

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL DE GEUS ALVES

Resistência a penetração de raízes, densidade relativa e produtividade em Latossolo
Bruno submetido a sistemas de preparo na integração lavoura-pecuária



CURITIBA

2010

RAFAEL DE GEUS ALVES

Resistência a penetração de raízes, densidade relativa e produtividade em Latossolo
Bruno submetido a sistemas de preparo na integração lavoura-pecuária

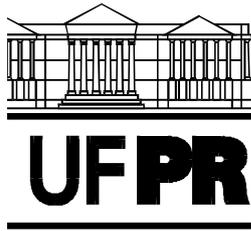
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Pedologia e manejo do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Solo.

Orientador: Prof. Jeferson Dieckow

Co Orientadora: Profa. Neyde Fabíola Balarezo Giarola

CURITIBA

2010



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648
Página: www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcsolo@ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **RAFAEL DE GEUS ALVES**, sob o título: "**Resistência a penetração de raízes, densidade relativa e produtividade em Latossolo Bruno submetido a sistemas de preparo na integração lavoura-pecuária**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Pedologia e Manejo do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Pedologia e Manejo do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 31 de maio de 2010.

Prof. Dr. Jeferson Dieckow, Presidente.

Profa. Dra. Neyde Fabíola Balarezo Giarola, Iª. Examinadora.

Prof. Dr. Volnei Pauletti, IIº. Examinador.

Pelo carinho e incentivo de todos que
contribuíram para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma etapa da minha vida que conclui-se e a toda força e perseverança a mim incumbida ao longo desta fase, pois sem sua benção não seria possível.

De uma maneira muito especial agradeço a minha família, de meu pai Paulo Roberto Mendes Alves, minha mãe Rosa Helena de Geus Alves e minha irmã Amanda de Geus Alves, que sempre estiveram ao meu lado em todas as escolhas de minha vida, possibilitando um crescimento pessoal com seu amor incondicional.

Meu afeto especial a minha namorada e mestre Carla Fernanda que sem seu auxílio em muitas horas este passo não seria realizado da mesma forma.

Uma lembrança especial aos colegas de Mestrado que auxiliaram no projeto na troca de idéias e informações para o crescimento individual e parte desta tese, lembro de maneira mais que especial dos alunos Sérgio, Bruno, Mário e Marina acadêmicos de graduação da UEPG que auxiliaram de maneira intensa na elaboração deste projeto e a eles dedico os meus agradecimentos.

Ao auxiliar meu caminho lembro de maneira especial dos professores Jeferson Dieckow, Neyde Fabíola Balarezo Giarola e Volnei Paulleti, pela dedicação doada em diversas horas.

A Fundação ABC, que possibilitou o desenvolvimento e execução deste projeto, onde parte do mesmo resultou em minha dissertação.

“Há pessoas que transformam o sol numa
simples mancha amarela, mas há aquelas
que fazem de uma simples mancha amarela
o próprio sol”

Pablo Picasso

RESUMO

Resistência a penetração de raízes, densidade relativa e produtividade em Latossolo Bruno submetido a sistemas de preparo na integração lavoura-pecuária

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) difundiu-se principalmente na região Sul do Brasil em função de apresentar vantagens econômicas pela combinação da exploração da bovinocultura de corte ou leiteira e a produção de grão aliado as forrageiras de inverno. Entretanto, o uso incorreto deste sistema altera a estrutura do solo devido o impacto do pisoteio animal aliado ao manejo indevido no preparo do solo para as culturas anuais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a melhoria da qualidade física de um Latossolo Bruno por sistemas conservacionistas de preparo em relação aos convencionais, em ILP. O experimento foi desenvolvido em área experimental da Fundação ABC (Castro-PR), sendo constituído por sete sistemas de preparo do solo: (i) grade aradora no inverno (GA1); (ii) grade aradora no inverno e no verão (GA2); (iii) arado de discos (AD); (iv) escarificador (ESC); (v) subsolador (SUB); (vi) aerador "Aeromix" (AERO); e (vii) plantio direto (PD), em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram avaliados os seguintes atributos físicos: (i) resistência a penetração (RP); (ii) umidade; (iii) densidade do solo a campo (DC); (iv) densidade de referência a 200 (DR₂₀₀) e 1000 kPa (DR₁₀₀₀); e densidade relativa (DR). Os maiores valores de RP, DC e DR ocorreram nos sistemas PD, AERO e ESC. No entanto, o solo sob tais sistemas apresentou maior umidade em ano de estiagem, comprovando o efeito benéfico da cobertura do solo. Os sistemas de preparo do solo não alteram a DR₂₀₀ e a DR₁₀₀₀. Sistemas conservacionistas na ILP não apresentaram melhorias na qualidade física do solo, com base nos atributos avaliados, em relação aos sistemas convencionais, mas possibilitaram maior armazenamento de água no solo acarretando em benefícios ao desenvolvimento das culturas

Palavras-chave: Atributos físicos, qualidade de solo, sistemas de preparo.

ABSTRAT

Resistance the penetration of roots, relative density and productivity in Latossolo
Bruno submitted the systems of preparation in the crop-livestock integration

Due to economic advantages, the integrated crop-livestock (ICL) system has its area expanding in the South region of Brazil, where dairy or beef cattle is an alternative to winter crops. However, the impact of the animal trampling associated machinery traffic can modify the structure of the soil. The objective of this study was to evaluate the improvement of the physical quality of a Ferralsol subjected to conservation tillage systems in comparison to conventional ones, in ICL. The experiment was conducted in experimental area of the ABC Foundation (Castro-PR). The experiment was constituted by seven soil tillage systems: (i) heavy disking in the winter (HD1); (II) heavy disking in the winter and in summer (HD2); (III) disk plowing (DP); (IV) chisel plow (CP); (v) deep chisel plow (DCP); (vi) soil aerator "Aeromix" (AERO); and (vii) no-tillage (NT). The experimental design was of completely randomized blocks. The following physical attributes were evaluated: (i) penetration resistance (PR); (II) soil water content; (III) soil bulk density in the field (BD); (IV) reference density 200 kPa (RD200) and 1000 kPa (RD1000); and relative density (RD). The biggest values of PR, BD and RD had occurred in NT system, AERO and ESC. However, the soil under such systems presented greater water content in year of drought, proving the beneficial effect of the covering of the ground. The RD200 and the RD1000 were not modified by tillage systems. Conservation tillage systems in ICL did not present improvements in the physical quality of the ground, on the basis of the attributes evaluated, in relation to the conventional systems, but they make possible greater water storage in the ground, with possible beneficial effect to the harvest.

Key words: Physical attributes, quality of soil, systems of preparation.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Implementos utilizados no experimento em integração lavoura-pecuária, em dois anos de avaliação, i – Arado, ii – Grade aradora, iii – escarificador “Asa Laser” – Stara, iv – subsolador “Série Padrão” - Ikeda, v – aerador “Aeromix” – Ikeda e vi – Plantio Direto (Estação Experimental Fundação ABC – Castro, Paraná).	17

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Resistência do solo a penetração de raízes (RP) nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40m, e umidade volumétrica na camada de 0-0,15m de um Latossolo Bruno, submetidos a sistemas de preparo em integração lavoura	21
Tabela 2 Densidade do solo a campo (D_s), densidade de referência após submissão de cargas de 200 kPa (DR_{200}) e 1000 kPa (DR_{1000}) em testes de compressão uniaxial, e grau de compactação com base nas densidades de referência de 200 kPa (DR_{200}) e 1000 kPa (DR_{1000}), nas camadas de 0,05-0,10 e 0,25-0,30 m, em função de sistemas de preparo do solo, no ano de 2008. (Estação Experimental Fundação ABC – Castro, Paraná).	27
Tabela 3 Massa seca da parte aérea de azevém e milho silagem em função de sistemas de preparo do solo na ILP. (Estação Experimental Fundação ABC – Castro, Paraná).	32

SUMÁRIO

	Página
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
1. Introdução.....	12
2. Material e Métodos.....	15
2.1. Área experimental e tratamentos.....	15
2.2. Resistência a penetração.....	17
2.3. Umidade volumétrica.....	18
2.4. Teste de pressão uniaxial e densidade relativa.....	18
2.5. Produtividade de massa seca do azevém e do milho.....	19
3. Resultados e Discussões.....	21
3.1. Resistência a penetração e umidade volumétrica.....	21
3.2. Teste de pressão uniaxial e densidade relativa.....	26
3.3. Produtividade.....	31
5. Conclusões.....	35
6. Referências Bibliográficas	36

1. Introdução

A integração lavoura-pecuária (ILP) trata-se de um sistema integrado de produção que proporciona diversificação de atividades em uma mesma unidade agrícola, onde a utilização do pastejo no período da entressafra (Flores *et al.*, 2007) acarreta maiores vantagens econômicas aos produtores, quando comparadas ao cultivo de culturas anuais de inverno. Entretanto, poucos estudos têm sido realizados sobre os sistemas de manejo do solo neste sistema integrado de produção agrícola em relação ao manejo de uso exclusivo de agricultura ou pecuária (Lanzanova *et al.*, 2007), principalmente sobre a influência deste manejo gerada nos atributos físicos dos solos, havendo a necessidade de gerar e aprimorar mais informações.

Diferentes sistemas de manejo do solo com um conceito mais conservacionista vêm sendo empregados (Tormena *et al.*, 2002) inclusive no sistema de integração lavoura-pecuária para promover melhorias na qualidade física do solo. O sistema plantio direto é uma prática conservacionista que promove uma maior sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas brasileiros (Silva *et al.*, 2000). As modificações ocasionadas por este sistema de preparo do solo interfere de forma menos impactante nos atributos físicos do solo, tais como retenção hídrica e resistência a penetração de raízes.

Portanto, sistemas conservacionistas de preparo do solo neste sistema agrícola, como plantio direto e o plantio direto escarificado têm sido uma alternativa

de manejo, devido à baixa ou nula movimentação do solo, preservando sua estrutura e impedindo o rompimento dos agregados do solo.

Camara & Klein (2005) constataram que a utilização do escarificador em Latossolo Vermelho distrófico reduziu a densidade do solo sob o sistema de manejo no plantio direto, além de aumentar a taxa de infiltração de água e a rugosidade superficial. Este fato evidencia que atributos físicos e hídricos são beneficiados nos sistemas conservacionistas quando comparados a sistemas de preparo convencionais que causam alta desestruturação dos agregados, afetando a porosidade e densidade do solo. Com isso, sistemas porosos responsáveis pela difusão de água e oxigênio no solo ficam comprometidos e, em consequência, o solo fica mais suscetível à compactação (Stone *et al.*, 2002).

A compactação dos solos é um problema que deve ser corrigido nos sistemas agrícolas sob qualquer sistema de manejo do solo, uma vez que limita a absorção de nutrientes devido ao crescimento precário das raízes, proporcionando baixa infiltração e redistribuição de água ao longo do perfil além de diminuir as trocas gasosas, resultado direto do decréscimo da porosidade do solo (Stone *et al.*, 2002; Beutler *et al.*, 2007). Um método largamente utilizado para avaliar a compactação do solo é a resistência a penetração de raízes (RP), efetuada através de penetrômetro (Tormena & Roloff, 1996), parâmetro que expressa se a planta encontra dificuldades durante seu crescimento vegetativo (Beutler & Centurion, 2004), resultando em variações de produtividade. A presença do gado em áreas agrícolas pode ser incluída como efeito compactador de solo quando mal manejada, isso leva a alguns produtores a relutar na implantação de sistemas integrados de

produção como a ILP, pois alegam surgimento de camada compactada (Flores *et al.*, 2007)

Pesquisadores como Tormena *et al.*, (2002), Prado *et al.*, (2002) e Pereira *et al.*, (2002) citam como parâmetros avaliativos da resistência do solo a penetração valores restritivos ao crescimento normal do sistema radicular na faixa entre 1,0 e 2,0 MPa e valores impeditivos acima de 2,0 MPa. Porém, deve-se considerar a umidade do solo no momento da leitura, uma vez que solos com elevados teores de umidade apresentam menores valores de resistência a penetração de raízes (Haveren, 1983). Outro fator a ser avaliado é a classe textural do solo, que influencia nas características que interferem nas condições de surgimento de camadas compactadas (Reichert *et al.*, 2009).

Outro método avaliativo da compactação do solo é realizado pelo teste de Proctor. Porém, uma forma mais simples ainda e menos utilizada em relação o teste de Proctor é o teste de pressão uniaxial, que pode apresentar valores de compactação cerca de 7 e 17% menores que o teste de Proctor, além de ser facilmente reproduzido em condições de campo (Suzuki *et a.*, 2007).

O uso de sistemas de manejo conservacionistas que visam manter as condições físicas do solo mais próximas e semelhantes às condições de um ambiente nativo, aliado as avaliações periódicas das condições físicas do solo agrícola são alternativas capazes de reduzir a formação de camadas compactadas, gerando maiores resultados produtivos além de criar uma consciência ecológica de preservação dos solos entre os adeptos do sistema de integração lavoura-pecuária.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a melhoria da qualidade física do solo por sistemas conservacionistas de preparo em relação aos convencionais, em um

Latossolo Bruno da região dos Campos Gerais do Paraná e manejado em integração lavoura-pecuária.

2. Material e Métodos

2.1. Área experimental e tratamentos

O trabalho foi conduzido no campo experimental da Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, no parque de exposições do município de Castro (PR), nas coordenadas geográficas de 24°47'53"S e 49°57'42" W e altitude de 996 m.

O clima da região é temperado úmido com verão ameno (Cfb, Köppen). A temperatura média anual situa-se entre 17 e 18 °C, sendo as temperaturas mais altas registradas no mês de janeiro, com média mensal entre 21 e 22 °C, e as temperaturas mais baixas no mês de junho, com média mensal entre 13 e 14 °C. A precipitação média anual situa-se entre 1400 e 1600 mm sendo o mês mais chuvoso janeiro com precipitação média de 175 a 200 mm e o mês que apresenta um índice menor de chuvas é agosto com cerca de 75 a 100 mm de precipitação média.

O solo da área foi classificado como Latossolo Bruno distrófico, de textura argilosa, sendo a granulometria até 20 cm de profundidade composta por 439 g kg⁻¹ de argila; 177 g kg⁻¹ de silte e 384 g kg⁻¹ de areia, e M.O. na profundidade de 0-10 cm de 50 g/dm⁻³.

O experimento foi instalado em abril de 2005 e desde então conduzido pela equipe técnica da Fundação ABC, em parceria com a Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Todo o experimento foi cultivado com a sucessão azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) no inverno e milho (*Zea mays* L.) para silagem no verão. Os tratamentos foram constituídos de uma combinação de três sistemas de uso do azevém no inverno com sete sistemas de preparo do solo. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo o sistema de uso do azevém no inverno o fator de parcela e sistema de preparo do solo o fator de subparcela (10,0 × 10,0 m), em quatro repetições.

Os sistemas de uso do azevém no inverno foram:

- i. Azevém para cobertura do solo;
- ii. Azevém para pré-secado (feno);

iii. Azevém para pastejo.

Para o presente estudo, foi selecionado somente o sistema azevém para pastejo, representando uma situação de integração lavoura-pecuária na região. Os pastejos, em número de três a quatro durante os meses de junho, julho e agosto, foram realizados por bovinos de leite, geralmente novilhas de 12 a 18 meses de idade, das raças Holandesa e Jersey. A entrada dos animais ocorria quando o azevém tinha 20 a 25 cm de altura; a saída ocorria quando essa altura foi rebaixada para 10 cm, seguindo os princípios do manejo adequado de pastagens. Entre o último pastejo e a dessecação prévia à semeadura do milho, foi deixado em intervalo de 7 a 15 dias para o rebrote do azevém visando maior produção de fitomassa para a cobertura do solo.

Os sistemas de preparo do solo, cujas fotos dos implementos estão representados na Figura 1, foram:

- i. Preparo convencional com uma gradagem aradora (15 cm de profundidade) e duas niveladoras (10 cm de profundidade), uma vez ao ano, no outono (GA1);
- ii. Preparo convencional com uma gradagem aradora e duas niveladoras, duas vezes ao ano, no outono e primavera (GA2);
- iii. Preparo convencional com uma aração de discos (20 cm de profundidade) e duas gradagens niveladoras, uma vez ao ano, no outono (AD);
- iv. Preparo reduzido com uma escarificação (escarificador “Asa Laser” – Stara) (40 cm de profundidade) e duas gradagens niveladoras, a cada dois anos, no outono (ESC), sendo o último preparo realizado no ano de 2006;
- v. Preparo reduzido com uma subsolagem (subsolador “Série Padrão” - Ikeda) (70 cm de profundidade), a cada dois anos, no outono (SUB), sendo o último preparo realizado no ano de 2006;
- vi. Preparo reduzido com uma aeração (aerador “Aeromix” – Ikeda) (20 cm de profundidade), duas vezes ao ano, no outono e primavera (AERO); e
- vii. Plantio direto (PD).

Todas as demais práticas como semeadura, adubação, controle fitossanitário foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas preconizadas para o cultivo de azevém e milho na região.



Figura 1. Implementos utilizados no experimento em integração lavoura-pecuária, em dois anos de avaliação, i – Arado, ii – Grade aradora, iii – escarificador “Asa Laser” – Stara, iv – subsolador “Série Padrão” - Ikeda, v – aerador “Aeromix” – Ikeda e vi – Plantio Direto (Estação Experimental Fundação ABC – Castro, Paraná).

2.2. Resistência a penetração

Para a avaliação da resistência do solo à penetração de raízes (RP) foi utilizado um penetrômetro eletrônico (Falker PLG1020) equipado com uma haste metálica de 80 cm, cuja ponta possuía um cone de 1,0 cm² de área basal. A introdução da haste no solo era feita através de um orifício de 2 cm de diâmetro, no centro de uma placa metálica de 40 cm × 35 cm que era disposta sobre o solo. Foram avaliados 10 pontos de leitura por parcela, até a profundidade de 40 cm. As leituras de penetrometria foram efetuadas a cada cm percorrido pela haste introduzida no solo. Posteriormente os valores foram transformados em intervalos médios de 10 cm (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) para análise estatística.

As avaliações foram realizadas em março de 2007, com o solo numa condição próxima da capacidade de campo (três dias após uma chuva de 36 mm), e em março de 2008, em uma condição de stress hídrico (três dias após uma chuva de nove mm) com o intuito de avaliar a diferença entre a resistência a penetração em diferentes umidades de acordo com metodologia citada por SILVA *et al.*, (2000).

2.3. Umidade volumétrica

Juntamente com a RP foi determinada a umidade volumétrica na camada de 0-15 cm do solo, através de um aparelho TDR (time domain reflectometry). Foram realizadas 10 leituras por parcela, em pontos distantes a alguns centímetros do ponto de leitura para RP.

2.4. Teste de pressão uniaxial e grau de compactação

Amostras indeformadas de solo das camadas de 5-10 e 15-20 cm de profundidade foram coletadas em anéis cilíndricos de aço inox (5 cm de altura e 5 cm de diâmetro), com auxílio de um amostrador de solo. A coleta foi realizada 30 dias antes da semeadura do milho no ano de 2008, em seis pontos por parcela, respeitando bordadura de 1 metro. Os anéis com amostras foram embalados com plástico filme e transportadas ao laboratório de Física do Solo da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Em cada amostra foi efetuado um toailete com a retirada do excesso de solo da parte superior e inferior do anel, garantido que o volume interno do cilindro e da amostra fossem equivalentes.

A densidade do solo foi determinada após secagem das amostras em estufa de circulação forçada a 105 °C, conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Depois da pesagem, a amostra contida no anel foi retirada e passada numa peneira de 2 mm de malha, para homogeneização. Posteriormente, a amostra foi transferida para outro anel, de volume aproximado de 94,5 cm³ (aproximadamente 7,0 cm de diâmetro e 2,4 cm de altura), cuja abertura inferior estava previamente fechada com uma malha de poliéster. Depois de montado, o conjunto foi colocado para saturar em água durante 24 horas. Após a saturação, foi feita uma toailete do conjunto, retirando-se o excesso de solo rente a borda superior do anel. Posteriormente, as amostras foram submetidas ao teste de pressão uniaxial, realizado em prensa hidráulica constituída de um pistão que comprimia

verticalmente a amostra sobre uma placa porosa. Inicialmente foi aplicada uma carga de 200 kPa e, após 20 minutos para estabilização, foi feita a leitura do deslocamento do pistão, efetuada através de um relógio comparador, a partir da qual foi possível calcular o volume da amostra comprimida.

Adicionalmente, foi aplicada uma carga de 1000 kPa através do mesmo procedimento. Ao final, as amostras foram secadas a 105 °C e pesadas para a determinação de sua massa, cujo valor foi utilizado para a determinação da densidade após aplicação de 200 kPa e 1000 kPa de carga.

O grau de compactação (GC) do solo foi obtido através da seguinte fórmula (Suzuki et al., 2007; Reichert et al., 2009):

$$GC = 100 D_s / D_r$$

Onde:

D_s- Densidade do solo à campo, determinada através da metodologia proposta pela EMBRAPA (1997);

D_r - Densidade de referência, ou seja, após a aplicação de 200 kPa (DR₂₀₀) ou 1000 kPa (DR₁₀₀₀).

2.5. Produtividade de massa seca do azevém e milho

A produtividade de massa seca da parte aérea de azevém foi avaliada um dia antes de cada pastejo, em duas áreas de 0,5 × 0,5 m por parcela. As plantas foram cortadas rente ao solo e o material verde coletado foi pesado. Uma sub-amostra levada ao laboratório da Fundação ABC e foi seca em estufa (65 °C) para determinação da massa seca. A produção total de massa seca foi determinada pela soma dos valores de massa seca antes de cada pastejo.

A produtividade de massa seca da parte aérea de milho foi avaliada por ocasião do florescimento. Em duas linhas, foram coletadas cinco plantas contíguas. As 10 plantas foram pesadas e posteriormente picadas as três plantas com peso mais próximo da média e usadas para a determinação da massa seca. A produtividade de massa seca foi determinada pela multiplicação do peso médio seco de cada planta pela população de plantas, cujo dado foi avaliado previamente.

A avaliação de massa seca das culturas foi feita em duas safras de inverno (2007 e 2008) e duas de verão (2006/07 e 2007/08).

Todos os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

3. Resultados e Discussão

3.1. Resistência a penetração e umidade volumétrica

De uma maneira geral, os maiores valores de resistência a penetração de raízes ocorreram entre 0,10 e 0,30 m de profundidade, tanto em 2007 como em 2008 (Tabela 1). Tal fato está relacionado à presença mais concentrada de matéria orgânica nas camadas mais superficiais do perfil (Ciotta *et al.*, 2003), cujo efeito esponja reduz a resistência a penetração das raízes.

Tabela 1. Resistência do solo a penetração de raízes (RP) nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40m, e umidade volumétrica na camada de 0-0,15m de um Latossolo Bruno, submetidos a sistemas de preparo em integração lavoura-pecuária, em dois anos de avaliação, após a colheita do milho. (Estação Experimental Fundação ABC – Castro, Paraná).

Sistemas de preparo do solo ⁽¹⁾	Resistência a penetração (MPa)				Umidade Volumétrica (m ³ m ⁻³)
	0-0,10m	0,10-0,20m	0,20-0,30m	0,30-0,40m	
-----2007-----					
GA1	0,95 ab ⁽²⁾	1,49 abc	1,57 a	1,33abc	0,37 b
GA2	0,71 b	1,25 bc	1,47 ab	1,27 bc	0,38 b
AD	0,93 ab	1,20 c	1,22 b	1,16 c	0,35 b
ESC	1,08 a	1,68 a	1,77 a	1,52 a	0,41 ab
SUB	1,04 a	1,56 ab	1,47 ab	1,31 abc	0,43 ab
AERO	0,83 ab	1,45 abc	1,60 a	1,39 ab	0,40 ab
PD	1,14a	1,76 a	1,71 a	1,40 ab	0,47 a
Coefficiente de Variação (%)	14,10	9,60	8,60	7,40	9,00
-----2008-----					
GA1	2,70 a	3,69 ab	2,81 ab	1,95 a	0,17 bc
GA2	2,63 a	3,93 a	2,77 ab	2,00 a	0,14 d
AD	2,87 a	3,36 ab	2,64 ab	1,93 a	0,15 cd
ESC	2,36 a	3,05 b	2,66 ab	1,99 a	0,16 bc
SUB	2,42 a	3,05 b	2,42 b	1,97 a	0,17 b
AERO	2,74 a	3,83 a	3,04 a	2,02 a	0,18 ab
PD	2,86 a	3,86 a	2,77 ab	2,03 a	0,19 a
Coefficiente de Variação (%)	12,70	8,30	6,90	5,40	3,90

⁽¹⁾ GA1 – grade aradora uma vez ao ano, no inverno; GA2 – grade aradora duas vezes ao ano, no inverno e no verão; AD – arado de disco uma vez ao ano, no inverno; ESC – escarificador “Asa Laser” a cada dois anos, no inverno; SUB – subsolador “Ikeda” a cada dois anos no inverno; AERO–aerador “Aeromix” duas vezes ao ano, no inverno e no verão e PD–plantio direto.

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Ciotta *et al.*, (2003), trabalhando com Latossolo argiloso em sistema de plantio direto, constatou um aumento de 29% no carbono orgânico na camada de 0-0,06 m quando comparado ao sistema de preparo convencional. Este aumento foi oriundo do não revolvimento do solo e preservação dos resíduos culturais em superfície.

O sistema PD apresentou os maiores valores de RP em todas as camadas avaliadas, principalmente no ano de 2007, onde não houve condições de seca. Isso está associado a não mobilização do solo por implementos e ao tráfego intenso de máquinas agrícolas, favorecendo a compactação do solo (Pereira *et al.*, 2002).

O tratamento AERO, onde diversas hastes atuam perpendicularmente ao solo à medida que o equipamento é tracionado, apresentou o resultado entre os equipamentos avaliados em preparo reduzido, como sendo mais eficaz na descompactação de solos na primeira camada avaliada e na umidade $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Os demais sistemas de preparo reduzido ESC e SUB apresentaram, no primeiro ano de avaliação, valores de resistência à penetração de raízes maiores quando comparados ao sistema AERO, principalmente nas duas camadas mais superficiais avaliadas. Em contrapartida, seus valores foram inferiores quando comparados ao sistema PD. Entretanto, no segundo ano de avaliação os sistemas de preparo reduzido ESC e SUB apresentaram, na profundidade avaliada 10-20 cm, valores de resistência a penetração inferiores aos sistemas de manejo GA2, AERO e PD. Tal fato está associado á desagregação intermediária e em camadas mais profundas dos sistemas SUB e ESC quando comparados á praticamente nula mobilidade no sistema PD e a maior desagregação do implemento AERO e GA2 em camada superficial.

Tormena *et al.*,(2004) também obtiveram resultados de RP menores no plantio direto escarificado quando comparado ao plantio direto, demonstrando a eficácia destes equipamentos no processo de descompactação.

Estes sistemas de preparo reduzido, que utilizam equipamentos de baixa mobilização tendem a mudar a estrutura do solo, alterando a rede de poros, fazendo com que a água percole facilmente, conseqüentemente aumentando a retenção hídrica no solo. Em contrapartida, o sistema plantio direto mantém os resíduos culturais em sua superfície praticamente com uma mobilidade nula da sua estrutura.

Aliado a este fato, constata-se o efeito da matéria orgânica, material de baixa densidade (Silva *et al.*, 2005) que possui grau de deformação elevado, além de proporcionar uma maior umidade atenua o efeito da deformação do solo (Braida *et al.*, 2006) fazendo com que nesta profundidade apresente os menores valores de RP.

Para os sistemas de preparo convencional do solo, os resultados apresentados demonstram que a resistência a penetração de raízes foi menor em todas as profundidades avaliadas no primeiro ano agrícola, especialmente com o uso do arado de discos (AD) de 0-40 cm e grade aradora (GA2) na camada 0-10cm. Entretanto, embora os coeficientes de variação entre os tratamentos não foram tão expressivos quanto no primeiro ano, os resultados para a RP foram inferiores nestes sistemas de manejo somente nas profundidades mais elevadas, no segundo ano avaliado.

O tratamento GA1 com umidade de $0,37 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ proporcionou a menor RP quando comparado ao PD, pois a mobilização do solo é intensificada pela gradagem que desestrutura as camadas do solo onde atuam os implementos. O sistema de preparo convencional GA2 apresentou menor RP com umidade de $0,38 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, uma vez que o processo de gradagem é realizado duas vezes ao ano. Logo o tratamento AD, na umidade de $0,35 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ apresentou resultados inferiores de RP quando comparado aos tratamentos conservacionistas exceto para o AERO, demonstrando que estes equipamentos de preparo de solo diminuem a RP devido ao revolvimento do solo e, no caso do arado de disco, da inversão das camadas de solo.

Comparando-se os resultados obtidos entre as profundidades avaliadas, observou-se que a camada mais superficial não apresentou diferenças estatísticas quanto a RP em ambos os anos avaliados, com exceção do tratamento GA2 no ano de 2007. Entretanto, o segundo ano de avaliação apresentou valores de RP entre 2,36 e 2,87 MPa, considerados impeditivos ao crescimento radicular (Tormena e Roloff, 1996).

Estes valores muito próximos, aliados a baixa umidade do solo no ano de 2008, sugerem que o pisoteio animal é responsável por esta condição de homogeneização dos sistemas de preparo e manejo do solo. Em ambos os anos avaliados, os sistemas de preparo reduzido que utilizam implementos para

descompactação, apresentaram menores valores de RP quando comparados ao PD. Mesmo os preparos convencionais indicaram redução, principalmente em GA1 e GA2, porém não significativa, com exceção do AD que obteve valores similares ao PD.

Na camada de 0,10-0,20m, o sistema PD apresentou à maior RP, mantendo a mesma tendência nas demais camadas avaliadas. Os demais sistemas de preparo reduzido apresentaram decréscimos nos valores de RP, comprovando o efeito benéfico nas propriedades físicas do solo quanto à descompactação efetuada por estes implementos.

Tal fato fica evidente no tratamento AERO, no ano de 2007 onde a profundidade efetiva de trabalho se restringe até os primeiros 0,20 m, tornando este implemento ideal para descompactação em profundidades mais superficiais. E nos tratamentos ESC e SUB, no ano de 2008, onde a eficácia na descompactação do solo por estes implementos esta relacionada com a profundidade de atuação de 0,40 e 0,70m respectivamente, concordando com Camara & Klein (2005) que descrevem as melhorias da escarificação na qualidade física do solo.

A exceção entre os preparos reduzidos foi tratamento AERO que apresentou valores similares ao PD, evidenciado que, em condições de estresse hídrico o efeito do implemento torna-se nulo. Situação similar foi constatada por Imhoff *et al.*, 2000 avaliando pastagens, onde as alterações de umidade do solo aliada a diferentes densidades, causaram alterações nos valores de RP.

A mesma tendência foi observada nos sistemas de preparo convencionais do solo, onde a profundidade efetiva das operações de gradagem é de até 0,15m de profundidade. Comparando-se as profundidades avaliadas, nesta camada observaram-se os maiores valores de RP nos tratamentos SUB e PD, no ano de 2007 e em todos os tratamentos avaliados, no ano de 2008. Os tratamentos GA1 e GA2, dos quais utilizam equipamentos atuantes até a profundidade de 0,15m, apresentaram em condições de seca valores próximos e superiores ao tratamento sem nenhum revolvimento (PD), demonstrando que o efeito gerado pelo implemento não foi constatado, quando comparado com condições de solo friável, diferente ao AD que apresentou redução dos valores devido ao seu corte a profundidade de 0,20m foi o melhor resultado dentro os preparos convencionais.

Em camadas mais profundas, 0,20-0,30m e 0,30-0,40, a maioria dos sistemas de preparo reduzido não diferiu significativamente, exceto o tratamento SUB no ano de 2008. Uma vez que estes implementos de preparo reduzido atuam em uma profundidade de trabalho de até 0,20m, com ressalva ao ESC e SUB, cujos limites são de 0,40m e 0,70m, respectivamente, seu comportamento quanto às propriedades físicas do solo só poderiam ser semelhantes. Neste caso o único implemento que obteve resposta diferenciada foi o SUB, pois este equipamento é o mais funcional em profundidade.

Os preparos convencionais de solo, que apesar da profundidade efetiva de trabalho de seus implementos não atenderem as camadas mais profundas, constatou-se uma tendência a redução, embora não significativa, entre GA2 quando comparado a GA1 e AD quando comparado a GA2. O AERO segue apresentado o maior resultado de RP bem como na camada anterior, que deve estar atrelado ao baixo índice de eficácia deste equipamento nesta profundidade.

No ano agrícola de 2008, na última camada analisada verificou-se que, apesar de os preparos reduzidos continuarem manifestando-se ordenadamente neste ano ao longo da profundidade, a falta de umidade contribuiu para alterações serem menos evidenciadas. Intensas práticas de cultivo efetuadas ao longo de uma série histórica realizadas de forma incorreta, antecessoras a instalação deste experimento, inclusive em manejos conservacionistas, podem ter tornado este solo deficiente na questão estrutural, em trabalhos que excederam os limites de friabilidade, ora submetido à agricultura ou destinado para bovinocultura leiteira.

Este fato propiciou a criação de condições diversificadas em anos seguintes, o mesmo foi observado por Pereira *et al.*, (2002) na cultura do milho onde em anos anteriores os atributos físicos haviam sofrido detrimento, resultando em anos seguintes condições adversas como ocorreu neste trabalho na camada de 0,20-0,30 m e na camada de 0,30-0,40m, aliado a baixos teores de água no solo.

Os preparos convencionais também apresentaram resultados quanto a RP semelhantes entre si, exceto no tratamento AD que se diferiu estatisticamente dos demais. Este fato pode estar atribuído ao revolvimento anual da camada agricultável, diminuindo valores de RP. Entretanto, este sistema de manejo do solo atuando por diversos anos, toneladas de solo são revolvidas fragilizando os teores

de matéria orgânica, bem como demais atributos físicos e hídricos, devido à falta de estrutura e uma deficiente rede porosa do perfil (Silva *et al.*, 2005).

Os resultados de RP corroboram com os dados obtidos por Marchão *et al.*, (2007), demonstrando que este atributo físico é sensível as alterações efetuadas pelos diferentes sistemas de manejo na ILP. Imhoff, Silva e Tormena, (2000) comentam que é um dos indicadores mais eficazes para verificar estruturação após a entrada animal.

Referente aos valores impeditivos de RP considerado de 1,0 MPa, os resultados concordando com os dados de Lanzanova *et al.*, (2007) os quais podem representar restrições significativas ao crescimento radicular, mesmo em condições adequadas de umidade. Mas considerando valores críticos de RP acima de 2,0 MPa (Tormena & Roloff, 1996) constata-se que nenhum dos tratamentos apresenta restrições quanto ao crescimento radicular das culturas.

Com relação à umidade volumétrica avaliada, o ano de 2008 apresentou valores variando entre 0,14 a 0,19 m^3m^{-3} cerca de 50% inferior aos valores encontrados no ano de 2007, que variaram entre 0,37 e 0,47 m^3m^{-3} . Estes valores inferem o período de escassez de chuvas durante as avaliações de RP, que são altamente dependentes da quantidade de água do sistema (Pereira *et al.*, 2002).

3.2. Aplicação de cargas para obtenção de densidade relativa

A avaliação da densidade de solo a campo (D_s), densidade de referência após submissão de cargas de 200 kPa (DR_{200}) e 1000 kPa (DR_{1000}) e o grau de compactação, realizados apenas no ano de 2008, apresentados na Tabela 2, indicaram que os efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre esses atributos não foram tão expressivos, uma vez que a textura era semelhante em toda a área do experimento.

Os demais tratamentos de preparo reduzido de solo como o ESC, SUB e AERO foram, em valor absoluto, inferiores quando comparados ao tratamento PD, assim como nos valores de RP apresentados anteriormente. Este fato demonstra que o efeito destes implementos, responsáveis pela descompactação do solo, minimizam o adensamento causado por máquinas agrícolas e o pisoteio animal.

Contudo, a utilização bianual destes implementos, ocorrida anteriormente no ano de 2006, contribuiu para o aumento da Ds e, possivelmente da RP, devido ao curto efeito de duração dos implementos sobre as condições físicas do solo. Uma utilização anual destes implementos poderia proporcionar melhores condições para o crescimento das raízes das culturas.

Tabela 2. Densidade do solo a campo (Ds), densidade de referência após submissão de cargas de 200 kPa (DR₂₀₀) e 1000 kPa (DR₁₀₀₀) em testes de compressão uniaxial, e densidade relativa com base nas densidades de referência de 200 kPa (DR₂₀₀) e 1000 kPa (DR₁₀₀₀), nas camadas de 0,05-0,10 e 0,25-0,30 m, em função de sistemas de preparo do solo, no ano de 2008. (Estação Experimental Fundação ABC – Castro, Paraná).

Sistema de preparo	Ds (Mg m ⁻³)	DR ₂₀₀ (Mg m ⁻³)	DR ₂₀₀ (%)	DR ₁₀₀₀ (Mg m ⁻³)	DR ₁₀₀₀ (%)
----- 0,05-0,10 m -----					
GA1	1,01 ab	1,32 a	76,44 ab	1,59 a	63,65 ab
GA2	0,96 d	1,29 a	74,16 b	1,55 a	61,86 b
AD	0,98 bcd	1,29 a	75,83 ab	1,55 a	63,06 ab
ESC	0,99 abcd	1,28 a	77,41 ab	1,54 a	64,18 ab
SUB	0,96 cd	1,28 a	75,33 b	1,53 a	62,94 ab
AERO	1,00 abc	1,30 a	77,03 ab	1,58 a	63,39 ab
PD	1,03 a	1,30 a	78,99 a	1,55 a	66,32 a
C.V.(%)	1,53		1,67		1,96
----- 0,25-0,30 m -----					
GA1	0,91 b	1,28 a	71,15 b	1,57 a	58,09 b
GA2	0,96 a	1,25 a	76,63 a	1,52 a	62,95 a
AD	0,94 ab	1,24 a	75,59 a	1,53 a	61,36 a
ESC	0,98 a	1,28 a	76,57 a	1,56 a	62,48 a
SUB	0,96 a	1,26 a	75,98 a	1,53 a	62,50 a
AERO	0,98 a	1,29 a	76,24 a	1,57 a	62,47 a
PD	0,98 a	1,30 a	75,91 a	1,56 a	63,00 a
C.V.(%)	1,87		1,35		1,74

(1) GA1 – grade aradora uma vez ao ano, no inverno; GA2 – grade aradora duas vezes ao ano, no inverno e no verão; AD – arado de disco uma vez ao ano, no inverno; ESC – escarificador “Asa Laser” a cada dois anos, no inverno; SUB – subsolador “Ikeda” a cada dois anos, no inverno; AERO – aerador “Aeromix” duas vezes ao ano, no inverno e no verão; e PD – plantio direto. (2) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Quanto os tratamentos convencionais de preparo de solo, os valores da Ds foram significativamente inferiores quando comparados ao sistema de preparo sem revolvimento (PD), nos tratamentos GA2 e AD na camada mais superficial e GA1 na

camada mais profunda, embora, em valor absoluto, todos os tratamentos convencionais foram inferiores comparados ao PD.

Assim como na RP, os menores valores de Ds são atribuídos ao tratamento GA2 demonstrando que seu maior número de operações agrícolas causa alta desagregação do solo, reduzindo os valores deste atributo físico do solo.

Contudo as menores umidades estão relacionadas a este tipo de preparo devido ao esboroamento do solo, dificultando a retenção hídrica pelos poros e pela matéria orgânica, uma vez que esta fica mais exposta à decomposição e é também responsável pela retenção de umidade no solo.

Os valores de Ds obtidos neste experimento discordam de Costa *et al.* (2003) cujos valores não apresentaram diferenças estatísticas entre os sistemas de preparo do solo ao trabalharem com a sucessão agrícola trigo/soja em Latossolo Bruno alumínico, na profundidade de 0,05-0,10 m.

Na segunda camada de 0,25-0,30m avaliada observou que, os valores de Ds não variaram entre os métodos de preparo, com exceção do tratamento GA1. Este fato ocorreu uma vez que os implementos atuam em profundidades inferiores a camada avaliada, como é o caso dos tratamentos GA1, GA2, AD e AERO que mobilizam a faixa de 0,15-0,20m. A exceção ocorre apenas nos tratamentos AD, cujo valor da Ds foi transitório entre os preparos reduzidos e os convencionais, e no tratamento GA1 que obteve a menor Ds.

Este fato ocorreu embora este implemento não atue nesta profundidade. Fato similar foi observado por Prado *et al.*, (2002), que avaliando densidades, notou que a mesma não apresentava interação quando relacionada com profundidade.

Quanto as densidades de referência de 200 kPa e 1000 kPa em teste de compressão uniaxial, o teste estatístico foi realizado apenas no intuito de verificar a homogeneidade do solo, pois estas diferenças mostrariam apenas que o solo avaliado representa uma diferente classe de solo ou uma textura de solo muito diferenciada.

Na avaliação de densidade relativa (DR) a uma pressão exercida de 200 KPa, simulou-se uma força aplicada ao solo como um implemento de arrasto ou equipamento motorizado, ambos de baixo peso quando comparados a máquinas como pulverizadores e colhedeiças autopropelidas. Na camada superficial de 0,05-

0,10m, constatou-se uma variação de 4,83% na DR entre os tratamentos mais discrepantes que foram o PD e GA2. Neste caso, ambos são os manejos que mais representam sua classe dita conservacionista, no caso do PD e convencional, no caso do GA2 e, portanto, o teste de pressão uniaxial apresentou resultados concisos quanto ao DR. Assim como em demais situações, atribui-se ao PD o aumento de atributos físicos como RP, Ds e DR devido ao não revolvimento do solo.

Verificou-se neste experimento que, através dos valores obtidos de RP, Ds e DR, os preparos reduzidos apresentaram menores valores absolutos quando comparados aos tratamentos sem utilização de implementos, principalmente do PD.

Este resultado demonstra a eficiência destes implementos quando a redução de densidade e de camada compactada. Os resultados obtidos concordam com Camara & Klein (2005) onde em seu estudo, o tratamento ESC apresentou menores resultados quando comparados ao PD em pouca profundidade ao longo de apenas um ciclo cultural. Uma ressalva em especial deve ser atribuída ao tratamento SUB que apresentou resultados positivos na descompactação nesta camada, mantendo os valores de umidade do solo próximo a valores do PD.

Outro tratamento que apresentou variação estatística foi o GA2, demonstrando seu efeito mais agressivo na utilização anual de grades e arados em diferentes épocas, refletindo diretamente nos atributos físicos do solo. Já os demais preparos convencionais apresentaram resultados similares a RP na camada 0-0,10m, onde os valores obtidos foram inferiores ao PD, contudo o resultado mais discrepante está relacionado ao tratamento com maior número de entrada de implementos.

Já na camada mais profunda avaliada de 0,25-0,30m, para o DR a 200 KPa, notou-se uma variação de Ds na ordem de 5,48%, pouco maior que a observada na camada mais superficial. Entre os tratamentos avaliados, não houve diferença, com exceção ao tratamento GA1. Este resultado foi similar aos observados nos valores de Ds nesta profundidade, uma vez que o cálculo é uma relação direta da Ds, demonstrando que, nesta carga aplicada, os efeitos dos implementos foram pouco atuantes nesta profundidade.

Contudo os dados obtidos de DR a 200 KPa discordam dos valores obtidos por Camara & Klein (2005) onde, trabalhando em Latossolo Vermelho distrófico,

verificaram o efeito benéfico de equipamentos como escarificadores em profundidade, pois apresentaram melhoria na Ds, diferente dos resultados obtidos neste experimento.

Sob uma carga de 1000 KPa, os resultados obtidos na DR na camada mais superficial analisada de 0,05-0,10m, constatou-se uma variação de Ds em torno de 4,46%. Observou-se um aumento nesta variação quando comparados, em mesma profundidade, mas sob uma carga de 200 KPa, atribuímos esta variação ao aumento da carga aplicada.

Contatou-se resultados similares aos valores de RP e DR a 200 KPa, onde o tratamento PD apresentou maior DR, devido ao seu acúmulo de cargas e o não revolvimento do solo, constatando-se que o sistema de manejo interfere nos fatores físicos, químicos e biológicos do solo. Sendo o PD uma forma de manejo que tende a aumentar a Ds do solo, seu efeito sob a resistência de penetração de raízes também aumenta, entretanto sob a produtividade este efeito é inverso, resultado dos aumentos do teor de umidade neste sistema de manejo (Stone & Moreira, 2000). Fato similar foi observado por Beutler *et al.*, (2009) onde trabalhando com Argissolo Vermelho-Amarelo observaram que, com o tráfego de máquinas agrícolas, ocorreu um aumento da densidade do solo bem como aumento nos valores de resistência a penetração de raízes.

De acordo com Flowers & Lal (1998), o principal motivo da compactação em solos agricultáveis é à entrada de máquinas nas operações de preparo do solo, tratos culturais e colheita mecanizada, corroborando com os dados obtidos onde o aumento da Ds está relacionado à entrada de máquinas agrícolas e pisoteio animal em áreas onde não há revolvimento mecânico no solo.

Os tratamentos com preparo reduzido apresentam redução nos valores de DR quando comparados ao PD. Destes, tratamento ESC apresentou, mesmo em camada mais superficial, uma descompactação mais acentuada quando comparado ao tratamento SUB, como se observou em pressões mais acentuadas e RP. Já o tratamento AERO apresentou valores entre os tratamentos ESC e SUB e inferiores quando comparado ao tratamento sem revolvimento (PD), embora estes tratamentos com preparos reduzidos não diferiram-se estatisticamente.

Quanto aos valores de DR a 1000 KPa, bem como valores de RP e GC a 200 KPa, os preparos conservacionistas tendem, em camadas superficiais seguir a mesma ordem dos resultados entre os tratamentos avaliados. Os tratamentos com maior desagregação GA1 e GA2 apresentaram resultados inferiores ao PD devido ao efeito cisalhante destes implementos no solo, sendo o mais desagregador o GA2, devido ao número de utilizações deste implemento ao longo do ano. Já o tratamento AD apresentou valores similares ao tratamento AERO, contudo o funcionamento deste implemento, ao inverter uma camada de solo, resultou em decréscimo no GC.

Utilizando a mesma carga, porém em maiores profundidades, mensurou-se uma variação de Ds oscilando entre 37,00 a 41,91%, evidenciando que em ambas as cargas aplicadas (200 KPa e 1000 KPa) a variação de Ds em profundidade é mais elevada. Nesta profundidade, os resultados obtidos sob uma carga aplicada de 1000 KPa apresentaram-se mais concisos uma vez que, tratamentos como ESC e SUB foram inferiores aos observados no PD, mesmo que estatisticamente estes valores foram similares. Resultado diferente os observados nos valores nesta mesma profundidade sob uma carga de 200 KPa.

Os preparos convencionais apresentaram resultados inferiores quando comparado ao PD, porém estes implementos não apresentam profundidade efetiva de atuação. Assim como em 200 KPa, o tratamento GA1 foi o que apresentou resultado diferenciado, demonstrando que, o valor obtido de GC em maiores profundidades, está mais relacionado com a Ds obtida do que com a carga aplicada.

3.3. Produtividade

O sistema de uso do solo não alterou a produtividade e massa seca do azevém em ambos os anos avaliados (Tabela 3).

No ano de 2007 ocorreu um declínio de 50% nos valores de massa seca do azevém, uma vez que a umidade do solo afeta de maneira direta o crescimento desta cultura. Este decréscimo foi observado também nas medidas de umidade 2007 para 2008.

Para a produtividade do milho no ano de 2007 constatou-se que o tratamento SUB proporcionou melhor produtividade de massa seca, em relação ao

uso da grade (GA2). Uma vez que o subsolador atua à uma profundidade de até 0,70m proporciona melhores condições de desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, favorecendo a cultura do milho cujas raízes atingem grandes profundidades.

Tabela 3. Produtividade de massa seca da parte aérea de azevém e milho silagem em função de sistemas de preparo do solo na integração lavoura pecuária. (Estação Experimental Fundação ABC – Castro, Paraná).

Sistemas de preparo do solo	Massa seca de Azevém		Massa seca do Milho	
	(Mg ha ⁻¹)		(Mg ha ⁻¹)	
	2007	2008	2007	2008
GA1	4,24 a	2,62 a	18,02 ab	16,71 ab
GA2	4,07a	2,30 a	16,22 b	17,09 ab
AD	4,72 a	2,24 a	19,41 ab	13,73 b
ESC	4,72 a	2,03 a	17,57 ab	16,70 ab
SUB	4,52 a	3,09 a	20,32 a	15,68 ab
AERO	4,28 a	1,90 a	18,46 ab	15,37 ab
PD	4,16 a	2,18 a	19,82 ab	17,44 a
Coefficiente de Variação (%)	21,20	50,90	9,20	10,00

(1) GA1 – grade aradora uma vez ao ano, no inverno; GA2 – grade aradora duas vezes ao ano, no inverno e no verão; AD – arado de disco uma vez ao ano, no inverno; ESC – escarificador “Asa Laser” a cada dois anos, no inverno; SUB – subsolador “Ikeda” a cada dois anos, no inverno; AERO – aerador “Aeromix” duas vezes ao ano, no inverno e no verão; e PD – plantio direto. (2) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fato similar pode ser visualizado nos valores de RP onde, comparado ao tratamento PD, ocorreu uma significativa redução nos valores obtidos. Contudo a escarificação obteve resultados inferiores quando a produtividade, comparada a tratamento sem nenhum tipo de revolvimento (PD). Neste caso, a escarificação apesar de efetuar melhorias na qualidade física do solo quanto à redução de RP, aumento da rugosidade superficial e melhora na porosidade total como evidencia Secco & Reinert, (1997) não influenciou na produtividade.

Situação similar foi constatada por Camara & Klein, (2005) onde componentes de rendimento de grãos da cultura da soja e a produtividade não foram afetados pelo sistema de manejo do solo, especificamente o preparo reduzido conduzido com escarificação.

Ao contrário do sistema de uso do solo mais conservacionista, o tratamento GA2 é o que proporciona maior desestruturação das condições físicas do solo, devido a duas arações e uma gradagem. Este tratamento obteve os menores valores de RP e as menores taxas de umidade volumétrica fazendo com que a cultura do milho respondesse com os menores rendimentos em massa, devido à alta desestruturação do solo, aliada a taxa de decomposição mais elevada da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, reduziu a quantidade de nutrientes disponíveis no sistema.

Resultados similares foram encontrados Falleiro *et al.*, (2003), demonstrando que sistemas com revolvimento mais elevado causam decréscimo nas propriedades químicas e físicas do solo interferindo na produtividade das culturas.

No ano de 2008, onde o déficit hídrico foi pronunciado, pode-se constatar que o tratamento mais conservacionista PD foi o que obteve o melhor resultado em produtividade. Este fato está ligado à maior taxa de retenção hídrica que resulta em maior umidade do solo, mesmo tendo apresentado os maiores valores de RP.

Sistemas de preparo do solo utilizados sem controle da umidade podem provocar um aumento da área compactada, reduzindo a taxa de infiltração e taxa de umidade do solo, comprometendo a produtividade (Secco *et al.*, 2004). Suzuki *et al.*, (2007) analisando a cultura da soja obteve resultados que corroboram com os obtidos neste experimento evidenciando maior rendimento obtido no tratamento PD, mesmo com os maiores graus de compactação. Este fato evidencia que o PD trata-se de um sistema conservacionista que acumula maior teor de água, influenciando diretamente na produtividade apesar destes fatores físicos apresentarem os maiores índices como já descritos anteriormente. Estes dados corroboram com os dados apresentados por Beutler *et al.*, (2005) onde a densidade relativa do solo obtida com teste de Proctor, influenciada pelo conteúdo de água no solo, alterou a produtividade.

Demais tratamentos não demonstraram variação, nem mesmo o preparo reduzido com uso de escarificadores (ESC) que havia apresentado considerável redução nos valores de RP e boas taxas de umidade no solo. Resultados similares foram encontrados por Secco *et al.*, (2004) trabalhando por oito anos com este equipamento na cultura da soja não obteve resultados diferenciados quanto a

produtividade. Contrariando estes dados, Secco & Reinert (1997) obtiveram melhores resultados do plantio escarificado em relação ao PD.

Outros tratamentos de preparo convencional como GA1 e GA2 não obtiveram diferenciação, fato que pode estar vinculado á falta de precipitação, aliado ao pisoteio animal em solo seco, com exceção apenas do tratamento AD que, nesta situação, além de ter apresentado redução de RP devido a sua inversão de camadas, apresentou também a menor produtividade na cultura do milho. Este fato pode estar relacionado ao maior esboroamento do solo durante a passagem dos discos e aos resíduos culturais ficarem misturados ao solo próximo a superfície, causando mudanças na estrutura do solo e declínio nos fatores químicos do solo como teor de matéria orgânica, alterando produtividade (Falleiro *et al.*,2003).

4. Conclusões

Os sistemas de preparo reduzido como ESC, SUB e AERO apresentaram melhorias na qualidade física do solo e no teor de umidade do solo quando comparados ao preparo convencional do solo.

Atributos físicos do solo como RP, Ds e DR foram afetados pelo manejo do solo, onde os sistemas conservacionistas obtiveram os maiores índices quando comparados aos sistemas convencionais, contudo apresentou melhoria no incremento de produtividade, principalmente o PD.

A produtividade de matéria seca do azevém não foi alterada com o manejo do solo, enquanto que a produtividade de matéria seca do milho foi inferior nos sistemas com maior revolvimento do solo.

5. Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, J.A. ; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeito da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol.25, n.3, p.717-723, 2001.

BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 39, n.6, p.581-588, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; FREDDI, O.S.; SOUZA NETO, E.L.; LEONEL, C.L.; SILVA, A.P. Traffic soil compaction of an oxisol related to soybean development and yield. **Sci. Agri.** vol. 64, n. 6, p. 608- 615, 2007.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; MENGATTO, L.H.; MENGATTO, L.H.; ALVES, J.B.; WAGNER, G.P.C. Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, vol. 31, n. 2, p. 359-364, 2009.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

CAMARA, R.K.& KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, vol. 35, n. 4, p.813-819, 2005.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M. V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, vol. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 27, p. 527-535, 2003.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A. & FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 27, p. 1097-1104, 2003.

FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.D.B. & FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto e integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 31, p.771-780, 2007.

FLOWERS, M.D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Soil & Tillage Research**, vol.48, p.21-35, 1998.

HAVEREN, B.B. van. Soil Bulk density as influenced by grazing intensity and soil type on a shortgrass prairie site. **Journal of Range Management**, vol. 36, n.5, p. 586- 588, 1983.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P. & TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 35, n.7, p. 1493- 1500, 2000.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de Integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.31, p.1131-1140, 2007.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, vol. 1, p.277-294, 1985.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; SÁ, M. A.C.; VILELA, L. & BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 42, n. 6, p.873-882, 2007.

PEREIRA, J.O.; SIQUEIRA, J.A.C.; URIBE-OPAZO, M.A.; SILVA, S.L. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 6, n. 1, p.171-174, 2002.

PRADO, R.M.; ROQUE, C.G. & SOUZA, Z.M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 37, n. 12, p. 1795-1801, 2002.

Reichert, J.M.; Suzuki, L.E.A.S.; Reinert, D.J.; Horn, R.; Hakansson, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, vol. 102, p. 242, 254, 2009.

SECCO, D.; REINERT, D.J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-escuro sob PD. **Engenharia Agrícola**, vol.16, n. 3, p.52-61, 1997.

SECCO, D.; REINERT, J.; REICHERT, J.M.; DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, vol. 28, p.797-804, 2004.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, vol. 35, n.3, 2005.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 35 n. 12, p.2485-2492, 2000.

STONE, L.F.; GUIMARAES, C.M. & MOREIRA, J. A. A.Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

STONE, L.F.& MOREIRA, J.A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. & GOLÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob

diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, vol. 59, p. 795-801, 2002.

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

TORMENA, C.A. & ROLOFF, G. Dinâmica da resistência a penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, vol. 20, p.333-339, 1996.