND LIMING SYSTEMS¹

Author: João Frederico Mangrich dos Passos

Adviser: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-adviser: Dr. Álvaro Luiz Mafra

GENERAL SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the long-term effects of soil tillage systems and forms of liming application in biological, physical and chemical attributes of a clayey Brown Oxisol, and in components of plant yield. The experiment has been carried out since 1978, in Guarapuava, PR, southern Brazil, with five treatments: conventional tillage (CT) without liming; CT with liming; no-tillage (NT) without liming; NT with superficial liming and NT with incorporated liming. Soil and plant analysis were performed during the 2001-2002 soybean growing season. As a result, NT in comparison with CT, increased microporosity in 0 to 0,10 m soil depth, and had higher aggregate stability in 0 to 0,05 m soil depth, related to a higher mycorrhiza mycelial length. These structural modifications were associated with higher organic carbon contents, soil volumetric moisture and storage of available water under NT without soil tillage. The soil under NT had higher Ca, Mg and exchangeable K contents in the 0 to 0,05 m layer, and higher amounts of available P in the 0 to 0,10 m layer, in comparison with CT soil. Changes in soil attributes in NT were related with accumulation of nutrients in soybean leaf tissues. Mineral composition of plants cultivated in this acidic soil without liming showed higher Mg, P and N contents in NT in comparison with CT. In the limed soils, only P values in plant analysis were higher in NT than in CT. Liming, independent of the soil tillage system increased soil pH, plant height, weight of 1000 grains and soybean yields. On the other hand, plant height, number of grains per pod, and grains for square meter were influenced by soil tillage systems, resulting in an average increase of 16% in soybean yields in NT as compared to CT, possibly due to better soil conditions in the conservationist systems.

Index terms: no-tillage, conventional tillage, soil aggregation, available water, *Glicine max*, nutrients.

¹ M.Sc. Dissertation in Soils, Soil Science Department – Santa Catarina State University, . Lages, SC, (66p.) – September, 2004.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO _____	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA _____	3
3	OBJETIVO GERAL _____	14
4	HIPÓTESE _____	15
5	MATERIAL E MÉTODOS _____	16
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO _____	22
6.1	Atributos físico-estruturais e hídricos do solo _____	22
6.2	Atributos químicos do solo _____	30
6.3	Estado nutricional, componentes do rendimento e produtividade da soja _____	33
7	CONCLUSÕES _____	43
8	LITERATURA CITADA _____	45

RELAÇÃO DE FIGURAS

- Figura 1. Níveis mínimo e máximo e teores de fósforo e potássio no tecido da soja cultivada em plantio direto e preparo convencional em Latossolo Bruno Alumínico em Guarapuava – PR. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário. _____ 35
- Figura 2. Níveis mínimo e máximo e teores de cálcio e magnésio no tecido da soja cultivada em plantio direto e preparo convencional em Latossolo Bruno Alumínico em Guarapuava – PR. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário. _____ 36
- Figura 3. Níveis mínimo e máximo e teores de nitrogênio no tecido da soja cultivada em plantio direto e preparo convencional em Latossolo Bruno Alumínico em Guarapuava – PR. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário. _____ 37
- Figura 4. Produtividade da soja em Latossolo Bruno Alumínico de Guarapuava – PR, em função do manejo do solo. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário. _____ 41

RELAÇÃO DE QUADROS

Quadro 1. Culturas e doses de calcário utilizadas no experimento de 1978 a 2001. Guarapuava – PR _____	19
Quadro 2. Atributos físico-estruturais do Latossolo Bruno Alumínico cultivado com preparo convencional e plantio direto em Guarapuava - PR ____	24
Quadro 3. Umidade volumétrica em sete épocas nos sistemas de preparo convencional e plantio direto em três profundidades _____	28
Quadro 4. Água disponível em sete épocas nos sistemas de preparo convencional e plantio direto em três profundidades _____	29
Quadro 5. Atributos químicos de um Latossolo Bruno Alumínico cultivado com preparo convencional e plantio direto em Guarapuava - PR ____	32
Quadro 6. Contrastes ortogonais realizados entre os sistemas de preparo do solo e métodos de correção da acidez para cálcio, magnésio, potássio, fósforo e nitrogênio no tecido das folhas da soja. _____	34
Quadro 7. Componentes do rendimento de grãos da cultura da soja num Latossolo Bruno Alumínico em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). Guarapuava - PR _____	40

RELAÇÃO DE ANEXOS

Anexo 1. Localização da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda. Guarapuava, Paraná. Costa (2001)._____	55
Anexo 2. Precipitação: médias mensais de 1976 a 1998 obtidas na estação meteorológica da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – Entre Rios - Guarapuava, Paraná.– latitude 25° 33’ S, longitude 51° 29’ W, altitude 1095m. Costa (2001)._____	56
Anexo 3. Croqui de localização dos sistemas de manejo do solo. Guarapuava - PR. _____	57
Anexo 4. Composição granulométrica e classe textural em sistemas de uso e manejo do solo e em profundidade. LB. Guarapuava – PR (Costa, 2001)._____	58
Anexo 5. Caracterização química do Latossolo Bruno nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m sob mata nativa e cultivo, Guarapuava, PR. _____	59
Anexo 6. Teor de argila dispersa (AD), grau de floculação GF, (%), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), comprimento de micélio fúngico (Micel), porosidade total (PT), macroporosidade, microporosidade e densidade do solo (Ds) nos sistemas de manejo do solo e em profundidade. LB. Guarapuava – PR. _____	60
Anexo 7. Umidade volumétrica nos meses de janeiro e fevereiro de 2002, em três profundidades, nos sistemas de manejo do solo no Latossolo Bruno. Guarapuava – PR. _____	61
Anexo 8. Água disponível, obtida pela diferença entre a umidade volumétrica atual e o ponto de murcha permanente, nos meses de janeiro e fevereiro de 2002, em três profundidades, nos sistemas de manejo do solo no Latossolo Bruno. Guarapuava – PR. _____	62
Anexo 9. Teor de carbono orgânico, cálcio, magnésio, potássio, alumínio, fósforo e pH em água nos sistemas de manejo do solo e em profundidade. LB. Guarapuava – PR. _____	63

- Anexo 10. Teor de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e nitrogênio (g kg^{-1}) no trifólio da soja nos sistemas de manejo do solo e em profundidade. LB. Guarapuava – PR. _____ 64
- Anexo 11. Stand e altura de plantas, número de legumes por planta (Leg pl^{-1}), número de grãos por área (Grãos m^{-2}), peso de mil sementes (PMS) e produtividade da soja (Prod) nos sistemas de manejo do solo na safra 2001/2002 no Latossolo Bruno. Guarapuava – PR. _____ 65
- Anexo 12. Variação temporal da umidade volumétrica nos meses de janeiro e fevereiro de 2002, em três profundidades, nos sistemas de manejo do solo no Latossolo Bruno. Guarapuava – PR. _____ 66

1 INTRODUÇÃO

O rendimento das culturas agrícolas é dependente de fatores edafoclimáticos e dos sistemas de manejo adotados, em especial dos sistemas de preparo do solo e métodos de adubação. A produção agrícola no Brasil data de muito tempo, sendo comum encontrarmos registros de 50 anos ou mais de exploração de algumas áreas. Na década de 60 e 70 houve um grande aumento na atividade agrícola com a adoção de práticas agrícolas ainda pouco estudadas para nossas condições de solo e clima, denominado de preparo convencional. A utilização do solo por longo período, com práticas agrícolas impróprias, alterou as características físicas, químicas e biológicas do solo: reduziu a estabilidade de agregados, promoveu as perdas por erosão, a compactação, diminuiu o teor de matéria orgânica (MO), a atividade microbiana, acidificou o solo e como consequência, degradou o meio ambiente e reduziu a produtividade do solo. Nesta mesma década, pesquisadores e agricultores iniciaram a busca por outros sistemas de manejo do solo, com o objetivo de aumentar a produtividade da lavoura e manter as características estruturais e funcionais do solo. Com isso o sistema de plantio direto, foi introduzido. Neste sistema a mobilização do solo é realizada, com maior ou menor grau, apenas na linha

de semeadura (Curi et al, 1993) e são mantidos os resíduos vegetais na superfície do solo.

Apesar do conhecimento de novos sistemas de preparo do solo, até a década de 80 predominou no Brasil, o sistema de preparo convencional com degradação severa do ambiente agrícola. A partir desta constatação e da estagnação no rendimento de grãos, intensificaram-se estudos de sistemas de uso e conservação do solo que preservariam a qualidade do solo, sendo o sistema de plantio direto o que se adequou melhor, principalmente no sul do Brasil e, mais recentemente, na região do Cerrado.

Segundo Eltz et al (1989), a expansão do sistema de plantio direto no Estado do Paraná, possibilitou que novas áreas pudessem contar com esta técnica no controle da erosão hídrica. Na região de Guarapuava, situada no 3º Planalto Paranaense, o solo e o clima são propícios para o desenvolvimento deste sistema de manejo. Porém no Brasil são raros os experimentos de longa duração que permitam avaliar os efeitos de diferentes tipos de preparo do solo sobre suas propriedades físicas e químicas. Portanto, estudos sobre propriedades químicas e físicas do solo em experimentos de manejo do solo conduzidos por longo período de tempo tornam-se necessários para avaliar a relação entre o solo e as plantas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a idéia de preservar a sustentabilidade e manter as características estruturais e funcionais do solo, estudos comparando os sistemas de cultivo convencional e direto vem sendo realizados por vários autores (Machado & Brum, 1978; Machado et al., 1981; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Anjos et al., 1994). Em geral, o plantio direto melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Eltz et al., 1989; Muzilli, 1983; Pöttker & Bem, 1998; Tormena et al., 1998).

As principais alterações edáficas, devido à introdução do plantio direto, são a manutenção dos resíduos culturais na superfície, o acúmulo de carbono orgânico e nutrientes na camada superficial do solo (Muzilli, 1983; Bayer & Mielniczuk, 1997), a redução das perdas de solo e de água por escoamento superficial (Debarba & Amado, 1997), a maior atividade biológica (Campos et al., 1995), estabilidade dos agregados (Carpenedo & Mielniczuk, 1990) e infiltração de água no solo, além da menor perda de água por evaporação, os quais somados à menor temperatura e amplitude térmica (Salton & Mielniczuk, 1995) aumentam a umidade do solo na camada superficial (Campos et al., 1994).

O espaço poroso no solo, possui grande importância na movimentação do ar e da água e no crescimento das raízes e é bastante alterado com o preparo do solo

(Eltz et al, 1989). A movimentação do solo e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas contribuem para promover modificações no tamanho dos agregados do solo (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), resultando em aumento da densidade, redução da porosidade total e aumento na proporção de poros pequenos em relação aos grandes, uma vez que os poros grandes são altamente afetados pelo manejo do solo (Silva & Mielniczuk, 1998). Com a redução da estabilidade dos agregados, observa-se redução dos macroporos e aumento do volume de microporos, diminuindo assim a condutividade hidráulica saturada (Albuquerque et al., 2001; Scopel et al., 1978; Silva et al., 1986). Sistemas de manejo como o plantio direto e o preparo reduzido, por não revolverem o solo ou revolvê-lo parcialmente, podem provocar no perfil estruturas diferentes daquelas resultantes dos preparos convencionais, as quais podem afetar o sistema radicular das plantas e sua produtividade (Mello Ivo, 1999), principalmente quando a compactação torna-se restritiva as raízes.

Geralmente, a compactação ocasionada pelo uso do solo ocorre na camada de 0,10 a 0,20 m no preparo convencional e próximo da superfície no plantio direto, apesar da magnitude da compactação ser variável com o solo, clima e principalmente com as variações apresentadas entre e dentro de cada sistema de manejo (Albuquerque et al., 1995; Machado & Brum, 1978; Machado et al., 1981; Abrão et al., 1979; Centurion et al., 1985; Eltz et al., 1989). A compactação superficial é mais evidente em áreas sem controle de tráfego de máquinas e equipamentos e no sistema de integração lavoura-pecuária (Albuquerque et al., 2001).

Outra modificação significativa do cultivo é na agregação do solo. Para compreender a gênese dos agregados e o efeito do manejo sobre a agregação os

agregados foram subdivididos em micro e macroagregados, respectivamente os menores e maiores que 0,25 mm. A gênese dos agregados envolve a formação e a estabilização dos agregados do solo, que são dependentes de processos físicos, químicos e biológicos. Nestes processos atuam mecanismos específicos e substâncias minerais e orgânicas. Entre as substâncias, as principais são a argila, sílica coloidal, materiais orgânicos transientes (polissacarídeos), temporários (raízes e hifas de fungos) e persistentes (componentes aromáticos resistentes) (Tisdall & Oades, 1982), metais polivalentes (Edwards & Bremner, 1967), carbonato de cálcio (Munner & Oades, 1989), óxidos e hidróxidos de ferro (Six et al., 2000) e de alumínio (Ferreira et al., 1999), exsudatos orgânicos hidrofóbicos (Piccolo & Mbagwu, 1999) e substâncias orgânicas provenientes da ação dos microrganismos (Degens, 1997). Além das substâncias agregantes, existem os agentes de agregação, representados pelo clima, raízes (Silva & Mielniczuk, 1997), microrganismos e pelo próprio tracionamento do solo (Dexter, 1988).

O micélio fúngico tem uma relação com a estabilidade de agregados, pois agrupam partículas individuais auxiliando com outros processos na formação e estabilização das unidades estruturais do solo (Lewandowski & Zumwinkle, 1999), assim a determinação do comprimento do micélio fúngico poderá ser utilizada para avaliar a qualidade do solo e/ou a estabilidade de agregados. Segundo Bearden & Petersen (2000) o efeito dos fungos micorrízicos arbusculares sobre a agregação está associado ao efeito direto das hifas e ao estímulo fúngico ao crescimento radicular. (Piotrowski et al., 2004) estudaram cinco espécies de fungos em combinação com nove espécies de plantas e concluíram que o efeito destes na estabilidade de agregados é dependente tanto das espécies de fungos quanto de plantas.

Os microagregados são unidos entre si, principalmente por argila, sílica coloidal, materiais orgânicos persistentes, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, para formar os macroagregados. Neste complexo atuam também, compostos orgânicos transientes e temporários, hifas de fungos, mucilagem e pequenas raízes, que são muito dependentes das práticas de manejo (Tisdall & Oades, 1982).

O cultivo do solo afeta principalmente os macroagregados, portanto a adoção de sistemas de culturas e manejos que mantenham a proteção do solo e o contínuo aporte de resíduos orgânicos é fundamental para a manutenção da sua boa estrutura (Carpenedo & Mielniczuk, 1990). O sistema de manejo em plantio direto proporciona estabilidade de agregados do que o preparo convencional (Eltz et al, 1989; Carpenedo & Mielniczuk, 1990), possivelmente devido à não destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo do solo e proteção que a palha oferece sobre a superfície contra a desagregação pelo impacto da chuva e variações de umidade. Com isso, também se observa menor erosão hídrica neste sistema do que no preparo convencional (Hernani, 1999).

Segundo Melloni (1996), a presença de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), atuam na formação e na estabilidade dos agregados do solo sendo que ocorre em maior quantidade em solos mantidos em condições mais próximas da natural, como a mata e o campo nativos. Carpenedo & Mielniczuk (1990), afirmaram que Latossolos em seu estado natural apresentam-se com boa estabilidade estrutural devido à matéria orgânica e a elevados teores de argila, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, atuando como agentes de estabilização dos agregados. Os teores de carbono orgânico, de ferro e alumínio-oxalato, argila, grau de dispersão associado ao

uso de gramíneas perenes, por meio do seu sistema radicular, tiveram grande efeito na agregação e estabilidade dos agregados (Silva & Mielniczuk, 1998).

Albuquerque et al. (2000) avaliaram o efeito da calagem na dispersão da argila e estabilidade de agregados em um Latossolo Bruno de carga variável. Observaram que a calagem aumentou o ponto de efeito salino nulo, o potencial elétrico negativo superficial e a argila dispersa em água, diminuiu os teores de matéria orgânica e não afetou o diâmetro médio ponderado dos agregados.

As alterações na estabilidade de agregados e da distribuição do tamanho dos poros afetam decisivamente a relação do solo-água-planta. O cultivo intensivo, durante vários anos, pode degradar os solos, alterando a retenção de água, reduzindo a produtividade e aumentando os custos de produção. Assim, os atributos que influem na retenção de água no solo têm sido estudados por ser a água um dos fatores limitantes à produtividade das culturas. O estresse hídrico causado pela falta temporária das chuvas, durante o ciclo de desenvolvimento das plantas, é minimizado aumentando a profundidade de enraizamento, de tal maneira que a água armazenada no subsolo possa ser utilizada. Há, entretanto, fatores de ordem física e química que reduzem o crescimento de raízes no subsolo (Ritchey, 1983).

A retenção de água é específica a cada solo e dependente de vários atributos do solo, como o teor e mineralogia da fração argila, teor de matéria orgânica, das diferenças da microestrutura com elas relacionadas e da compactação do solo (Hillel, 1998). Reichardt (1987) afirma que a textura é o principal determinante da retenção de água, por atuar diretamente na área de contato entre as partículas sólidas e a água.

Em solos com altos conteúdos de água, onde os fenômenos capilares são de importância na retenção de água, esta é dependente da densidade do solo e da porosidade, enquanto, para menores conteúdos de água, onde o fenômeno de absorção domina, depende mais da textura e da superfície específica do solo. Segundo Beutler et al. (2002) a retenção de água foi positivamente relacionada com a densidade do solo. A retenção de água também se mostrou positivamente influenciada pelo teor de argila em solos cultivados e que, em solo sob mata, a retenção de água, em diferentes profundidades, mostrou-se dependente do teor de matéria orgânica.

Beutler et al. (2002) discute que a maior retenção de água é verificada em solos de textura mais fina em sistemas com maior teor de matéria orgânica como os de floresta. Observaram que pequenas variações no teor de matéria orgânica mostraram pouca influência na retenção de água, enquanto mudanças na densidade do solo alteram significativamente a retenção de água no solo.

Segundo Carpenedo & Mielniczuk (1990) e Salton & Mielniczuk (1995), o aumento dos resíduos vegetais, somado com os fatores biológicos melhora a estrutura do solo e eleva as taxas de infiltração e a disponibilidade de água às culturas. No plantio direto têm sido reportada maior retenção de água no solo e menor temperatura e amplitude térmica na camada superficial (Centurion et al., 1985, Salton & Mielniczuk, 1985; Argenton, 2000; Costa, 2001). Essas diferenças devem ser avaliadas em experimentos de longa duração e monitoradas durante o ciclo de crescimento das culturas. Com essa avaliação temporal e a curva característica de umidade é possível calcular o armazenamento de água no solo e a quantidade de água disponível para as culturas.

Baseado no estudo de Costa (2001), pode-se inferir que as variações na produtividade das culturas em diferentes sistemas de manejo do solo podem ser devido à disponibilidade de água bem como sua relação com a disponibilidade e mecanismos de absorção de nutrientes às plantas.

Existem três mecanismos para explicar o movimento dos íons através do solo em direção às raízes: difusão, fluxo de massa e interceptação radicular.

A difusão compreende o transporte devido a gradientes de potencial químico, medido pela atividade de íons na solução do solo. Em consequência, o íon se movimenta ao longo desse gradiente. O movimento por fluxo de massa verifica-se em atendimento à diferença de potencial hídrico originado na superfície da raiz em relação ao restante do solo, ocasionado pela absorção de água pela planta bem como por outros processos de umedecimento e secamento. Na interceptação, os nutrientes são contactados pelas raízes durante o seu crescimento através do espaço poroso do solo (Reichardt & Timm, 2004).

Barber & Olsen (1968), apresentaram uma comparação da contribuição relativa de cada processo na absorção de nutrientes pelas raízes de milho. O fluxo de massa foi o principal mecanismo para absorção de N e Ca; difusão foi mais importante para P e K; interceptação radicular foi menos importante para os quatro elementos acima.

Em doze amostras de nove unidades de solos representativos do Estado do Rio Grande do Sul com diferentes características físicas e químicas, a difusão foi o principal mecanismo de suprimento de P e K às raízes de milho, o fluxo de massa foi mais importante para suprimento do Ca e do Mg e a interceptação radicular apresentou contribuição significativa para o Ca. Nos solos com menores teores de

Mg, a contribuição da difusão no seu transporte à superfície das raízes foi significativa (Vargas, 1983). Salientaram que a importância relativa de cada mecanismo no suprimento dos nutrientes depende da capacidade de cada solo em supri-los e da demanda da planta, o que varia com a espécie, com as condições ambientes e com o nutriente considerado.

Além das particularidades destes mecanismos, difíceis de serem estudadas isoladamente, outros aspectos são característicos do manejo do solo e das culturas. Segundo Andreola et al. (2000) e Eltz et al. (1989), a menor mobilização do solo e a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo sob plantio direto, melhoram a disponibilidade de nutrientes para a cultura subsequente. Porém, a ausência de revolvimento do solo na semeadura direta também implica a não incorporação do calcário aplicado na superfície do solo. Assim, o pH e os teores de P, Ca e Mg somente seriam aumentados nas camadas superficiais do solo. Isto devido ao calcário possuir baixa solubilidade, aumento das cargas negativas dependentes do pH e ausência de um ânion estável na reação do calcário (Franchini et al., 2000).

Adicionalmente à redução na mobilização do solo, sistemas agrícolas devem proporcionar a reciclagem de resíduos vegetais através da rotação de culturas e da adubação verde, principalmente quando se objetiva a sustentabilidade do sistema produtivo (Vasconcellos, 1999; Gonçalves et al., 1999 e 2000). Em solos ácidos de regiões tropicais e subtropicais, a existência de alumínio trocável (Al^{3+}) constitui um dos maiores entraves para o desenvolvimento e produção da maioria das espécies vegetais. Os efeitos adversos ocasionados pelo alumínio na morfofisiologia das plantas dependem da sua atividade na solução do solo. Portanto, qualquer reação

que tirá-lo da forma iônica em que ali se encontra reduzirá seu efeito tóxico, mesmo que o pH do solo não seja alterado (Mazur et al., 1983). Esse autor, encontrou que a adição de composto orgânico em um Latossolo Amarelo, reduziu o alumínio trocável de 0,55 para 0,12 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Apesar de diminuir a quantidade e a toxicidade do alumínio trocável aos vegetais, os resíduos orgânicos não podem ser considerados substitutos satisfatórios do calcário, em virtude de seus efeitos serem temporários, a não ser que sejam incorporados anualmente ao solo em grandes quantidades (Ernani et al., 1983).

O manejo altera também, a taxa de decomposição dos resíduos vegetais, modifica as taxas de mineralização e imobilização de nutrientes, principalmente o nitrogênio (Vasconcellos et al., 1999). Esta menor taxa de decomposição dos resíduos pode acarretar, nos primeiros anos de cultivo sob semeadura direta, deficiência de N em culturas exigentes como o milho. A longo prazo, o aumento do teor de matéria orgânica do solo conduz ao aumento do reservatório de N potencialmente mineralizável, compensando a menor taxa de decomposição. Este processo pode ser acelerado em sistemas de rotação de culturas envolvendo leguminosas (Franchini et al., 2000). Segundo Vasconcellos et al. (1999), a cinética da decomposição de um resíduo vegetal, depende da sua composição bioquímica, tais como: compostos orgânicos solúveis, conteúdos de celulose e lignina, etc. Nesse caso, tanto a distribuição como o tipo de resíduo é fatores importantes para explicar a variação do N no solo.

Outros aspectos que devem ser considerados entre os sistemas de manejo do solo são os níveis críticos de determinados nutrientes e de elementos tóxicos, que variam também com as espécies, condições edafoclimáticas como temperatura,

luminosidade, disponibilidade hídrica, tipo de solo, disponibilidade de outros nutrientes, manejo da adubação (Freire et al., 1979; Santos et al., 2002).

A variação dos níveis críticos de P em função da textura do solo é citada na literatura. Em ensaios conduzidos em solos de Passo Fundo, Erechim e Santo Ângelo, verificaram que nos solos argilosos, a percentagem de recuperação do fósforo disponível, oito meses após a aplicação, foi de 8 a 12 % ao passo que no franco-argiloso foi de aproximadamente 28%. Os níveis críticos de P foram de 8-10 ppm para os solos argilosos e de 20-25 ppm para os franco-argilosos (Freire et al., 1979).

Em estudo comparativo dos componentes químicos da fase sólida e da solução do solo entre plantio direto e preparo convencional de um Latossolo Bruno Alumínico, em um experimento com 20 anos de duração, observou-se na camada de 0,02 a 0,10 m de profundidade, que o pH foi menor e o teor de alumínio trocável e saturação por alumínio foi maior no plantio direto do que no preparo convencional (Ciotta, 2001). Observou também, que na profundidade de 0 a 0,06 m, o carbono orgânico total (COT) e de 0 a 0,08 m o carbono solúvel (COS) foi superior no plantio direto do que no sistema de preparo convencional. O carbono orgânico apresentou relação positiva com a CTC efetiva e CTC a pH 7,0 do solo. A concentração de nutrientes, Ca, Mg, K e P, no perfil do solo foi maior na superfície no sistema plantio direto, e seus teores na fase trocável apresentaram relação direta com os da solução. Essa observação já havia sido reportada por Muzilli (1983) e Eltz et al. (1989).

Ciotta (2001), discute em seu trabalho a existência de uma “frente de acidificação” superficial maior em solos de plantio direto do que em solos com preparo convencional, devido à aplicação de adubos nitrogenados amoniacais. Porém

o acúmulo de material vegetal em decomposição no sistema de plantio direto pode amenizar o efeito tóxico do Al pelo mecanismo de reações de complexação, adsorção de H^+ e Al^{+3} na superfície dos compostos orgânicos e troca de ligantes entre OH terminais dos óxidos de Fe e Al e ânions orgânicos. O que se pode observar do trabalho de Ciotta (2001), é que com o efeito do poder tampão do solo, o conteúdo de matéria orgânica, o tempo de cultivo sob plantio direto, a dose de calcário utilizada e as condições climáticas regionais afetam a intensidade desta frente de acidificação interferindo assim na produtividade das culturas implantadas nestes solos.

A queda de rendimento das culturas, causada principalmente pela degradação do solo, está associada, na maioria dos casos, à não reposição dos nutrientes por elas extraídos. Isso se deve, em parte, ao alto custo dos fertilizantes minerais industrializados e à má utilização dos resíduos orgânicos gerados nas propriedades. Como tentativa de reverter o processo de degradação física, química e biológica dos solos, práticas de manejo de solos e de culturas, tais como: cultivo mínimo, plantio direto, adubação verde, adubação orgânica, consorciação, rotação de culturas, dentre outras, têm sido recomendadas (Andreola et al., 2000). Neste sentido torna-se importante avaliar resultados de experimentos de manejo do solo e das culturas conduzidos por longos períodos e com diferentes culturas.

3 OBJETIVO GERAL

O presente estudo objetivou avaliar o efeito de longo prazo do sistema plantio direto sem calcário, com calcário superficial e com calcário incorporado e do preparo convencional sem calcário e com calcário incorporado em atributos biológicos, físicos e químicos de um Latossolo Bruno argiloso e em parâmetros de crescimento e de rendimento de grãos da soja.

4 HIPÓTESE

O sistema de semeadura direta, utilizado por longo período e segundo as técnicas preconizadas, degrada menos o solo utilizado, acumula carbono orgânico e nutrientes na camada superficial além de favorecer o balanço hídrico às culturas. Estas melhorias favorecem os mecanismos de absorção de água e nutrientes e elevam o rendimento da cultura em relação ao preparo convencional.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi baseado em experimento implantado em 1978 na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária em Guarapuava, PR, a 1.100 m de altitude. O solo é um Latossolo Bruno Alumínico câmbico, horizonte A proeminente, relevo suave ondulado e substrato basalto (Embrapa, 1999) com textura argilosa a muito argilosa e mineralogia com predomínio de gibbsita e caulinita e em menor quantidade, minerais 2:1 com hidróxido entre-camadas, hematita e goethita (Costa et al., 2003). O clima, Cfb na classificação de Köppen, é subtropical úmido, sem estação seca durante o ano em com geadas freqüentes e severas. A precipitação média anual é de 2.022 mm bem distribuídas ao longo do ano, variando de 105 mm em agosto a 215 mm em outubro.

Anterior ao experimento, a área era coberta por mata nativa, derrubada na década de 1920 para formação de pastagem composta por espécies nativas, principalmente gramíneas. Em 1950, o solo foi arado pela primeira vez para o cultivo de trigo e arroz até 1962, quando foi introduzida pastagem melhorada com trevo branco (*Trifolium repens*) e gramíneas de inverno para gado leiteiro. De 1968 a 1977, foram cultivados trigo/soja (*Triticum aestivum* *Glicine max*) em preparo

convencional. Em 1978, na instalação do experimento, o solo (0 a 0,20 m) apresentava pH-água = 5,5; teores trocáveis de Al = 0,15 cmol_c kg⁻¹; Ca + Mg = 5,7 cmol_c kg⁻¹; K = 0,25 cmol_c kg⁻¹; saturação por alumínio de 2,5%; carbono orgânico = 28 g kg⁻¹ e P disponível (Mehlich-1) = 5,9 mg kg⁻¹. No inverno de 1978, corrigiu-se o solo pela incorporação de 1,5 Mg ha⁻¹ de calcário e 0,3 Mg ha⁻¹ de escória de Thomas e no verão de 1978/79 foi semeada soja (Jaster et al., 1993).

O experimento consistiu, originalmente, em cinco combinações dos sistemas de preparo convencional (PC), escarificação (ESC) e plantio direto (PD), combinados no inverno e no verão (PC-PC, PC-PD, PD-PD, PD-PC e ESC-PD), aplicados em parcelas de 12 x 100 m, distribuídas a campo segundo o delineamento de blocos aos acaso, com três repetições. Em 1987, introduziu-se no experimento o fator calagem em sub-parcelas, com 12 x 30 m, o qual consistiu de três tratamentos nas parcelas com PD: sem calcário – sem; com calcário incorporado – inc e; com calcário superficial - sup e em dois tratamentos nas parcelas com PC: sem calcário - sem e; com calcário incorporado - inc). A dose utilizada foi de 4,5 Mg ha⁻¹ de calcário calcítico em maio de 1987, 3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico em maio de 1995 e 4,0 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico em maio de 2001 (Quadro 1). No presente estudo, avaliaram-se os sistemas PC-PC e PD-PD em seus respectivos tratamentos de calagem, descritos abaixo:

PC inc - preparo convencional e calcário incorporado em 1978, 1987 e 1995.

PC sem - preparo convencional sem calcário

PD inc - plantio direto e calcário incorporado em 1978, 1987 e 1995.

PD sup - plantio direto e calcário aplicado na superfície em 1978, 1987 e 1995

PD sem - plantio direto sem calcário

O sistema de PC consistiu de uma aração com grade aradora até 0,20 m e duas gradagens, niveladora e de dentes. O PD foi realizado inicialmente com semeadoras-adubadoras adaptadas e mais recentemente foram adquiridas máquinas já desenvolvidas para o sistema. A colheita foi realizada com colheitadeira convencional. As operações agrícolas de semeadura, colheita e pulverização de herbicidas, inseticidas e fungicidas foram realizadas com máquinas, de forma similar ao que ocorre em lavouras comerciais, em doses e épocas determinadas conforme recomendação para as respectivas culturas. Apenas teve-se o critério de não realizar operações que envolviam o trânsito de máquinas em solo com excesso de umidade.

As culturas utilizadas de 1978 a 1985 foram sucessão trigo/soja e de 1986 a 2002 utilizou-se rotação de culturas com aveia branca (*Avena sativa*), trigo (*Triticum aestivum*), cevada (*Hordeum vulgare*), ervilhaca comum (*Vicia Sativa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), soja (*Glicine Max*) e milho (*Zea mays*) (Quadro 1). A rotação de culturas foi à mesma em todos os sistemas de manejo do solo.

Realizou-se uma primeira amostragem de solo (0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m), em maio de 2000, nas quais avaliou-se o efeito dos sistemas de manejo sobre atributos físicos (porosidades e densidade do solo) e químicos (pH, carbono orgânico, cátions trocáveis e fósforo disponível) (Ciotta, 2001; Costa, 2001). Em fevereiro de 2002, nas profundidades de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m, foram coletadas amostras deformadas, às quais foram resfriadas em câmara fria desde a coleta até seu processamento, para avaliar o comprimento de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares segundo Melloni (1996).

Na mesma época foram coletadas amostras para determinar os teores de argila natural (AN), total (AT), grau de flocculação (GF) através do método da pipeta (Embrapa, 1997) e a estabilidade dos agregados analisada por peneiramento úmido segundo Kemper & Chepil (1965).

Quadro 1. Culturas e doses de calcário utilizadas no experimento de 1978 a 2001. Guarapuava – PR

Ano agrícola	Cultivo		Dose de calcário Mg ha ⁻¹
	Inverno	Verão	
1978-79	-	soja	1,5
79-80	trigo	soja	
80-81	cevada	soja	
81-82	trigo	soja	
82-83	cevada	soja	
83-84	trigo	soja	
84-85	cevada	soja	
85-86	ervilhaca	milho	
86-87	aveia	soja	
87-88	trigo	soja	4,5
88-89	cevada	soja	
89-90	trigo	soja	
90-91	cevada	soja	
91-92	ervilhaca	milho	
92-93	aveia	soja	
93-94	cevada	soja	
94-95	trigo	soja	
95-96	nabo forrageiro	milho	3,0
96-97	aveia	soja	
97-98	trigo	soja	
98-99	cevada	soja	
99-00	nabo forrageiro	milho	
00-01	aveia	soja	
01-02	cevada	soja	4,0

A água no solo foi avaliada pela determinação da variação temporal da umidade do solo e das curvas de retenção de água no solo nas profundidades de 0 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,30 m. Para determinar a umidade foram coletadas 5 sub-amostras por parcela, nas entrelinhas da cultura nos dias 04, 08, 17 e 21 de janeiro e

07, 14 e 18 de fevereiro de 2002. Em fevereiro de 2002, foram coletados anéis volumétricos com 50 cm³, para confecção das curvas de retenção de água no solo.

Os pontos nas tensões de 1 e 6 kPa foram determinados na mesa de tensão, os de 33 e 100 kPa na câmara de Richards e na faixa de 100 a 2000 kPa no psicrômetro “Dewpoint potentiometer – *Decagon* - modelo WP4” (Decagon, 2000). No psicrômetro, em cada amostra, foram feitas leituras em 20 potenciais diferentes obtendo-se a umidade gravimétrica (U_g ; Mg Mg⁻¹) em cada potencial. A umidade volumétrica (θ ; m³ m⁻³) foi calculada com base na umidade gravimétrica e na densidade do solo:

$$\theta' = U_g * D_s \quad [1]$$

onde, D_s (Mg m⁻³) é a densidade do solo.

Através das curvas de retenção de água foi obtida, para cada amostra de um sistema e profundidade, a água disponível calculada pela diferença entre umidade volumétrica em cada data e o ponto de murcha permanente.

Na cultura da soja, normalmente são adicionados adubos nas doses recomendadas das fórmulas 0-20-20 ou 0-25-25 e a semente é inoculada. Em novembro de 2001, a soja foi semeada no espaçamento de 0,37 m e na floração iniciou-se determinações dos parâmetros do rendimento. A altura das plantas foi medida na floração da soja, em janeiro de 2002, em vinte plantas por parcela escolhidas aleatoriamente, determinado-se a distância do solo até a inserção do último trifólio maduro. Na floração, nas mesmas plantas, foi coletado o último trifólio maduro para análise foliar de N, P, K, Ca e Mg segundo Tedesco et al. (1995). Em abril de 2002, foram colhidos em cada parcela, três metros lineares da cultura para determinar o estande, número de legumes por planta, número de grãos

por legume, número de grãos por metro quadrado, peso de mil sementes e a produtividade da cultura.

O efeito dos preparos sobre as variáveis, foi avaliado através da análise de variância no delineamento experimental de blocos casualizados. A profundidade de amostragem de atributos do solo foi considerada como parcela subdividida. A relação entre variáveis de solo foi avaliada pela significância dos coeficientes de regressões polinomiais. A diferença entre médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Duncan ao nível de 5%. Para os componentes do rendimento da cultura foram realizados contrastes ortogonais a seguir descritos:

- 1 - PC inc x PC sem: comparou a média do preparo convencional com calcário com a média do preparo convencional sem calcário.
- 2 - PC inc x PD inc: comparou a média do preparo convencional com calcário com a média do plantio direto com calcário incorporado.
- 3 - PC inc x PD inc e PD sup: comparou a média do preparo convencional com calcário com a média dos sistemas de plantio direto com calcário incorporado e com calcário na superfície.
- 4 - PC x PD: comparou as médias dos dois preparos convencionais com a média dos três sistemas de plantio direto.
- 5 - PC sem x PD sem: comparou a média do preparo convencional com a média do plantio direto ambos sem calcário.
- 6 - PD inc x PD sup: comparou a média do plantio direto com calcário incorporado com a média do plantio direto com calcário na superfície.
- 7 - PD inc e PD sup x PD sem: comparou a média dos sistemas de plantio direto com calcário incorporado e com calcário na superfície com a média do plantio direto sem calcário.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Atributos físico-estruturais e hídricos do solo

O teor de argila total do solo variou de 537 a 611 g kg⁻¹ e não apresentou diferença significativa entre sistemas e profundidades (Quadro 2), o que pode ser considerada uma característica de Latossolos. O sistema PC sem na camada de 0 a 0,05 m apresentou o maior, enquanto na camada de 0,05 a 0,10 m apresentou o menor teor de argila dispersa em água. A argila dispersa e o grau de floculação são influenciados pela mineralogia do solo, matéria orgânica, pH, quantidade e tipo de cátions trocáveis, pois os mesmos interferem na espessura da dupla camada difusa e conseqüentemente nos processos de atração e repulsão entre partículas minerais e orgânicas (Mc Bride, 1989).

A elevação do pH e do teor de matéria orgânica em alguns sistemas aumenta o potencial elétrico superficial e conseqüentemente a dispersão, entretanto, o tipo e a quantidade de cátions trocáveis, especialmente os polivalentes adicionados com o calcário, promovem a floculação. Portanto, nos sistemas avaliados houve alterações no potencial elétrico superficial e nos cátions do solo, dificultando o entendimento dos processos que afetaram a dispersão da argila. Não se observou relação clara do efeito dos sistemas de preparo ou da calagem na dispersão da argila

e no grau de flocculação. Na profundidade de 0 a 0,05 m o teor de argila dispersa foi menor do que de 0,05 a 0,10 m, possivelmente devido a maior concentração de íons, matéria orgânica e ciclos de umedecimento e secamento.

Com relação à porosidade, a microporosidade variou entre os sistemas sendo maior nos sistemas com plantio direto do que nos com preparo convencional (Quadro 2), passando de 0,42 no PC inc a 0,47 m^3m^{-3} no PD inc. A maior microporosidade, somado às condições de superfície do solo como micro relevo e cobertura do solo, podem favorecer a retenção da água no solo para as culturas no PD. Em todos os sistemas a porosidade total variou de 0,60 a 0,63 m^3m^{-3} e a macroporosidade de 0,14 a 0,20 m^3m^{-3} , portanto acima de 0,10 m^3m^{-3} , considerado adequado para a maioria das culturas (Hillel, 1998). A elevada macroporosidade resultou em baixa densidade do solo ($1,00 \text{ Mg m}^{-3}$) mesmo no sistema PD, onde, geralmente é constatada compactação superficial, principalmente na camada de 0 a 0,10 m. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Albuquerque et al. (1995) em Latossolo Vermelho Amarelo cultivado por sete anos sob plantio direto e preparo convencional sem e com rotação de culturas. É importante ressaltar que os preparos de solo e operações que envolviam o trânsito de máquinas somente foram realizadas em condições de solo friável, ou seja, não foram realizadas em condições de excesso de umidade, o que poderia resultar em compactação com reflexos nos demais atributos relacionados à aeração.

O diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água variou de 3,97 mm no PC inc a 5,70 mm no PD sem, ambos na camada de 0 a 0,05 m (Quadro 2). Neste último sistema, a mobilização do solo foi realizada apenas no sulco de semeadura, portanto não houve incorporação de resíduos, adubos e

corretivos desde 1978, ano da implantação do experimento. Porém, no PD inc, a mobilização do solo, realizada em 1987 e 1995 foi suficiente para reduzir a estabilidade dos agregados para 4,67 mm, na camada de 0 a 0,05 m.

Quadro 2. Atributos físico-estruturais do Latossolo Bruno Alumínico cultivado com preparo convencional e plantio direto em Guarapuava - PR

Sistema	Prof m	AT kg Mg ⁻¹	AD	GF %	Mac m ³ m ⁻³	Mic	PT	DS Mg m ⁻³	DMP mm	Micélio m g ⁻¹
PC inc ⁽¹⁾	0-0,05	538	143 ab ⁽²⁾	73 ns	0,20	0,42	0,62	1,00	3,97 c	23,0 ab
	0,05-0,10	537	194 ab	64 ab	0,20	0,43	0,63	0,96	4,37 ns	18,6 ns
PC sem	0-0,05	595	222 a	62	0,20	0,43	0,63	0,98	4,03 bc	15,0 b
	0,05-0,10	573	143 b	75 a	0,18	0,44	0,62	1,02	4,70	13,7
PD inc	0-0,05	611	125 b	79	0,16	0,46	0,62	0,98	4,67 b	12,0 b
	0,05-0,10	564	186 ab	67 ab	0,15	0,48	0,63	0,96	4,67	12,7
PD sup	0-0,05	542	136 b	74	0,16	0,45	0,61	1,01	5,57 a	30,0 a
	0,05-0,10	577	248 a	56 b	0,14	0,47	0,61	1,00	4,80	8,7
PD sem	0-0,05	559	145 ab	74	0,15	0,45	0,60	1,03	5,70 a	33,0 a
	0,05-0,10	595	201 ab	66 ab	0,16	0,45	0,61	1,00	4,67	5,6
Médias dos sistemas										
PC inc	0-0,10	538	169	68	0,20	0,42 b	0,62	0,98	4,17	20,8
PC sem	0-0,10	584	183	69	0,19	0,43 ab	0,62	1,00	4,37	14,3
PD inc	0-0,10	587	156	73	0,15	0,47 a	0,62	0,97	4,67	12,3
PD sup	0-0,10	559	192	65	0,15	0,46 a	0,61	1,00	5,18	19,3
PD sem	0-0,10	577	173	70	0,15	0,45 a	0,60	1,01	5,18	19,3
Médias das profundidades										
	0-0,05	570	155	72	0,17	0,45	0,62	1,00	4,79	22,6
	0,05-0,10	570	194	66	0,17	0,45	0,62	0,99	4,64	11,9
probabilidade F calc > F tabelado										
Sist		0,26	0,42	0,49	0,19	0,04	0,73	0,69	0,01	0,40
Prof		0,98	0,01	0,02	0,48	0,24	0,62	0,30	0,30	0,01
S*P		0,69	0,01	0,02	0,47	0,65	0,61	0,17	0,01	0,01

⁽¹⁾ Teores de argila total (AT) e dispersa (AD), grau de floclação (GF), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (PT), densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP), micélio = comprimento de micélio micorrízico. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário.

⁽²⁾ Letras diferentes, na coluna, significam diferença estatística entre sistemas em cada profundidade, ou na média dos sistemas ou na média das profundidades.

No preparo convencional a estabilidade de agregados foi menor do que no plantio direto na camada de 0 a 0,05 m, efeito associado ao maior teor de carbono orgânico total (Quadro 5), a menor mobilização do solo e proteção da superfície por resíduos vegetais, conforme também constatado por Alvarenga et al. (1986) em Latossolo Roxo. Albuquerque et al. (1994) enfatizam que o revolvimento do solo reduz significativamente a estabilidade de agregados em solos com textura arenosa, enquanto solos argilosos são mais resistentes. Na camada de 0,05 a 0,10 m a estabilidade de agregados não diferiu entre os sistemas de preparo e métodos de calagem.

O comprimento de micélio micorrízico foi maior na camada superficial sob plantio direto, principalmente nos que não foram mobilizados e apresentou relação direta com a estabilidade de agregados. O maior comprimento de micélio pode ser devido ao maior crescimento radicular, acúmulo de resíduos orgânicos e manutenção da umidade na camada superficial no PD. Da mesma forma, Campos et al. (1995), trabalhando num Latossolo Vermelho-Escuro encontraram estreita relação entre atividade microbiana e estabilidade de agregados e ambas foram influenciadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional.

Os atributos físico-estruturais indicam que o solo apresenta condições adequadas em relação ao seu comportamento hídrico, em termos de infiltração de água, percolação e retenção no perfil, fluxos gasosos e a penetração das raízes, sem restrições ao crescimento das culturas que pudessem ser identificadas pelas metodologias analíticas utilizadas.

A umidade volumétrica foi variável em profundidade conforme a distribuição e a intensidade da chuva no período avaliado, sendo maior em

subsuperfície nos períodos secos e maior em superfície nos chuvosos (Quadro 3). No solo sob PD sup e PD sem, a umidade média da camada superficial, variou de 0,40 a 0,41 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, superior ao observado no PC que variou de 0,33 a 0,34 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Quadro 3). No PD inc a umidade da camada superficial foi de 0,37 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, intermediária aos demais sistemas. Este comportamento também foi observado na camada de 0,20 a 0,30 m. A cobertura do solo pelos resíduos culturais e os maiores teores de carbono orgânico existentes na camada superficial dos sistemas de plantio direto, favoreceram a infiltração e/ou retenção de água no solo, esta favorecida pela maior microporosidade no PD do que no PC.

Costa (2001) avaliou a umidade volumétrica de um Latossolo Bruno em seis datas, e constatou que na camada de 0 a 0,10 m, foi significativamente superior no sistema de plantio direto do que no preparo convencional, ao qual atribuiu a maior microporosidade e teor de carbono orgânico no plantio direto

A umidade no ponto de murcha permanente variou de 0,17 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no PC sem a 0,25 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no PD sem. Já a água disponível variou de 0,13 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no PC inc a 0,23 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no PD sem. De maneira geral, a quantidade de água disponível manteve-se alta no período avaliado de maior demanda pela cultura (Quadro 4), o que sugere boas condições hídricas para o crescimento da soja. Pequenas alterações na estrutura do solo, mas principalmente o maior teor de matéria orgânica do solo, proporcionaram maior umidade volumétrica e a água disponível nos sistemas de plantio direto, especialmente os que não foram mobilizados (PD sem e PD sup).

Melo Filho & Silva (1993), em um Podzólico Vermelho-Amarelo do Ceará, observaram maior infiltração de água no plantio direto do que no preparo convencional. A umidade no plantio direto foi maior durante o primeiro mês e menor

durante os meses seguintes do ciclo do milho. Considerando que houve maior infiltração no plantio direto, sugeriram que neste sistema houve melhor utilização da água, resultando em plantas mais altas e produtivas.

Quadro 3. Umidade volumétrica em sete épocas nos sistemas de preparo convencional e plantio direto em três profundidades

Sistemas	Prof. m	Umidade volumétrica, m ³ m ⁻³																
		4/1	B ⁽²⁾	b	0,29	0,33	B	b	0,27	0,40	B	ns	0,40	NS	0,34	0,33	B	b
PC-inc ⁽¹⁾	0-0,10	0,32	B ⁽²⁾	b	0,29	0,33	B	b	0,27	0,40	B	ns	0,40	NS	0,34	0,33	B	b
PC-inc	0,10-0,20	0,37	NS	a	0,32	0,37	A	a	0,35	0,43	A		0,44		0,39	0,38	AB	a
PC-inc	0,20-0,30	0,34	C	ab	0,33	0,35	B	ab	0,38	0,39	AB		0,38		0,36	0,36	B	ab
PC-sem	0-0,10	0,32	B	ns	0,31	0,33	B	ns	0,30	0,39	B	ns	0,40		0,35	0,34	B	b
PC-sem	0,10-0,20	0,36			0,35	0,36	AB		0,34	0,43	A		0,42		0,39	0,38	AB	a
PC-sem	0,20-0,30	0,33	C		0,35	0,35	B		0,42	0,40	AB		0,38		0,37	0,37	B	a
PD-inc	0-0,10	0,32	B	ns	0,32	0,37	A	ns	0,30	0,45	AB	ns	0,45		0,36	0,37	B	ns
PD-inc	0,10-0,20	0,35			0,33	0,36	AB		0,35	0,41	A		0,43		0,39	0,37	AB	
PD-inc	0,20-0,30	0,36	BC		0,36	0,36	B		0,33	0,44	A		0,44		0,40	0,38	AB	
PD-sup	0-0,10	0,39	A	a	0,35	0,40	A	a	0,34	0,46	A	a	0,47		0,39	0,40	A	a
PD-sup	0,10-0,20	0,35		b	0,33	0,34	B	b	0,33	0,34	B	b	0,41		0,37	0,35	B	b
PD-sup	0,20-0,30	0,39	AB	a	0,37	0,41	A	a	0,36	0,37	B	b	0,44		0,41	0,39	AB	a
PD-sem	0-0,10	0,38	A	ns	0,35	0,40	A	ns	0,34	0,49	A	a	0,48		0,40	0,41	A	ns
PD-sem	0,10-0,20	0,38			0,36	0,39	A		0,36	0,43	A	b	0,43		0,41	0,40	A	
PD-sem	0,20-0,30	0,41	A		0,40	0,42	A		0,34	0,44	A	ab	0,44		0,42	0,41	A	
		Média das profundidades																
	0-0,10	0,35			0,32	b	0,37		0,31	b	0,44		0,44		0,37	b	0,37	
	0,10-0,20	0,36			0,34	ab	0,36		0,35	a	0,41		0,43		0,39	a	0,38	
	0,20-0,30	0,37			0,36	a	0,38		0,37	a	0,41		0,41		0,39	a	0,38	
		probabilidade F calc > F tabelado																
Sist.		0,08			0,27	0,08	0,60		0,47		0,10		0,29		0,22			
Prof.		0,06			0,01	0,19	0,01		0,03		0,14		0,01		0,22			
Sist*Prof		0,04			0,77	0,01	0,30		0,01		0,27		0,11		0,03			

⁽¹⁾ **PC** = preparo convencional; **PD** = plantio direto; **inc** = calcário incorporado; **sem** = sem calcário e **sup** = calcário em superfície.

⁽²⁾ Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo em cada profundidade e letras minúsculas profundidades em cada sistema de manejo ou na média dos sistemas, Duncan a 5%.

Quadro 4. Água disponível em sete épocas nos sistemas de preparo convencional e plantio direto em três profundidades

Sistemas	Prof. m	Água disponível m ³ m ⁻³															
		4/1		8/1		17/1		21/1		7/2		14/2		18/2		média	
PC-inc ⁽¹⁾	0-0,10	0,11	B ⁽²⁾	b	0,08	0,13	NS	0,07	0,20	B	ns	0,20	NS	0,14	0,13	B	b
PC-inc	0,10-0,20	0,17	AB	a	0,12	0,17		0,15	0,23	A		0,24		0,18	0,18	AB	a
PC-inc	0,20-0,30	0,17	BC	a	0,16	0,17		0,21	0,21	AB		0,20		0,18	0,19	B	a
PC-sem	0-0,10	0,12	B	b	0,10	0,13		0,10	0,19	B	ns	0,20		0,14	0,14	B	b
PC-sem	0,10-0,20	0,16	AB	a	0,15	0,16		0,15	0,24	A		0,23		0,19	0,18	AB	a
PC-sem	0,20-0,30	0,16	C	a	0,18	0,18		0,25	0,23	AB		0,21		0,19	0,20	B	a
PD-inc	0-0,10	0,11	B	b	0,11	0,16		0,09	0,24	AB	ns	0,24		0,15	0,16	B	ns
PD-inc	0,10-0,20	0,13	B	ab	0,12	0,15		0,14	0,20	A		0,22		0,17	0,16	B	
PD-inc	0,20-0,30	0,16	C	a	0,16	0,16		0,12	0,24	A		0,24		0,20	0,18	B	
PD-sup	0-0,10	0,19	A	a	0,15	0,20		0,14	0,26	A	a	0,27		0,19	0,20	A	a
PD-sup	0,10-0,20	0,15	B	b	0,13	0,14		0,13	0,14	B	b	0,21		0,17	0,15	B	b
PD-sup	0,20-0,30	0,20	AB	a	0,19	0,23		0,17	0,18	B	b	0,25		0,22	0,21	AB	a
PD-sem	0-0,10	0,13	B	b	0,10	0,16		0,09	0,24	AB	ns	0,23		0,16	0,16	B	b
PD-sem	0,10-0,20	0,20	A	a	0,18	0,21		0,18	0,24	A		0,25		0,22	0,21	A	a
PD-sem	0,20-0,30	0,23	A	a	0,23	0,24		0,17	0,26	A		0,26		0,24	0,23	A	a
Média das profundidades																	
	0-0,10	0,13			0,11	c	0,16		0,10	c	0,23		0,23	0,16	c	0,16	
	0,10-0,20	0,16			0,14	b	0,17		0,15	b	0,21		0,23	0,19	b	0,18	
	0,20-0,30	0,18			0,18	a	0,20		0,18	a	0,23		0,23	0,21	a	0,20	
probabilidade F calc > F tabelado																	
Sist.	0,09				0,33		0,35		0,32		0,63		0,22	0,43	0,33		
Prof.	0,01				0,01		0,17		0,01		0,35		0,89	0,01	0,01		
Sist*Prof	0,01				0,20		0,17		0,19		0,01		0,35	0,05	0,01		

⁽¹⁾ PC = preparo convencional; PD = plantio direto; inc = calcário incorporado; sem = sem calcário e sup = calcário em superfície.

⁽²⁾ Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo em cada profundidade e letras minúsculas profundidades em cada sistema de manejo ou na média dos sistemas, Duncan a 5%.

6.2 Atributos químicos do solo

As modificações químicas do solo advindas dos sistemas de manejo, ocorreram principalmente na camada de 0 a 0,05 m (Quadro 5). O maior teor de C orgânico foi observado na camada de 0 a 0,05 m nos sistemas PD inc e PD sup (48 g kg^{-1}) em relação aos PCs (34 a 35 g kg^{-1}). A adição de calcário não modificou o teor de C orgânico nos dois sistemas de preparo, o que se deve principalmente à proteção da matéria orgânica no interior de agregados (Six et al., 1999; Bayer et al., 2001) e ao provável aumento do aporte mas também da atividade biológica nos sistemas calcariados.

Outro efeito que pode estar contribuindo para os maiores teores de matéria orgânica nos solos em PD é a menor temperatura do solo no plantio direto. Costa et al. (2003), neste mesmo experimento, no período inicial de desenvolvimento da soja, constataram que o plantio direto reduziu em 5 graus a temperatura da camada de 0 a 0,05 m, em relação ao preparo convencional, resultado também observado por Salton & Mielniczuk (1995) quando avaliaram o efeito de sistemas de preparo na temperatura do solo.

O maior teor de C orgânico, o aumento da CTC (Ciotta et al., 2002), a adubação e calagem superficial, bem como a permanência e decomposição mais lenta dos resíduos culturais na superfície do solo no sistema PD, favorecem acúmulo de nutrientes nos primeiros centímetros do solo. Na média das duas camadas, os teores de P foram maiores nos sistema PD sup ($12,4 \text{ mg kg}^{-1}$) e PD sem ($15,7 \text{ mg kg}^{-1}$) em relação aos sistemas PC inc ($4,9 \text{ mg kg}^{-1}$) e PC sem ($4,0 \text{ mg kg}^{-1}$). A incorporação de calcário no sistema PD inc e a mobilização periódica do solo no PC sem ou com calcário incorporado, aumenta a uniformidade

dos teores de nutrientes no perfil, bem como aumenta o contato do fósforo com a fração mineral e assim, sua fixação, resultando em menores teores disponíveis deste nutriente.

O teor de K, na camada de 0 a 0,05 m, foi maior no sistema PD sem ($0,70 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e menor no PC sem ($0,41 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). O maior teor de K na camada de 0 a 0,05 m deve-se ao não revolvimento do solo, o que causou um gradiente de concentração nos três sistemas de plantio direto, enquanto no PC inc e PC sem, o teor foi semelhante nas duas camadas analisadas (Quadro 5). A maior CTC do solo na camada superficial, relacionada ao maior teor de C orgânico e calagem, aumenta a retenção e diminui a lixiviação de cátions, apesar da calagem favorecer a troca de cátions como o K pelo Ca e Mg presentes no calcário. Em um Latossolo Vermelho distrófico textura média do Paraná, Caíres et al. (2002) observaram que a aplicação de calcário dolomítico na superfície em plantio direto reduziu o teor de K no tecido foliar do milho, no entanto a produção de grãos não foi alterada.

Na ausência da calagem, o PD sem apresentou maiores teores de Ca na camada de 0 a 0,05 m, do que o PC sem (Quadro 5). Na camada de 0 a 0,05 m, a adição de calcário na superfície do solo no PD sup elevou os teores de Ca ($6,00 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e Mg ($1,43 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) em relação aos demais sistemas, principalmente ao PC sem (Ca = 1,60 e Mg = $0,33 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e PC inc (Ca = 2,60 e Mg = $0,53 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Na camada de 0,05 a 0,10 m o comportamento foi semelhante ao observado na camada de 0 a 0,05 m, porém, as magnitudes foram menores.

Quadro 5. Atributos químicos de um Latossolo Bruno Alumínico cultivado com preparo convencional e plantio direto em Guarapuava - PR

Sistema	Prof	Corg	P	K	Ca	Mg	Al	pH água
	m	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				
PC inc ⁽¹⁾	0-0,05	35 bc ⁽²⁾	5,6	0,49 ab	2,60 cd	0,53 c	0,60	5,33
	0,05-0,10	36 ns	4,1	0,53 a	2,70 ab	0,60 a	0,50	5,37
PC sem	0-0,05	34 c	4,1	0,41 b	1,60 d	0,33 c	1,03	5,13
	0,05-0,10	34	4,0	0,42 ab	1,77 b	0,37 b	1,03	5,10
PD inc	0-0,05	48 a	9,1	0,50 ab	4,17 b	1,10 ab	0,67	5,23
	0,05-0,10	40	7,0	0,28 b	3,20 a	0,60 a	0,97	5,17
PD sup	0-0,05	48 a	11,3	0,62 ab	6,00 a	1,43 a	0,33	5,33
	0,05-0,10	41	13,5	0,27 b	3,77 a	0,67 a	1,00	5,20
PD sem	0-0,05	44 ab	14,5	0,70 a	3,13 bc	0,73 bc	1,17	4,90
	0,05-0,10	36	16,8	0,30 b	1,50 b	0,30 b	1,90	4,83
Média dos sistemas								
PC inc	0-0,10	35	4,9 B	0,51	2,65	0,56	0,55 B	5,35 A
PC sem	0-0,10	34	4,0 B	0,41	1,68	0,35	1,03 AB	5,11 B
PD inc	0-0,10	44	8,0 B	0,39	3,68	0,85	0,81 B	5,20 AB
PD sup	0-0,10	45	12,4 A	0,45	4,88	1,05	0,66 B	5,27 AB
PD sem	0-0,10	40	15,7 A	0,50	2,31	0,52	1,53 A	4,87 C
Média das profundidades								
	0-0,05	42	8,9	0,54	3,50	0,83	0,76 B	5,19
	0,05-0,10	37	9,1	0,36	2,59	0,51	1,08 A	5,13
probabilidade F calc > F tabelado								
Sist		0,01	0,01	0,45	0,01	0,01	0,04	0,01
Prof		0,02	0,90	0,01	0,01	0,01	0,01	0,08
S*P		0,04	0,75	0,01	0,01	0,01	0,08	0,46

⁽¹⁾ PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário.

⁽²⁾ Letras diferentes, na coluna, significam diferença estatística entre sistemas em cada profundidade, ou na média dos sistemas ou na média das profundidades.

O pH em água do solo foi menor no sistema PD sem do que no PC sem, o que pode ser devido à adição constante de fertilizantes de reação ácida na superfície do solo, reações localizadas de nitrificação do amônio e dissolução de fosfatos solúveis de cálcio, enquanto no PC, ocorreria distribuição deste efeito na camada mobilizada (Ciotta et al., 2002). O pH em água foi menor nos sistemas que não receberam calcário, com pH 4,87 no PD sem e 5,11 no PC sem, sendo que a

calagem elevou o pH para 5,20 no PD inc e 5,35 no PC inc (Quadro 5). É importante ressaltar que foram aplicadas doses baixas de calcário durante o período de condução do experimento, mas suficiente para manter o Al trocável abaixo de $1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ nos três sistemas calcariados, enquanto seu teor foi de 1,53 no PD sem e $1,03 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no PC sem, na média das duas camadas avaliadas.

Possíveis efeitos negativos para a nutrição vegetal advindo de valores de pH próximos de 5,1 a 5,3 nos sistemas avaliados, seriam compensados pelos teores elevados de fósforo, especialmente no PD. Segundo Anghinoni & Salet (2000), pH entre 5,3 e 5,6 e teor de Al menor que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na camada de 0 a 0,10 m seriam satisfatórios para o desenvolvimento de várias culturas.

6.3 Estado nutricional, componentes do rendimento e produtividade da soja

No tecido da soja, os teores cálcio, magnésio, fósforo e nitrogênio apresentaram diferenças entre os sistemas de manejo enquanto o teor de potássio foi semelhante entre os sistemas de manejo (Quadro 6). Os níveis de K no tecido vegetal foram altos (31 g kg^{-1}), mostrando relação com a elevada disponibilidade deste elemento no solo onde os níveis estão muito altos em todos os sistemas ($0,39$ a $0,51 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Para este elemento, não foram observadas diferenças no seu teor no tecido da soja, entre sistemas de preparo ou métodos de correção da acidez (Figura 1).

Gianello & Mielniczuk (1981), conduziram experimento em casa de vegetação com três Latossolos e concluíram que a concentração de K no solo foi o

fator que mais contribuiu para explicar a absorção de K, seguido do teor de argila, teor de água e PTK.

Quadro 6. Contrastes ortogonais realizados entre os sistemas de preparo do solo e métodos de correção da acidez para cálcio, magnésio, potássio, fósforo e nitrogênio no tecido das folhas da soja.

Contrastes	P	K	Ca	Mg	N
PC inc x PC sem ⁽¹⁾	0,01	ns	ns	0,02	0,04
PC inc x PD inc	0,04	ns	ns	ns	ns
PC inc x PD inc e PD sup	0,02	ns	ns	ns	ns
PC x PD	0,01	ns	ns	ns	ns
PC sem x PD sem	0,01	ns	ns	ns	ns
PD inc x PD sup	ns	ns	ns	ns	ns
PD inc e PD sup x PD sem	ns	ns	0,01	ns	0,02

⁽¹⁾ PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário.

O teor de P no tecido vegetal apresentou maiores teores na média dos sistemas de plantio direto (3,86 g kg⁻¹) do que nos sistemas de preparo convencional (3,05 g kg⁻¹) (Figura 1), possivelmente pela maior disponibilidade de P no solo no PD do que no PC (Quadro 5), conforme observado também por Muzilli (1983), Eltz et al. (1989) e Ciotta et al. (2002), o que favoreceria sua absorção pela soja no sistema PD. No PC a calagem favoreceu a absorção e acúmulo de P no tecido, porém no PD este efeito não foi observado. Possivelmente os maiores teores de carbono orgânico no solo sob PD reduzem a fixação de fósforo deixando-o mais disponível para as plantas.

Os teores de Ca no tecido foram em média 9,0 g kg⁻¹ localizando-se dentro da faixa adequada para a soja e não diferiram entre os sistemas de preparo (Figura 2). No PD sup e PD inc a calagem aumentou significativamente os teores de Ca no tecido em relação o PD sem, indicando que a acidez do solo pode estar restringindo a absorção deste nutriente pela planta. Os teores de Mg no tecido, na

média dos sistemas, $3,3 \text{ g kg}^{-1}$, estão próximos do limite inferior considerado adequado para a soja, que é de $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ (Malavolta et al., 1997), reforçando a hipótese de que as culturas poderiam se beneficiar da correção da acidez, principalmente nos dois sistemas sem calagem. O teor de Mg no sistema PC inc ($3,6 \text{ g kg}^{-1}$) foi superior ao do PC sem ($3,0 \text{ g kg}^{-1}$) sem diferença significativa para os outros contrastes realizados.

Em um Latossolo Vermelho distrófico textura média, em Ponta Grossa – PR, Cafres et al. (2001), adicionaram calcário e gesso e observaram que houve aumento da absorção, pela cultura da soja, de todos os macronutrientes com a calagem, e de Ca e S com a aplicação de gesso. Somente a calagem aumentou a produção de soja, em decorrência de maior disponibilidade e absorção de Mg e de redução dos teores foliares de Zn e Mn.

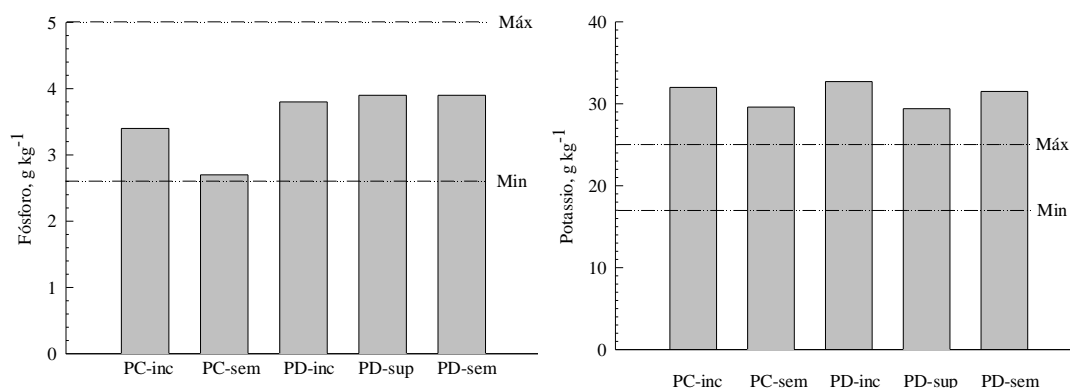


Figura 1. Níveis mínimo e máximo e teores de fósforo e potássio no tecido da soja cultivada em plantio direto e preparo convencional em Latossolo Bruno Alumínico em Guarapuava – PR. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário.

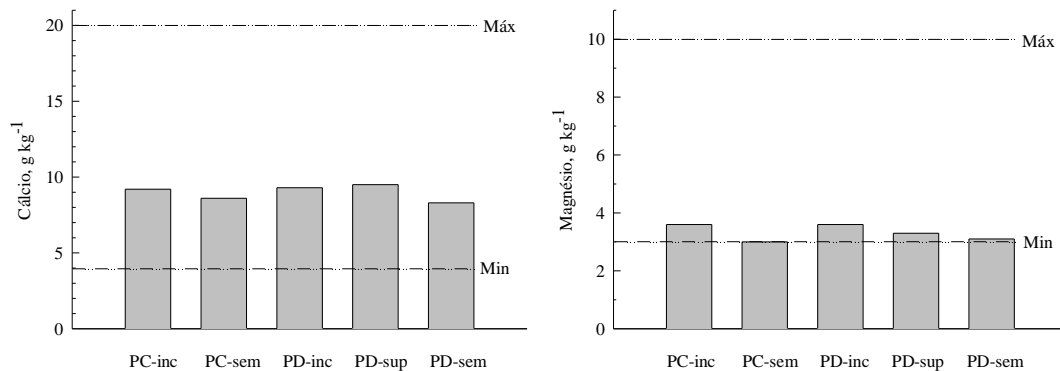


Figura 2. Níveis mínimo e máximo e teores de cálcio e magnésio no tecido da soja cultivada em plantio direto e preparo convencional em Latossolo Bruno Alumínico em Guarapuava – PR. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário.

O teor de N no tecido foi, na média dos sistemas, abaixo do limite inferior considerado adequado para a soja (43 g kg^{-1}) e não foi influenciado pelos sistemas de preparo do solo (Figura 3), mas em ambos os sistemas de preparo a aplicação de calcário aumentou o nitrogênio no tecido da soja. Isto pode estar relacionado ao efeito benéfico do aumento do pH na fixação biológica de nitrogênio e maior aporte de resíduos vegetais nos sistemas calcariados. O aumento do pH favorece a atividade de alguns grupos de microrganismos, principalmente em solos com acidez elevada (Alexander, 1977), conforme foi observado em solos do Rio Grande do Sul por Lovato et al. (1985), a população do *Rhizobium phaseoli* foi maior nos solos que receberam calcário. Em um experimento que objetivou identificar os fatores nutricionais limitantes à fixação simbiótica do N na Leucena, Bede et al. (1985) concluíram que quando os níveis de fósforo e magnésio eram baixos, a

inoculação foi inibida e o teor de nitrogênio na parte aérea da *Leucena* diminuiu sensivelmente.

No sistema de plantio direto a presença de cobertura morta na superfície do solo limita a evaporação de água, podendo favorecer perdas por lixiviação de nitrato, entretanto a presença de resíduos vegetais com alta relação C/N, pode imobilizar parte do N aplicado e a cobertura morta diminui as perdas de N por escoamento superficial. Além disso, o sistema de plantio direto aumenta o armazenamento hídrico e reduz a percolação vertical de água, fonte potencial de perdas de nitrato (Aita, 1997).

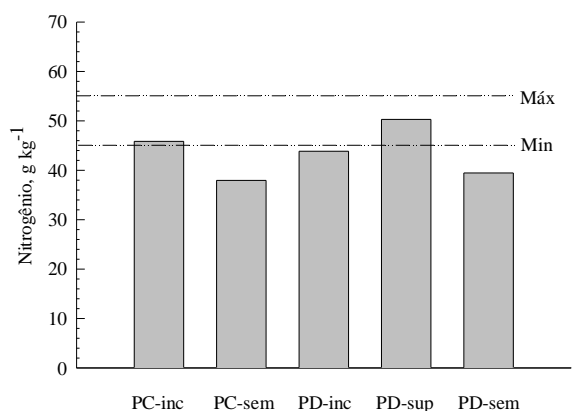


Figura 3. Níveis mínimo e máximo e teores de nitrogênio no tecido da soja cultivada em plantio direto e preparo convencional em Latossolo Bruno Alumínico em Guarapuava – PR. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário.

Os sistemas de preparo do solo ou métodos de correção da acidez não interferiram no estande da cultura, que variou de 261.260 no PC sem a 291.290 plantas no PD sup (Quadro 7). A altura das plantas até a inserção do último trifólio maduro foi maior no PD sup (46 cm) e menor no PC sem (32 cm), indicando que o

manejo do solo interferiu no crescimento das plantas, provavelmente por alterar a temperatura, os teores de carbono orgânico, a acidez, os cátions trocáveis e a umidade do solo. Em ambos os sistemas, a aplicação de calcário aumentou a altura das plantas e no PD sup a altura de plantas foi maior do que no PD inc.

Sfredo et al. (1996) num Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico no Maranhão, com baixo teor de fósforo ($6,7 \text{ mg kg}^{-1}$) e baixo pH ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 4,1$), observaram que a soja respondeu mais às aplicações de fósforo do que de calcário. Caires et al. (1998) em Latossolo Vermelho-Escuro em Ponta Grossa, PR, com $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ de 4,5 e saturação de bases de 32 %, não encontraram resposta da soja à aplicação superficial de calcário, mesmo que o pH após 2 anos da correção aumentou até 0,10 m de profundidade. Ciotta et al. (2002) em Latossolo Bruno Alumínico de Guarapuava observaram maior concentração de fósforo em solução, na camada de 0 a 0,20 m, no PD sem ($23,9 \text{ } \mu\text{g dm}^{-3}$) comparado ao PC sem ($8,1 \text{ } \mu\text{g dm}^{-3}$), o que reflete menor adsorção química e indica a maior disponibilidade deste nutriente em PD o que diminuiria a resposta das culturas à calagem.

Nos estudos realizados no mesmo experimento após 7 anos (Eltz et al., 1989), 11 anos (Jaster et al., 1993) e 21 anos (Costa et al., 2003; Ciotta et al., 2002) da sua implantação, foi observado que no PD as condições químicas e físicas do solo foram mais adequadas às culturas do que no PC. Segundo estes autores o PD melhorou a estrutura do solo, demonstrado pelo maior diâmetro médio geométrico, aumento do carbono orgânico total e solúvel, cátions trocáveis, fósforo, CTC efetiva e CTC a pH 7,0. Além disso, a temperatura máxima no plantio direto foi menor do que no preparo convencional.

Nestes estudos, na média dos sistemas de aplicação de calcário, a produtividade da soja foi 42%, do milho 22%, do trigo 6%, da cevada 7% e da aveia 9% maiores no PD comparada ao PC. Outro aspecto a considerar é que em sistemas de PD bem manejados, a compactação não atinge níveis prejudiciais às culturas e não reduz a produtividade (Jaster et al., 1993). Entretanto, em alguns estudos, o solo atinge níveis de compactação elevados na camada superficial com prejuízos no desenvolvimento e produtividade das culturas. Albuquerque et al. (2001) em um Nitossolo Vermelho observaram menor produtividade do milho em PD, devido à pressão causada pelo trânsito de máquinas nas operações de cultivo e pisoteio animal durante o inverno, acarretando aumento da densidade do solo na camada de 0 a 0,05 m e da resistência à penetração de 0 a 0,10 m quando comparado com o PC.

O número de legumes por planta não foi alterado pelo sistema de preparo ou aplicação de calcário (Quadro 7). Entretanto, o número de grãos por legume foi maior na média dos sistemas PD (1,93) em relação aos PC (1,85), o que, segundo Malavolta et al. (1997), pode ser devido à deficiência em P, conforme observado nos sistemas de PC. Também o número de grãos por metro quadrado foi maior na média do PD (1326 grãos) comparado a média do PC (1106 grãos). A adição de calcário não alterou o número de grãos por vagem ou por área. O peso de 1000 grãos não foi afetado pelos sistemas de preparo do solo, mas foi maior nos tratamentos com aplicação de calcário. No PC inc o peso de 1000 grãos foi de 173 g, enquanto no PC sem foi de 162 g. Na média dos sistemas PD com calcário foi de 168 g enquanto no PD sem foi de 155 g.

Quadro 7. Componentes do rendimento de grãos da cultura da soja num Latossolo Bruno Alumínico em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). Guarapuava - PR

Sistemas ⁽¹⁾	Estande	Altura	Leg/ pl ⁽²⁾	Grãos/leg	Grãos/m ²	PMS	Prod
	plantas/ha	cm	n ^o		g		kg ha ⁻¹
PC inc	267.265	36	20,1	1,83	1102	173	1886
PC sem	261.263	32	20,3	1,87	1109	162	1766
PD inc	264.265	41	23,8	2,00	1414	170	2264
PD sup	291.296	46	22,4	1,93	1352	166	2221
PD sem	282.281	38	20,6	1,87	1212	155	1900
CV	8	3,6	14	3,4	13	3,7	12

Contrastes	probabilidade F calc > F tabelado						
PC inc x PC sem	ns	0,01	ns	ns	ns	0,05	ns
PC inc x PD inc	ns	0,01	ns	0,01	0,04	ns	ns
PC inc x PD inc e PD sup	ns	0,01	ns	0,02	0,04	ns	ns
PC x PD	ns	0,01	ns	0,04	0,03	ns	0,04
PC sem x PD sem	ns	0,01	ns	ns	ns	ns	ns
PD inc x PD sup	ns	0,01	ns	ns	ns	ns	ns
PD inc e PD sup x PD sem	ns	0,01	ns	ns	ns	0,02	ns

⁽¹⁾ PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário.

⁽²⁾ Leg/pl= legumes por planta; Grãos/leg = grãos por legume; Grãos/m² = grãos por metro quadrado; PMS = peso de mil sementes e; Prod = produtividade da cultura.

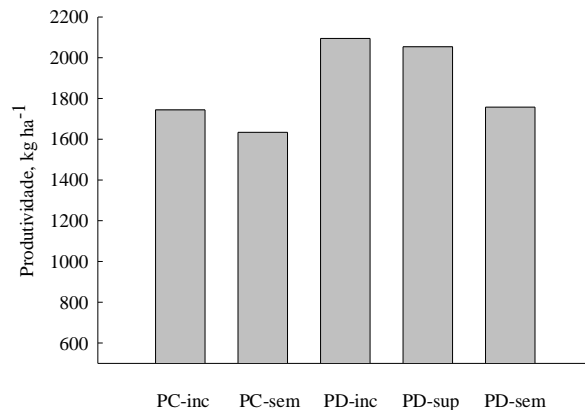


Figura 4. Produtividade da soja em Latossolo Bruno Alumínico de Guarapuava – PR, em função do manejo do solo. PC inc = preparo convencional com calcário; PC sem = preparo convencional sem calcário; PD inc = plantio direto com calcário incorporado; PD sup = plantio direto com calcário superficial; PD sem = plantio direto sem calcário.

As diferenças de grãos por legume, grãos por área e peso das sementes definiram maior rendimento de grãos no sistema PD (2.128 kg ha⁻¹) comparado ao PC (1.826 kg ha⁻¹). A correção da acidez elevou a produtividade em 120 kg ha⁻¹ no PC e 342 kg ha⁻¹ no PD (Figura 4). A produtividade do PD sem foi semelhante ao PC inc, possivelmente pelas melhorias na qualidade do solo ocorridas no PD durante os 23 anos de condução do experimento, apesar do pH estar baixo (4,87).

Moreira et al. (2001), estudaram o efeito da calagem na correção da acidez do solo, disponibilidade de alguns nutrientes e produtividade de milho e soja em um Latossolo Vermelho com diferentes tempos de cultivo sob sistema de semeadura direta (três, seis e nove anos). Observaram que as quatro doses de calcário aplicadas na superfície e uma dose incorporada alteraram as características químicas do solo, principalmente os teores de Ca e Mg e de Al, no entanto, os teores de N, P, K e S nas folhas de soja, bem como a produtividade não variou com a calagem,

indicando que o pH do solo não era um fator restritivo. Em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico, dos Santos et al (1995), estudaram o efeito do manejo de solo sob plantio direto, com aplicação de calcário na superfície, comparando com o efeito do manejo de solo sob preparo convencional, com incorporação de calcário, A não-incorporação de calcário sob plantio direto não alterou o rendimento de grãos de cevada e de soja e aumentou o rendimento de aveia branca em um dos dois anos avaliados.

Mascarenhas et al (1980), observaram que houve variação nos teores dos nutrientes determinados nas folhas e sementes de soja entre treze cultivares de soja, o que demonstra que cada cultivar tem as suas próprias exigências nutricionais e capacidade de extração de nutrientes no solo.

7 CONCLUSÕES

Os sistemas de plantio direto e preparo convencional resultaram em boas condições físico-estruturais do solo em termos de densidade e porosidade, embora no plantio direto a microporosidade foi superior ao sistema preparo convencional. Esta alteração, associada aos maiores teores de carbono orgânico e a proteção pelos resíduos vegetais na superfície do solo, pode ter aumentado a umidade volumétrica e a água disponível na camada superficial no plantio direto sem revolvimento para incorporação do calcário em comparação aos demais sistemas.

A estabilidade de agregados em água foi superior sob plantio direto em relação ao preparo convencional na camada superficial do solo, independentemente da calagem, sendo relacionada ao menor revolvimento do solo, maior comprimento do micélio micorrízico e aos teores de carbono orgânico;

As maiores modificações em termos de nutrientes no tecido vegetal foram observadas para o P, com maior acúmulo nas plantas sob plantio direto em relação ao preparo convencional, possivelmente em função das alterações físicas e químicas do solo. Os demais nutrientes encontraram-se em níveis adequados no tecido de soja, com exceção do magnésio e nitrogênio em alguns sistemas que estavam abaixo e do potássio que estava acima do nível crítico.

O rendimento de grãos de soja foi superior no plantio direto em relação ao preparo convencional. Este maior rendimento serve como um indicador biológico, demonstrando que o sistema conservacionista de manejo, quando utilizado por longos períodos de tempo, melhora a qualidade do solo com reflexos positivos nas plantas.

8 LITERATURA CITADA

- ABRÃO, P.U.R.; GOEPFERT, C.F.; GUERRA, M.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **R. Bras. Ci. Solo**, 3:169-172, 1979.
- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: Efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em Plantio direto**. Universidade Federal de Santa Maria, 1997. Cap. 4. p. 76-111.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Ciência Rural**, 24:275-280, 1994.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:115-119, 1995.
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R. & FONTANA, E. C., 2000. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:295-300, 2000.

- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:717-723, 2001.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: John Wiley & Sons. 1977. 554 p.
- ALVARENGA, R. C.; FERNANDES, B.; SILVA, T. C. A. & RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 10:273-277, 1986.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. & JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:867-874, 2000.
- ANGHINONI, I. & SALET, R. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J., org.. **USO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO NO PLANTIO DIRETO**. Pelotas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.41-59.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 18:139-145, 1994.
- ARGENTON, J. **Propriedades físicas do solo em dois sistemas de cultivo com plantas de cobertura de verão intercalares à cultura do milho**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2000. 97p. (Dissertação de Mestrado).
- BARBER, S.A. & OLSEN, R.A. Fertilizer use on corn. In: NELSON et al. eds. **Changing patterns in fertilizer use**. Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America, Inc., p.528, 1968.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:105-112, 1997.

- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C. N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 65:1473-1478, 2001.
- BEARDEN, B.N. & PETERESEN, L. Bearden BN, Petersen L.. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a Vertisol. **Plant and Soil**, 218:173-183, 2000.
- BEDE, S.N.P.; FROTA, I.N.E.; VASCONCELOS, I. & ALVES, J.F. Identificação de fatores nutricionais limitantes da fixação simbiótica de nitrogênio em Leucena. **R. Bras. Ci. Solo**, 9:5-7, 1985.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:829-834, 2002.
- CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. & KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:1011-1022, 2002.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C. & BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gessos na superfície. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:1029-1040, 2001.
- CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A. MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:27-34, 1998.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:121-126,1995.

- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J; ALBUQUERQUE, J.A. & NICOLODI, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. **Ciência Rural**, 24:459-463, 1994.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 14:99-105, 1990.
- CENTRUION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. & FERNANDES, F. M. Efeitos de sistema de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **R. Bras. Ci. Solo**, 9:267-270, 1985.
- CIOTTA, M.N. **Componentes da acidez do solo e calagem superficial em um Latossolo Bruno Alumínico sob plantio direto há 20 anos**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 100p. (Dissertação de Mestrado).
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A & WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:1055-1064, 2002.
- COSTA, F.S. **Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo do solo em experimento de longa duração**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 98p. (Dissertação de Mestrado).
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A. BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:527-535, 2003.
- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C. & FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1993. 90p.
- DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:473-480, 1997.

- DECAGON DEVICES, I. **Operator's manual - version 1.3 WP4 dewpoint potentiometer**. Washington, Decagon, 2000. 70p.
- DEGENS, B.P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. *Aust. J. Soil Res.*, 35:431-459, 1997.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.*, 11:199-238, 1988.
- EDWARDS, C. A. & BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 18:64-73, 1967.
- ELTZ, F. L. P.; PEIXOTO, R. T. G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de m Latossolo Bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Produção de Informação, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, Produção de Informação, 1999. 412p.
- ERNANI, P. R. & GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trovável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:161-165, 1983.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:515-524, 1999.
- FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M. & GUADÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:459-467, 2000.
- FREIRE, F. M.; NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M.; FRANÇA, G. E.; SANTOS, H. L. & SANTOS, P. R. R. S. Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max*

- (L.) Merrill) baseada no fósforo “disponível” em diferentes extratores químicos e no “fator capacidade”. **R. Bras. Ci. Solo**, 3:105-111, 1979.
- GIANELLO, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas e físicas de solo que afetam a absorção de potássio por plantas de milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 5:109-114, 1981.
- GONÇALVES, C. N. & CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:307-313, 1999.
- GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. & BASSO, C. J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:153-159, 2000.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H. & SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:145-154, 1999.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego, Academic Press, 1998. 771p.
- JASTER, F.; ELTZ, F. L. F.; FERNANDES, F. F.; MERTEN, G. H.; GAUDÊNCIO, C. A.; OLIVEIRA, M. C. N. **Rendimento de grãos em diferentes sistemas de preparo e manejo de solos**. Londrina, Embrapa-CNPSO, 1993. 37 p.
- KEMPER, W. D. & CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARCK, F.E., eds. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.
- LEWANDOWSKI, A. & ZUMWINKLE, M. Assessing the soil system: A review of soil quality literature. Minnesota Department of Agriculture, Energy and Sustainable agriculture Program. St. Paul. 1999, 65p.
- LOVATO, P.E.; PEREIRA, J.C. & VIDOR, C. Flutuação populacional do *Rhizobium phaseoli* em solos com e sem calagem. **R. Bras. Ci. Solo**, 9:9-12, 1985.

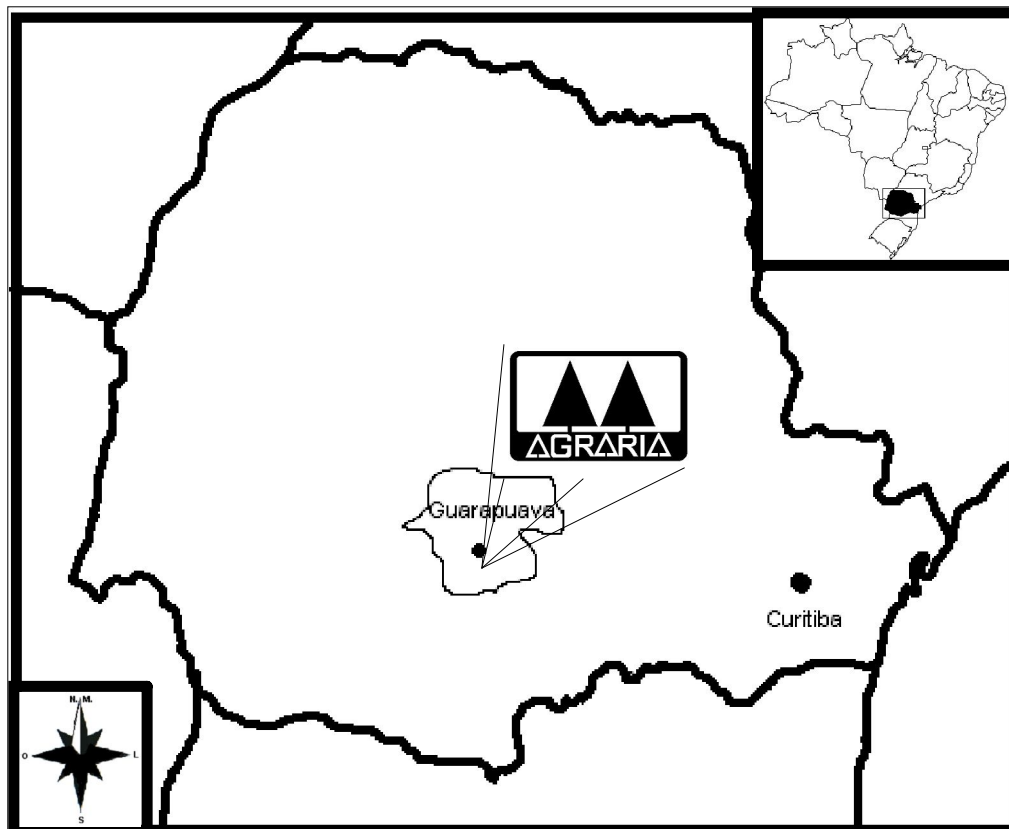
- MACHADO, J. A. & BRUM, A. C. R. Efeitos de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 2:81-84, 1978.
- MACHADO, J. A.; PAULA SOUZA, D. M. & BRUM, A. C. R. Efeitos de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 5:187-189, 1981.
- MALAVOLTA, E. VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba, Potafós, 1997. 319p.
- MASCARENHAS, H. A. A.; NEPTUNE, A. M. L.; MURAOKA, T.; BULISANE, E. A. & HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **R. Bras. Ci. Solo**, 4:92-96, 1980.
- MAZUR, N.; VELLOSO, A. C. X. & SANTOS, G. de A. Efeito do composto de resíduo urbano no pH e alumínio trocável em solo ácido. **R. Bras. Ci. Solo**, 7:157-159, 1983.
- Mc BRIDE, M.B. Surface chemistry of soils minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.35-88.
- MELLO IVO, W. M. P. & MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:135-143, 1999.
- MELO FILHO, J. F. & SILVA, J. R. C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. **R. Bras. Ci. Solo**, 17:291-297, 1993.
- MELLONI, R. **Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas**. Piracicaba, ESALQ, 1996. 83 p. (Dissertação de Mestrado).
- MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I. & PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:71-81, 2001.

- MUNNER, M. & OADES, J.M. The role of ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. mechanisms and models. **Aust. J. Soil Res.**, 27:411-423, 1989.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 7:95-102, 1983.
- PICCOLO, A. & MBAGWU, J.S.C. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 63:1801-1810, 1999.
- PIOTROWSKI, J.S.; DENICH, T.; KLIRONOMOS, J.N.; GRAHAM, J.M. & RILLIG, M. C. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. **New Phytologist**, 2004 (In press).
- PÖTTKER, D. & BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:675-684, 1998.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, Manole, 1987. 188p.
- REICHARDT, K. & TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera – Conceitos, processos e aplicações**. São Paulo, Manole, 2004. 476p.
- RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E. & SOUSA, D. M. G. Relação entre teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. **R. Bras. Ci. Solo**, 7:269-275, 1983.
- SALTON, J. C. & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:313-319, 1985.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. & LHAMBY, J. C. B. Plantio direto *versus* convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:449-454, 1995.
- SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ V., V. H. & NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:173-182, 2002.

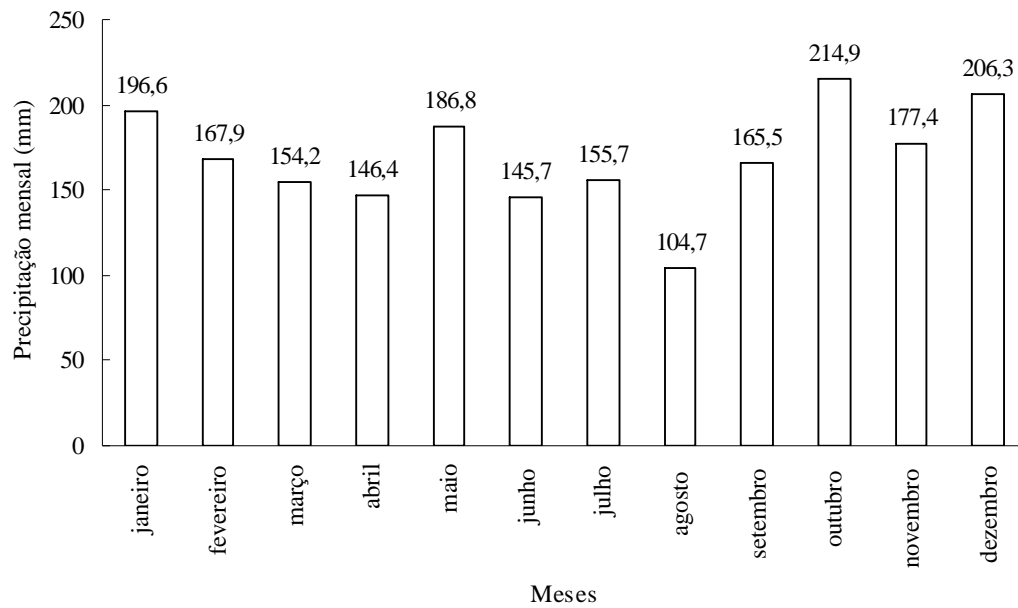
- SCOPEL, I.; COGO, N. P. & KLAMT, E. Infiltração da água em solos do litoral-norte do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 2:170-175, 1978.
- SFREDO, G.J; PALUDZYSZYN FILHO, E.; GOMES E.R. & OLIVEIRA, M.C.N. Resposta da soja a fósforo e a calcário em Podzólico Vermelho-Amarelo de Balsas, MA. **R. Bras. Ci. Solo**, 20:429-432, 1996.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, 10:91-95, 1986.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:113-117, 1997.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:311-317, 1998.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T. & PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 63:1350-1358, 1999.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T. & PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. a normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64:1042-1049, 2000.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H & VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TISDALL J. & OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **J. Soil Sci.**, 33:141-163, 1982.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. & SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:301-309, 1998.
- VARGAS, R. M. B.; MEURER, E. J. & ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 7:143-148, 1983.

VASCONCELLOS, C. A.; CAMPOLINA, D. C. A.; SANTOS, F. G.; EXEL PITTA, G. V. & MARRIEL, I. E. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:69-77, 1999.

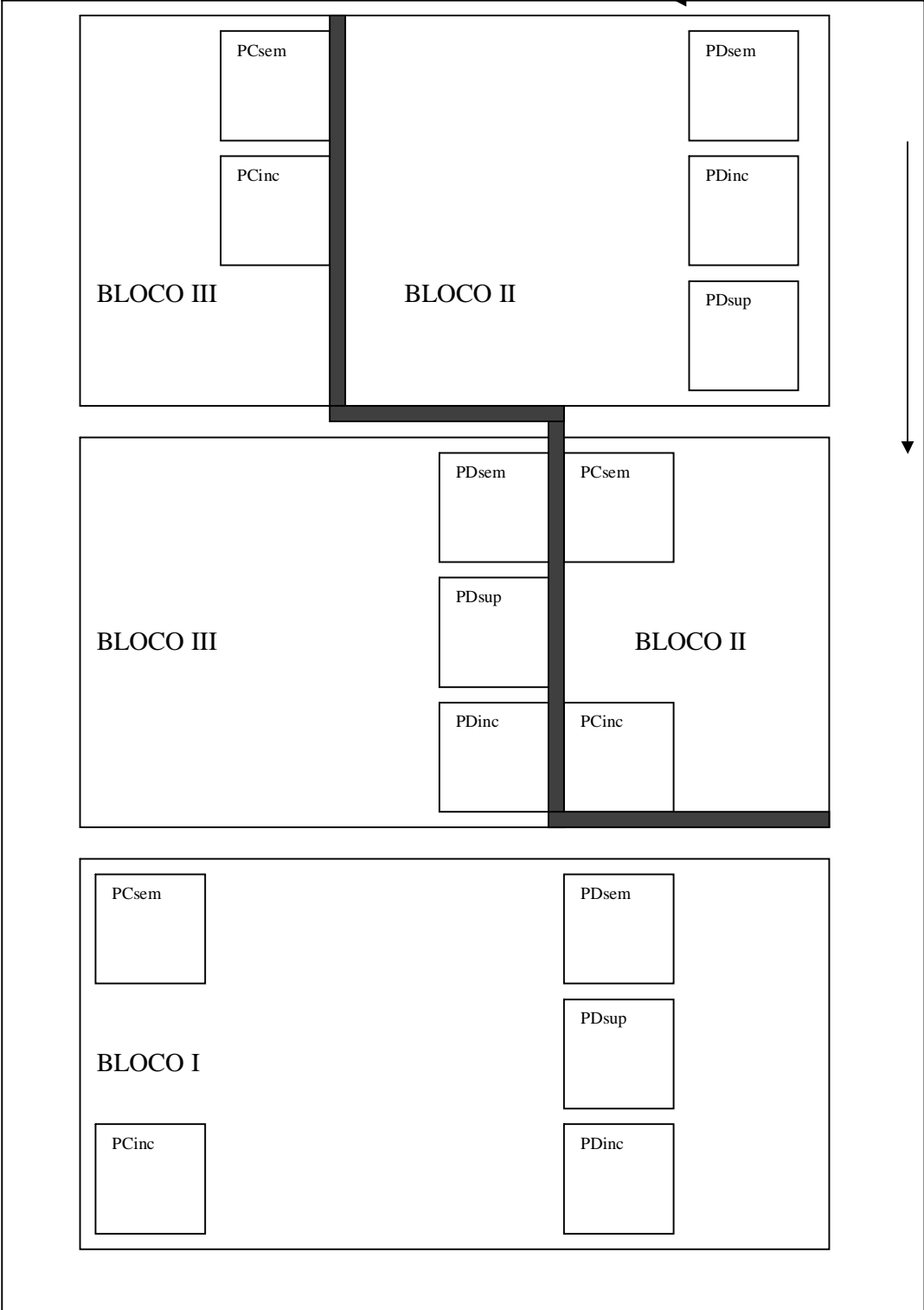
Anexo 1. Localização da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda. Guarapuava, Paraná. Costa (2001).



Anexo 2. Precipitação: médias mensais de 1976 a 1998 obtidas na estação meteorológica da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – Entre Rios - Guarapuava, Paraná.– latitude 25° 33' S, longitude 51° 29' W, altitude 1095m. Costa (2001).



Anexo 3. Croqui de localização dos sistemas de manejo do solo. Guarapuava - PR.



Anexo 4. Composição granulométrica e classe textural em sistemas de uso e manejo do solo e em profundidade. LB. Guarapuava – PR (Costa, 2001).

Prof. m	Argila	Silte	Areia	Classe textural
	-----g kg ⁻¹ -----			
Mata nativa				
0-0,05	670	262	67	Muito argilosa
0,05-0,10	606	311	82	Muito argilosa
0,10-0,20	695	225	81	Muito argilosa
0,20-0,40	633	256	111	Muito argilosa
PC inc: preparo convencional no inverno e verão com calcário incorporado				
0-0,05	539	394	67	Argilosa
0,05-0,10	538	399	64	Argilosa
0,10-0,20	604	333	63	Muito argilosa
0,20-0,40	705	237	58	Muito argilosa
PC sem: preparo convencional no inverno e verão sem calcário				
0-0,05	595	329	75	Argilosa
0,05-0,10	573	351	76	Argilosa
0,10-0,20	671	254	75	Muito argilosa
0,20-0,40	655	295	50	Muito argilosa
PD inc: plantio direto no inverno e verão com calcário incorporado				
0-0,05	612	334	54	Muito argilosa
0,05-0,10	564	387	49	Argilosa
0,10-0,20	663	290	47	Muito argilosa
0,20-0,40	693	253	54	Muito argilosa
PD sup: plantio direto no inverno e verão calcário superficial				
0-0,05	542	384	74	Argilosa
0,05-0,10	578	367	55	Argilosa
0,10-0,20	632	315	53	Muito argilosa
0,20-0,40	648	300	53	Muito argilosa
PD sem: plantio direto no inverno e verão sem calcário				
0-0,05	559	382	59	Argilosa
0,05-0,10	596	337	67	Argilosa
0,10-0,20	608	326	66	Muito argilosa
0,20-0,40	730	206	64	Muito argilosa

Anexo 5. Caracterização química do Latossolo Bruno nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m sob mata nativa e cultivo, Guarapuava, PR.

Prof. m	Ca	Mg	K	Al	pH _{água}	CO
	----- cmol _c kg ⁻¹ -----					g kg ⁻¹
Mata nativa ¹						
0-0,05	4,4	1,9	0,40	1,8	4,8	48
0,05-0,10	1,1	0,7	0,20	2,7	4,8	34
0,10-0,20	0,6	0,4	0,16	3,4	4,8	29
0,20-0,40	0,2	0,2	0,16	3,4	4,7	30
Solo cultivado ²						
0-0,05	3,3	0,8	0,54	0,8	5,1	42
0,05-0,10	2,5	0,5	0,37	1,1	5,1	38
0,10-0,20	2,3	0,5	0,30	1,0	5,2	35
0,20-0,40	1,5	0,4	0,23	0,8	5,3	29

¹ Média de três repetições

² Média de seis sistemas de manejo do solo e três repetições.

Anexo 6. Teor de argila dispersa (AD), grau de flocculação GF, (%), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), comprimento de micélio fúngico (Micélio), porosidade total (PT), macroporosidade, microporosidade e densidade do solo (Ds) nos sistemas de manejo do solo e em profundidade. LB. Guarapuava – PR.

Sistema	Prof m	Bloco	AD g kg ⁻¹	GF %	DMP mm	DMG mm	Micélio m g ⁻¹	PT m ³ m ⁻³	Macro m ³ m ⁻³	Micro m ³ m ⁻³	Ds Mg m ⁻³
PC inc	0-0,05	1	136	76	4,4	3,1	31	0,59	0,13	0,46	1,07
		2	177	65	3,6	2,3	22	0,61	0,20	0,41	1,03
		3	117	78	3,9	2,5	16	0,67	0,27	0,40	0,90
	0,05-0,10	1	200	64	4,3	2,6	20	0,60	0,14	0,46	1,04
		2	188	66	4,6	3,5	12	0,64	0,23	0,41	0,95
		3	196	61	4,2	2,3	24	0,66	0,25	0,41	0,90
PC sem	0-0,05	1	228	62	4,1	2,3	18	0,62	0,15	0,47	1,02
		2	186	70	3,5	1,5	12	0,64	0,24	0,41	0,97
		3	254	54	4,5	3,5	15	0,63	0,20	0,44	0,96
	0,05-0,10	1	163	75	4,6	3,6	18	0,60	0,14	0,46	1,05
		2	101	80	5,0	4,0	13	0,63	0,22	0,41	1,00
		3	167	71	4,5	3,0	10	0,62	0,18	0,44	1,03
PD inc	0-0,05	1	109	84	4,6	2,6	15	0,59	0,11	0,48	1,00
		2	109	81	4,3	2,3	11	0,62	0,14	0,48	1,01
		3	158	72	5,1	4,1	10	0,65	0,23	0,42	0,94
	0,05-0,10	1	189	66	4,2	2,8	22	0,57	0,09	0,48	1,01
		2	191	65	4,9	3,6	7	0,65	0,17	0,48	0,94
		3	180	69	4,9	3,9	9	0,66	0,19	0,47	0,93
PD sup	0-0,05	1	143	70	5,7	4,8	23	0,62	0,14	0,48	0,98
		2	160	70	5,8	5,3	47	0,61	0,17	0,44	1,02
		3	107	82	5,2	3,6	20	0,60	0,16	0,44	1,03
	0,05-0,10	1	221	66	5,1	4,1	9	0,60	0,14	0,46	0,99
		2	283	43	4,9	3,2	12	0,62	0,13	0,49	0,99
		3	242	59	4,4	2,4	5	0,61	0,15	0,46	1,03
PD sem	0-0,05	1	173	67	5,9	5,4	30	0,62	0,15	0,47	0,98
		2	143	77	5,8	4,9	48	0,59	0,14	0,45	1,06
		3	121	77	5,4	4,4	21	0,60	0,15	0,45	1,06
	0,05-0,10	1	178	71	5,3	4,6	4	0,61	0,14	0,47	1,00
		2	195	66	4,7	3,2	7	0,59	0,15	0,45	1,04
		3	230	62	4,0	2,6	6	0,64	0,19	0,45	0,96

Anexo 7. Umidade volumétrica nos meses de janeiro e fevereiro de 2002, em três profundidades, nos sistemas de manejo do solo no Latossolo Bruno. Guarapuava – PR.

Sistema	Prof	Bloco	04-Jan	08-Jan	17-Jan	21-Jan	07-Fev	14-Fev	18-Fev	Média
	m		m ³ m ⁻³							
PC inc	0-0,1	1	0.31	0.32	0.37	0.29	0.46	0.43	0.38	0.37
		2	0.30	0.27	0.29	0.27	0.38	0.40	0.34	0.32
		3	0.34	0.27	0.33	0.26	0.36	0.37	0.30	0.32
	0,1-0,2	1	0.34	0.35	0.39	0.38	0.45	0.45	0.40	0.39
		2	0.35	0.31	0.34	0.34	0.42	0.44	0.40	0.37
		3	0.42	0.30	0.38	0.33	0.43	0.43	0.36	0.38
	0,2-0,3	1	0.37	0.34	0.41	0.42	0.43	0.39	0.38	0.39
		2	0.28	0.41	0.31	0.35	0.34	0.38	0.37	0.35
		3	0.38	0.24	0.33	0.37	0.39	0.36	0.32	0.34
PC sem	0-0,1	1	0.36	0.36	0.35	0.34	0.46	0.42	0.37	0.38
		2	0.31	0.29	0.31	0.27	0.38	0.38	0.33	0.32
		3	0.31	0.27	0.34	0.30	0.35	0.41	0.35	0.33
	0,1-0,2	1	0.38	0.41	0.40	0.38	0.47	0.45	0.42	0.42
		2	0.36	0.32	0.33	0.33	0.41	0.41	0.37	0.36
		3	0.32	0.31	0.34	0.31	0.42	0.41	0.38	0.36
	0,2-0,3	1	0.35	0.45	0.44	0.50	0.47	0.46	0.41	0.44
		2	0.32	0.29	0.31	0.36	0.35	0.33	0.31	0.32
		3	0.34	0.32	0.31	0.41	0.38	0.36	0.38	0.36
PD inc	0-0,1	1	0.32	0.33	0.39	0.32	0.47	0.47	0.31	0.37
		2	0.31	0.32	0.38	0.29	0.44	0.44	0.37	0.36
		3	0.34	0.31	0.34	0.29	0.42	0.44	0.40	0.36
	0,1-0,2	1	0.34	0.32	0.37	0.37	0.41	0.42	0.37	0.37
		2	0.31	0.34	0.37	0.31	0.43	0.46	0.38	0.37
		3	0.38	0.32	0.35	0.36	0.40	0.42	0.40	0.38
	0,2-0,3	1	0.36	0.37	0.38	0.24	0.39	0.40	0.40	0.36
		2	0.33	0.34	0.38	0.32	0.50	0.38	0.38	0.38
		3	0.38	0.36	0.32	0.41	0.43	0.53	0.42	0.41
PD sup	0-0,1	1	0.36	0.35	0.41	0.33	0.44	0.47	0.39	0.39
		2	0.37	0.34	0.39	0.32	0.47	0.46	0.39	0.39
		3	0.43	0.37	0.40	0.37	0.48	0.48	0.40	0.42
	0,1-0,2	1	0.33	0.32	0.34	0.32	0.27	0.40	0.36	0.34
		2	0.32	0.32	0.36	0.30	0.33	0.39	0.35	0.34
		3	0.38	0.35	0.31	0.37	0.41	0.45	0.41	0.38
	0,2-0,3	1	0.34	0.38	0.40	0.39	0.25	0.43	0.37	0.37
		2	0.40	0.36	0.43	0.41	0.41	0.46	0.42	0.41
		3	0.41	0.37	0.40	0.28	0.44	0.43	0.43	0.39
PD sem	0-0,1	1	0.37	0.39	0.41	0.37	0.52	0.49	0.43	0.42
		2	0.37	0.31	0.40	0.31	0.47	0.45	0.39	0.39
		3	0.40	0.35	0.40	0.33	0.49	0.50	0.38	0.41
	0,1-0,2	1	0.40	0.41	0.40	0.38	0.45	0.46	0.42	0.42
		2	0.35	0.31	0.37	0.33	0.39	0.40	0.39	0.36
		3	0.40	0.38	0.41	0.38	0.44	0.44	0.41	0.41
	0,2-0,3	1	0.38	0.39	0.42	0.38	0.42	0.45	0.40	0.40
		2	0.44	0.43	0.43	0.41	0.47	0.46	0.45	0.44
		3	0.41	0.38	0.40	0.25	0.42	0.40	0.40	0.38

Anexo 8. Água disponível, obtida pela diferença entre a umidade volumétrica atual e o ponto de murcha permanente, nos meses de janeiro e fevereiro de 2002, em três profundidades, nos sistemas de manejo do solo no Latossolo Bruno. Guarapuava – PR.

Sistema	Prof	Bloco	04-Jan	08-Jan	17-Jan	21-Jan	07-Fev	14-Fev	18-Fev	Média
	m		$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$							
PC inc	0-0,1	1	0.11	0.12	0.16	0.08	0.26	0.23	0.18	0.16
		2	0.10	0.07	0.09	0.07	0.18	0.20	0.13	0.12
		3	0.13	0.07	0.13	0.05	0.16	0.16	0.10	0.11
	0,1-0,2	1	0.14	0.15	0.19	0.18	0.24	0.25	0.20	0.19
		2	0.14	0.11	0.14	0.14	0.22	0.23	0.20	0.17
		3	0.22	0.10	0.18	0.13	0.23	0.22	0.16	0.18
	0,2-0,3	1	0.19	0.17	0.23	0.25	0.26	0.22	0.20	0.22
		2	0.11	0.24	0.14	0.17	0.17	0.20	0.20	0.17
		3	0.20	0.07	0.16	0.19	0.22	0.19	0.15	0.17
PC sem	0-0,1	1	0.16	0.16	0.15	0.13	0.25	0.22	0.16	0.18
		2	0.10	0.08	0.11	0.06	0.17	0.18	0.12	0.12
		3	0.10	0.07	0.13	0.10	0.14	0.20	0.14	0.13
	0,1-0,2	1	0.19	0.21	0.21	0.18	0.27	0.26	0.22	0.22
		2	0.17	0.13	0.14	0.14	0.21	0.21	0.17	0.17
		3	0.13	0.12	0.15	0.12	0.23	0.22	0.19	0.16
	0,2-0,3	1	0.18	0.27	0.27	0.32	0.30	0.29	0.24	0.27
		2	0.14	0.12	0.14	0.19	0.17	0.15	0.14	0.15
		3	0.17	0.14	0.14	0.24	0.21	0.19	0.20	0.18
PD inc	0-0,1	1	0.11	0.13	0.19	0.11	0.27	0.26	0.10	0.17
		2	0.10	0.11	0.18	0.08	0.23	0.23	0.16	0.16
		3	0.13	0.10	0.13	0.08	0.22	0.23	0.19	0.16
	0,1-0,2	1	0.13	0.11	0.16	0.16	0.19	0.21	0.16	0.16
		2	0.10	0.13	0.15	0.10	0.22	0.25	0.17	0.16
		3	0.17	0.11	0.14	0.15	0.19	0.21	0.19	0.17
	0,2-0,3	1	0.16	0.17	0.18	0.04	0.19	0.20	0.20	0.16
		2	0.13	0.14	0.18	0.12	0.30	0.18	0.18	0.18
		3	0.18	0.16	0.12	0.21	0.23	0.33	0.22	0.21
PD sup	0-0,1	1	0.16	0.15	0.21	0.13	0.24	0.27	0.19	0.19
		2	0.17	0.14	0.19	0.12	0.27	0.27	0.19	0.19
		3	0.23	0.18	0.20	0.17	0.28	0.28	0.20	0.22
	0,1-0,2	1	0.13	0.12	0.14	0.12	0.07	0.20	0.16	0.14
		2	0.13	0.12	0.16	0.10	0.13	0.19	0.15	0.14
		3	0.19	0.15	0.11	0.17	0.21	0.25	0.21	0.18
	0,2-0,3	1	0.16	0.20	0.22	0.20	0.07	0.24	0.19	0.18
		2	0.22	0.18	0.25	0.22	0.23	0.28	0.23	0.23
		3	0.23	0.18	0.00	0.09	0.25	0.25	0.25	0.21
PD sem	0-0,1	1	0.12	0.15	0.16	0.12	0.27	0.24	0.18	0.18
		2	0.12	0.06	0.16	0.06	0.22	0.20	0.15	0.14
		3	0.15	0.10	0.16	0.09	0.24	0.25	0.14	0.16
	0,1-0,2	1	0.21	0.22	0.22	0.20	0.27	0.28	0.23	0.23
		2	0.16	0.12	0.18	0.14	0.21	0.21	0.20	0.18
		3	0.21	0.19	0.22	0.20	0.26	0.25	0.23	0.22
	0,2-0,3	1	0.20	0.22	0.24	0.20	0.25	0.27	0.23	0.23
		2	0.26	0.25	0.26	0.24	0.30	0.29	0.27	0.27
		3	0.23	0.21	0.23	0.07	0.25	0.23	0.23	0.21

Anexo 9. Teor de carbono orgânico, cálcio, magnésio, potássio, alumínio, fósforo e pH em água nos sistemas de manejo do solo e em profundidade. LB. Guarapuava – PR.

Sistema	Prof	Bloco	CO	Ca	Mg	K	Al	P	pH
			g kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----		mg kg ⁻¹	
PC inc	0-0,05	1	36	2.7	0.6	0.49	0.8	6.1	5.3
		2	33	2.5	0.4	0.50	0.6	5.4	5.2
		3	36	2.6	0.6	0.47	0.4	5.5	5.5
	0,05-0,10	1	37	2.6	0.6	0.48	0.7	4.1	5.3
		2	33	2.6	0.5	0.55	0.5	4.7	5.3
		3	38	2.9	0.7	0.55	0.3	3.6	5.5
PC sem	0-0,05	1	35	1.2	0.2	0.42	1.6	4.2	5.0
		2	33	2.0	0.4	0.40	0.7	4.3	5.2
		3	33	1.6	0.4	0.41	0.8	3.9	5.2
	0,05-0,10	1	35	1.4	0.3	0.39	1.7	3.9	4.9
		2	34	2.2	0.4	0.43	0.6	4.2	5.2
		3	32	1.7	0.4	0.44	0.8	3.8	5.2
PD inc	0-0,05	1	48	4.2	1.1	0.59	0.8	8.7	5.2
		2	48	4.1	1.1	0.63	0.6	7.4	5.2
		3	47	4.2	1.1	0.29	0.6	11	5.3
	0,05-0,10	1	41	3.2	0.6	0.26	1.1	5.9	5.1
		2	39	3.6	0.7	0.31	0.8	6	5.2
		3	39	2.8	0.5	0.28	1.0	9.1	5.2
PD sup	0-0,05	1	48	7.1	1.3	0.48	0.3	13	5.4
		2	42	5.0	1.3	0.80	0.4	9.8	5.3
		3	56	5.9	1.7	0.59	0.3	12	5.3
	0,05-0,10	1	40	4.9	0.7	0.22	0.6	5.6	5.3
		2	42	4.0	0.8	0.34	0.5	11	5.3
		3	41	2.4	0.5	0.25	1.9	24	5.0
PD sem	0-0,05	1	53	2.7	0.7	0.47	1.6	14	4.7
		2	37	3.9	0.8	0.71	0.7	16	5.0
		3	43	2.8	0.7	0.93	1.2	14	5.0
	0,05-0,10	1	40	1.1	0.2	0.23	2.2	13	4.8
		2	35	2.1	0.4	0.34	1.3	14	4.9
		3	34	1.3	0.3	0.34	2.2	23	4.8

Anexo 10. Teor de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e nitrogênio (g kg^{-1}) no trifólio da soja nos sistemas de manejo do solo e em profundidade. LB. Guarapuava – PR.

Sistemas	Bloco	P	K	Ca	Mg	N
PC inc	1	3,3	35,9	9,5	3,8	43,9
	2	3,3	31,3	9,5	3,8	42,9
	3	3,6	28,9	8,5	3,2	50,8
PC sem	1	3,0	31,4	8,0	3,1	39,4
	2	2,5	27,4	8,4	3,1	36,1
	3	2,6	30,0	9,3	2,8	38,3
PD inc	1	3,7	31,3	9,6	3,7	46,0
	2	3,8	32,6	9,1	3,3	45,0
	3	3,9	34,3	9,3	3,9	40,6
PD sup	1	3,8	27,4	9,5	3,2	47,3
	2	4,0	32,8	9,7	3,2	45,7
	3	3,8	27,9	9,4	3,4	57,9
PD sem	1	4,2	32,2	8,7	3,3	39,6
	2	3,9	30,0	8,4	3,0	39,4
	3	3,7	32,4	7,7	3,0	38,2

Anexo 11. Stand e altura de plantas, número de legumes por planta (Leg pl⁻¹), número de grãos por área (Grãos m⁻²), peso de mil sementes (PMS) e produtividade da soja (Prod) nos sistemas de manejo do solo na safra 2001/2002 no Latossolo Bruno. Guarapuava – PR.

Sistema	Bloco	Stand	Altura	Leg pl ⁻¹	Grãos m ⁻²	PMS	Prod
		plantas ha ⁻¹	cm	n ^o	n ^o	g	kg ha ⁻¹
PC inc	1	252252	37,4	19,9	1026	181	1877
	2	270270	34,8	18,8	1037	171	1794
	3	279279	35,8	21,5	1244	167	1987
PC sem	1	288288	32,8	19,7	1217	167	1999
	2	243243	31,7	20,0	995	159	1589
	3	252252	32,3	21,2	1116	160	1711
PD inc	1	252252	45,9	21,7	1174	179	2120
	2	288288	39,0	22,8	1463	161	2226
	3	252252	38,9	27,0	1605	169	2448
PD sup	1	252252	47,5	22,4	1218	185	2248
	2	369369	44,6	15,6	1276	148	1813
	3	252252	45,4	29,2	1563	164	2602
PD sem	1	315315	40,8	21,4	1403	164	2281
	2	261261	36,0	20,7	1102	151	1701
	3	270270	38,0	19,6	1132	151	1719

Anexo 12. Variação temporal da umidade volumétrica nos meses de janeiro e fevereiro de 2002, em três profundidades, nos sistemas de manejo do solo no Latossolo Bruno. Guarapuava – PR.

