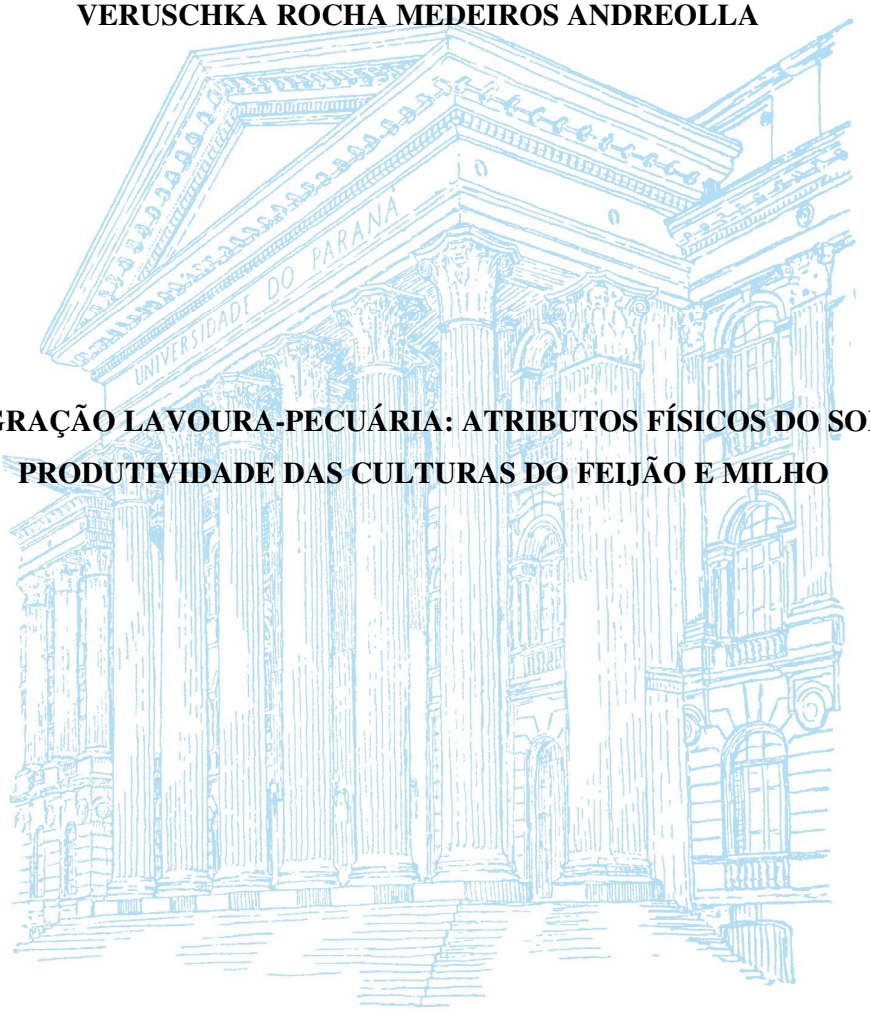
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

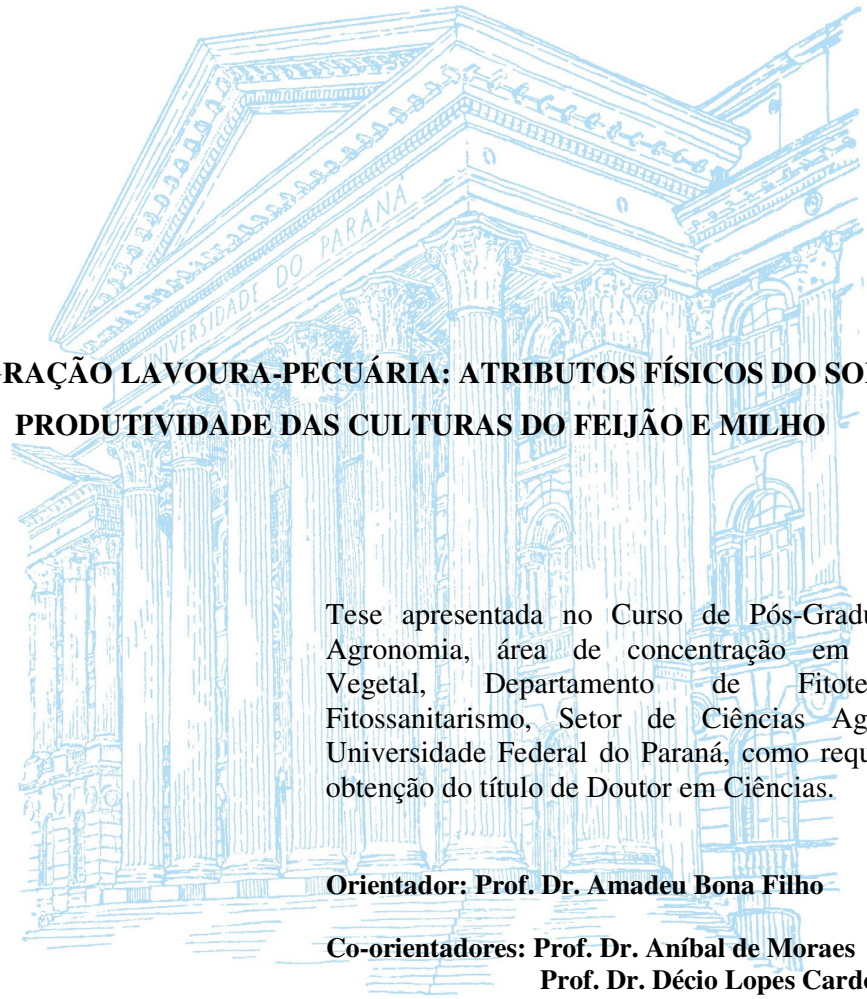
VERUSCHKA ROCHA MEDEIROS ANDREOLLA



INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DO FEIJÃO E MILHO

CURITIBA
2010

VERUSCHKA ROCHA MEDEIROS ANDREOLLA



INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DO FEIJÃO E MILHO

Tese apresentada no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Amadeu Bona Filho

Co-orientadores: Prof. Dr. Aníbal de Moraes
Prof. Dr. Décio Lopes Cardoso

CURITIBA

2010

Andreolla, Veruschka Rocha Medeiros
Integração lavoura-pecuária: atributos físicos do solo e produtividade das culturas do feijão e milho / Veruschka Rocha Medeiros Andreolla. – Curitiba, 2010
120 f. il.

Orientador: Amadeu Bona Filho
Co-orientadores: Aníbal de Moraes
Décio Lopes Cardoso
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, 2010

1. Plantas – Efeito do nitrogênio. 2. Pastagens – Adubos e Fertilizantes. 3. Feijão – Efeito do nitrogênio. 4. Milho – Efeitos do Nitrogênio. 5. Fertilizantes nitrogenados. I. Bona Filho, Amadeu. II. Moraes, Aníbal de. III. Cardoso, Décio Lopes.
IV. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal.
V. Título

CDU 631.84:633.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a argüição da Tese de DOUTORADO, apresentada pela candidata **VERUSCHKA ROCHA MEDEIROS ANDREOLLA**, sob o título **"INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DE MILHO E FEIJÃO"**, para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido a candidata são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese.

Curitiba, 17 de Dezembro de 2010.

Professora Dra. Louise Larissa May De Mio
Coordenadora do Programa

Professor Dr. Itacir Eloi Sandini
Primeiro Examinador

Dr. Edilson Batista de Oliveira
Segundo Examinador

Professor Dr. Robson André Armindo
Terceiro Examinador

Professor Dr. Anibal de Moraes
Quarto Examinador

Professor Dr. Amadeu Bona Filho
Presidente da Banca e Orientador

DEDICATÓRIA

À Deus
AGRADEÇO

Toda a boa dádiva e todo dom perfeito são lá do alto, descendo do Pai.
Thiago 1:17

"Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu: há tempo de nascer e tempo de morrer; tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou." (Eclesiastes 3:1-2)

"Ainda que eu fale as línguas dos homens e dos anjos, se não tiver amor, serei como o bronze que soa, ou como o címbalo que retine... E ainda que eu distribua todos os meus bens entre os pobres, e ainda que entregue o meu próprio corpo para ser queimado, se não tiver amor, nada disso me aproveitará."
(I Coríntios 13:1 e 3)

"Não é a mais forte das espécies que sobrevivem, nem a mais inteligente, mas aquela que melhor responde às mudanças." (Charles Darwin)

"A mente que se abre a uma idéia jamais voltará ao tamanho original".
(Albert Einstein)

"Não basta ensinar o homem uma especialidade, por que se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso crítico daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto" (Albert Einstein)

"O Solo não é herança que recebemos de nossos pais, mas sim um patrimônio que tomamos emprestado de nossos filhos"
(Louis Brown)

DEDICO

À Claudionor Francisco Andreolla, esposo, companheiro e amigo, com que com sua ajuda fundamental tornou possível a realização deste trabalho e **Iago** e **Enzo**, meus filhos, aos quais, com seu amor, compreensão, paciência e sacrifício pessoal fizeram com que este trabalho fosse possível.

OFEREÇO

Aos meus pais Blaine Medeiros e Terezinha Medeiros da Rocha, sem os quais eu não existiria e que mesmo à distância me ajudaram e incentivaram com o amor.

DEDICO

Ao meu pai **Blaine** (in memorian), amigo e companheiro.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, professores Amadeu Bona Filho e Anibal de Moraes, grandes estudiosos do sistema de produção integração lavoura-pecuária, pelo acolhimento, pelo incentivo, apoio, confiança, pelos ensinamentos transmitidos, paciência, amizade, companheirismo, pela orientação e ajuda na condução desta pesquisa.

Em especial ao amigo e Professor Dr. Décio Lopes Cardoso, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE/Cascavel - PR), pela sua dedicação, colaboração e co-orientação na realização deste trabalho, pela ajuda fundamental e de extrema importância, pela liberação da área dos Laboratórios de Geotecnia, pelos ensinamentos transmitidos, amizade e incentivo.

Ao Professor e pesquisador Dr. Edilson Batista de Oliveira, da EMBRAPA – Florestas (Colombo – PR), pela participação na banca examinadora, pelas sugestões apresentadas, amizade, incentivo e pelos ensinamentos transmitidos de estatística.

Ao pesquisador Dr. Moacir Medrado, da EMBRAPA – Florestas (Colombo – PR), pelas sugestões apresentadas, amizade, incentivo e pelos ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná que, direta ou indiretamente, colaboraram na condução deste trabalho, em especial à Lucimara Antunes da secretaria do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pelo apoio, dedicação, paciência e amizade.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, em especial aos Professores Dr. Adelino Pelissari, Dr. Edelclaiton, Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa, Dr. Robson Armindo, pelos ensinamentos transmitidos e sugestões apresentadas.

Aos professores Dra. Silvia Renata Coelho, Dra. Mônica Sarolli Mendonça e Silva do Programa de Pós-graduação de Engenharia Agrícola; e Dr. Deonir Secco do Programa de

Pós-graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), pelos ensinamentos transmitidos.

À amiga Andreia Bonini, pela amizade durante estes anos e pela ajuda fundamental neste experimento, sem a participação dela teria sido impossível ter concluído; pela convivência sincera e amiga, pelo estímulo, carinho e compreensão, dedicação e colaboração fundamental, na realização deste trabalho, sou eternamente grata a ela.

Ao Gilberto, pela amizade, pelo estímulo e apoio dado mesmo a distância, pela sua dedicação, paciência e colaboração na realização deste projeto.

À minha irmã Elaine (Lelé), a amiga Marta de Oliveira e a Vilma (a Tati, meu braço direito em casa), pelo incentivo, torcida, amparo, amizade, confiança, carinho e cuidados com meus filhos nas horas intermináveis de estudos.

Aos amigos Adriana Ianke, Cinthia Röder e Jair Rogério Unfried, apesar de fisicamente distantes, porém sempre presentes, pela força, incentivo e apoio.

Aos amigos Daniela Zigioto e Renan e as técnicas Caroline Cappellari (Carol) e Denise Gaspar, pelas facilidades concedidas, pela cessão da área dos Laboratórios de Geotecnia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE); a eles pela colaboração durante a realização da pesquisa, pela acolhida, apoio, incentivo, amizade e pela boa vontade, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas de curso: Alvadi Balbinot Junior, Anneleen Dewulf, Ester Moura Rios, Itacir Sandini, Josiane dos Santos, Lutécia Beatriz Canalli, Renata Dantas Medrado, pela amizade e companheirismo.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), campus Guarapuava – PR, através do Departamento de Agronomia, pela concessão da área experimental, na pessoa do professor Dr. Itacir Sandini, pela disponibilização de infra-estrutura, máquinas, animais, mão de obra e insumos necessários à realização do experimento de campo, sem o qual seria

impossível a realização desta pesquisa e terminado este trabalho, pela amizade, confiança, e colaboração durante todas as etapas do trabalho.

Aos acadêmicos da Unicentro, Paulo Sérgio Raimondo, Rafael Brito Veiga, pela colaboração e dedicação na execução das atividades de campo do trabalho de pesquisa.

A todos os amigos e colegas que me ajudaram de qualquer forma durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de estudo e desenvolvimento desta tese.

À Coordenadoria de Apoio a Pesquisa e Ensino Superior – CAPES, pela bolsa concedida, com a qual foi possível garantir a necessária autonomia para investir no projeto e participar de eventos técnico-científicos.

A todas as pessoas da minha família por todo o incentivo, apoio e torcida...

A todos que contribuíram, mas não foram mencionados... Muito obrigado.

A todos os verdadeiros mestres que, desde a alfabetização até este curso de pós-graduação, ofereceram o seu conhecimento e mostraram os caminhos a serem seguidos, um agradecimento especial.

BIOGRAFIA DO AUTOR

VERUSCHKA ROCHA MEDEIROS ANDREOLLA, nascida no dia 23 de agosto de 1967, em Conselheiro Pena, MG, filha de Blaine Medeiros e Terezinha Medeiros da Rocha.

No ano de 1984 formou em Auxiliar de Laboratório e no mesmo ano em Técnico em Contabilidade.

Iniciou na carreira de magistério em 1985, atuando em várias entidades escolares, atuando em vários projetos de pesquisas.

Em 1988 – 1990 formou em Administração de Cooperativas, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), MG. Realizando o trabalho de conclusão de curso intitulado: "Diagnóstico Sócio-Econômico da Cooperativa Regional dos Cafeicultores de São Sebastião do Paraíso Ltda", sendo bolsista da Cooperativa Regional dos Cafeicultores de São Sebastião do Paraíso Ltda, COOPARAÍSO - MG.

No período de 1987 – 1988 trabalhou na Cooperativa Mista dos Produtores Rurais de Conselheiro Pena Ltda – COOPMISTA - MG.

Em 1999 iniciou o Curso em Engenharia Agronômica e no ano de 2002 formou-se pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE).

No ano de 2003 ingressou no mestrado, como bolsista da CAPES e em agosto de 2005 defendeu sua Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), com trabalho intitulado "Eficácia de Sulcadores de Semeadoras-Adubadoras e suas implicações sobre a Cultura da Soja e nos Atributos Físicos de um Latossolo sob Integração Lavoura – Pecuária" tendo como orientador o Prof. Dr. Antonio Gabriel Filho, a

qual recebeu prêmio menção honrosa, pela Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, no XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – João Pessoa – PB no ano de 2006.

Nos anos de 2005 – 2007 participou da direção e administração como Diretora Administrativa, da Associação Regional dos Engenheiros Agrônomos de Cascavel – AREAC. Atualmente faz parte do Conselheiro Deliberativo e do Conselho Fiscal da mesma entidade.

Nos anos de 2006 – 2008, atuou como professora do CEEP (Centro Estadual de Educação Profissional – PEDRO BOARETTO NETO).

No período de 2007 - 2008 assumiu a diretoria do COMAM – Conselho Municipal do Meio Ambiente em Cascavel – Pr, sendo conselheira e primeira secretária e no ano de 2008 – 2009 fazendo parte da diretoria como vice-presidente e conselheira pela AREAC, sendo conselheira até o momento.

Em março de 2007 iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, na Universidade Federal do Paraná (UFPR), como bolsista da CAPES.

Atualmente é da comissão de caprinos e ovinos da FAEP – Federação da Agricultura do Estado do Paraná, pelo Sindicato Rural Patronal de Cascavel – Pr e produtora rural.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS ..... **xv**
LISTA DE FIGURAS ..... **xvii**
RESUMO ..... **xviii**
ABSTRACT ..... **xix**
1. INTRODUÇÃO GERAL **1**
2. REVISÃO DE LITERATURA **5**
2.1. O SISTEMA LAVOURA-PECUÁRIA 5
2.2. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO 11
2.2.1. Densidade Absoluta do Solo 11
2.2.2. Resistência do Solo à Penetração 14
2.2.3. Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade 18
2.2.4. Compactação do Solo em Laboratório 22
2.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 27
4. PASTEJO E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM ATRIBUTOS FÍSICOS, NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO FEIJÃO EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA **36**
RESUMO 36
ABSTRACT 37
INTRODUÇÃO 37
MATERIAL E MÉTODOS 39
RESULTADOS E DISCUSSÃO 45
CONCLUSÕES 53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 53
5. PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO EM UM LATOSSOLO BRUNO COM ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA **58**
RESUMO 58
ABSTRACT 59
INTRODUÇÃO 59
MATERIAL E MÉTODOS 63
RESULTADOS E DISCUSSÃO 67
CONCLUSÃO 74

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75
APÊNDICE 1 78
6. PASTEJO E ADUBAÇAO NITROGENADA EM ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO BRUNO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA 80
RESUMO 80
ABSTRACT 80
INTRODUÇÃO 81
MATERIAL E MÉTODOS 83
RESULTADOS E DISCUSSÃO 88
CONCLUSÕES 97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 97
7. CONSIDERAÇOES FINAIS 102
APÊNDICE 2 104
APÊNDICE 3 105
APÊNDICE 4 111
APÊNDICE 5 113

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

TABELA 1 – Parâmetros químicos do solo nos anos de 2006, Guarapuava (PR)..... 41

TABELA 2 – Caracterização da textura do solo (g kg^{-1}) na fase inicial do experimento, em 2006, Guarapuava, PR. 41

TABELA 3 – Densidade de partículas (Mg m^{-3}) na fase inicial do experimento, em 2006, Guarapuava, PR. 41

TABELA 4 – Densidade absoluta do solo (Mg m^{-3}), nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2007, Guarapuava, PR. 46

TABELA 5 – Macroporosidade (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2007, Guarapuava, PR. 48

TABELA 6 – Microporosidade (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2007, Guarapuava, PR. 49

TABELA 7 – Porosidade Total (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2007, Guarapuava, PR. 50

ARTIGO 2

TABELA 1 – Parâmetros químicos do solo no ano de 2006, Guarapuava (PR)..... 64

TABELA 2– Umidade Gravimétrica (kg kg^{-1}) nas áreas com e sem pastejo, nas camadas e fases experimentais em Guarapuava-PR, 2007 68

ARTIGO 3

TABELA 1 – Valores médios de pH em $CaCl_2$, C orgânico, P, K, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, H+Al, CTC e V, nas camadas (cm) de 0-5, 5-10 e 10-15, em 2007, Guarapuava, PR. 85

TABELA 2 – Caracterização da textura do solo (g kg^{-1}) na fase inicial do experimento, em 2006, Guarapuava, PR. 85

TABELA 3 – Densidade absoluta de partículas (Mg m^{-3}) na fase inicial do experimento, em 2006, Guarapuava, PR. 85

TABELA 4– Densidade do solo (Mg m^{-3}) nas camadas de 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2008, Guarapuava, PR. 89

TABELA 5 – Macroporosidade (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2008, Guarapuava, PR. 91

TABELA 6 – Microporosidade (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0–5, 5–10 e 10–15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2008, Guarapuava, PR. 93

TABELA 7 – Porosidade total (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2008, Guarapuava, PR. 95

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Curva típica de compactação de solo..... 25

ARTIGO 1

QUADRO 1 – Rotações de cultura realizadas de 2004 a 2007. 39

FIGURA 1 - Balanço hídrico seqüencial de cada intervalo de 10 dias, durante os anos de 2006 (A) e 2007 (B), Guarapuava, PR. As setas indicam a época do pastejo dos ovinos em 2006..... 40

FIGURA 2 - Produtividade de grãos do feijoeiro (kg ha^{-1}), na presença e ausência de pastejo, frente às doses de aplicação de N na pastagem, Guarapuava, PR, 2007 52

ARTIGO 2

FIGURA 1 - Balanço hídrico seqüencial de cada intervalo de 10 dias, durante os anos de 2006 (A) e 2007 (B), Guarapuava, PR. As setas indicam o período de pastejo 63

FIGURA 2 - Resistência do solo à penetração na Fase 1, com pastejo 69

FIGURA 3 - Resistência do solo à penetração na Fase 1, sem pastejo..... 69

FIGURA 4 - Resistência do solo à penetração na Fase 2, com pastejo 69

FIGURA 5 - Resistência do solo à penetração na Fase 2, sem pastejo..... 69

FIGURA 6 - Resistência do solo à penetração na Fase 3, com pastejo 70

FIGURA 7 - Resistência do solo à penetração na Fase 3, sem pastejo..... 70

FIGURA 8 – Efeito de doses de nitrogênio nos parâmetros de compactação..... 71

FIGURA 9 - Produtividade de grãos do feijoeiro (kg ha^{-1}), na presença e ausência de pastejo, frente às doses de aplicação de N na pastagem, Guarapuava, PR, 2007 73

ARTIGO 3

FIGURA 1 – Balanço hídrico seqüencial da cada intervalo de 10 dias, durante o ano de 2007 (A) e 2008 (B), Guarapuava, PR, 2009. As setas indicam o período de pastejo em 2007..... 84

FIGURA 2 – Temperaturas (°C) máxima, mínima e média nos decêndios do mês de abril de 2007 até abril de 2008. Guarapuava, PR. *Temperatura média calculada de acordo com o INMET ($Tmed = (T_{9h} + T_{max} + T_{min} + 2 \times T_{21h})/ 5$)..... 84

FIGURA 3 - Carga animal (kg PV ha^{-1}) em pastagem de aveia branca (*Avena sativa*) e azevém comum (*Lolium multiflorum*) de matrizes + cordeiros (período de 13/06 a 29/07) e cordeiros (período de 29/07 a 28/09) em função das doses crescentes de N aplicadas. Guarapuava, PR, 2009. 90

FIGURA 4 - Produtividade de grãos do milho (kg ha^{-1}), na presença e ausência de pastejo, frente às doses de aplicação de N na pastagem, Guarapuava, PR, 2008 96

INTEGRAÇAO LAVOURA-PECUÁRIA: ATRIBUTOS FISICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DO FEIJÃO E MILHO

RESUMO

No Sistema Integração Lavoura – Pecuária, o pisoteio animal pode alterar as condições físicas do solo e afetar o bom desenvolvimento das culturas, diminuindo a sua produtividade. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência do pastejo e das doses de nitrogênio em atributos físicos do solo e na produtividade da cultura do feijão e do milho em um sistema de integração lavoura-pecuária. O delineamento foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e 3 repetições. As parcelas foram constituídas, no inverno, pelas dosagens de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha^{-1}, em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e no verão pela cultura do feijão (*Phaseolus Vulgaris* Lam.) e do milho (*Zea mays* Lam.). As subparcelas foram com e sem pastejo. O pastejo com ovinos, em sistema de lotação contínua, com carga animal variando de 808 kg a 1.485 kg de peso vivo, sob pastejo em período chuvoso e manutenção da massa de forragem de azevém entre 581 kg ha^{-1} e 1.466 kg ha^{-1}, não compromete a qualidade física do Latossolo Bruno. O pastejo e a adubação nitrogenada da pastagem de inverno garantem elevada produtividade do feijão e do milho sem receber doses de nitrogênio. Os valores médios encontrados de produtividades do feijão e do milho foram de, respectivamente, na área com pastejo de 3.012 kg ha^{-1} e 10.220 kg ha^{-1} e na área sem pastejo de 2.937 kg ha^{-1} e 9.636 kg ha^{-1}, mesmo em baixas doses de nitrogênio. A Macroporosidade do solo até o valor de 0,09 m^3 m^{-3}, não limita a produtividade do feijão no sistema de Integração Lavoura-Pecuária. A influência do pisoteio pelos ovinos sobre a resistência do solo à penetração foi mais acentuada até os 10 cm iniciais; os resultados dos ensaios de compactação em laboratório mostraram-se consistentes com os perfis de resistência do solo à penetração no campo. O pastejo aumenta significativamente a densidade absoluta máxima do solo no tratamento com maior dose de nitrogênio, havendo uma tendência de diminuir essa com o cultivo subseqüente.

Palavras-chave: Sistemas integrados. Compactação do solo. Azevém. Pastagem.

INTEGRATION PRODUCTION CROP–LIVESTOCK: SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES AND CORN AND BEANS YIELD

ABSTRACT

In the System of Integration Production Crop–Livestock, the animal trampling can modify the physical conditions of the soil and affect the development of the cultures, slowing down its yield. This project aimed to study the influence of grazing in a farming-cattle integration area, considering the effect of nitrogen on the physical properties of the soil and the yield of corn and beans. The experimental design was randomized blocks of split plot with 3 replications, where the parcels were, in the winter, the doses of nitrogen 0, 75, 150 and 225 kg ha^{-1}, in pure grazing of ryegrass (*Lolium multiflorium* Lam.) and in the summer, for the culture of the beans (*Phaseolus Vulgaris* Lam.) and corn (*Zea mays* Lam.). The sub-parcels were with and without grazing. Grazing with sheep, in system of continuous capacity, with animal stocking between 808 and 1.485 kg of alive weight, on grazing during raining time and maintenance of the mass of fodder ryegrass between 581 and 1466 kg ha^{-1}, does not compromise the physical quality of a Typicall Bruno soil. The grazing and nitrogen fertilization of the grazing allows good yield of beans and corn without any nitrogen fertilization. The mean values of yield for beans and corn were, respectively, at the grazing area, 3.012 and 10.220 kg ha^{-1}; and at the area without grazing the yield was, respectively, 2.937 and 9.636 kg ha^{-1} in conditions of low nitrogen levels. The macroporosity of the soil until the value of 0,09 m^3 m^{-3}, does not limit the yield of the beans into the system of Integration Production Crop–Livestock. The trampling of sheep on the resistance of the soil to the penetration was more accented until the 10 initial cm; the results of the assays of compacting in laboratory had revealed consistent with the profiles of resistance to the penetration in the field; the animal pasturing has sharper effect in the absolute maximum density in the treatment with higher levels of N; it has a trend of the absolute maximum density to diminish with the subsequent crops.

Key-words: Integrated systems. Soil compaction. Ryegrass. Grazing.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A área de plantio do Estado do Paraná compreende mais de 7,7 milhões de hectares. As culturas mais importantes são soja, milho, cana de açúcar, feijão, arroz no verão e aveia e trigo no inverno. Sendo o Paraná líder nacional na produção de grãos, as condições adequadas de solo para garantir altas produtividades são fundamentais. Um dos principais fatores que comprometem a produtividade das culturas é a compactação do solo.

O processo de compactação é resultado da ação de forças mecânicas, vindas do tráfego de máquinas e/ou do pisoteio de animais sobre o solo e da ação da água de percolação no perfil do solo, transportando partículas dispersas.

O estudo da compactação é importante, uma vez que essa pode causar uma redução na adsorção de nutrientes no solo e/ou redução de sua absorção pelas plantas. Além disso, a compactação dificulta a infiltração, a redistribuição da água, bem como as trocas gasosas. Por fim, a compactação aumenta a resistência mecânica dos solos e restringe o crescimento radicular, com conseqüente redução na produtividade das culturas.

Durante as operações de preparo do solo, semeadura e colheita ocorrem forças compactativas que afetam a resistência à penetração devido modificações das condições físico-químicas e biológicas ocorridas. A resistência à penetração, um dos parâmetros de avaliação do grau de compactação do solo, é definida pela densidade, pelo teor de água e pela granulometria do solo.

Com a exploração mais intensiva da agricultura brasileira, áreas cada vez maiores apresentam o problema da compactação. Certamente, grande parte da compactação é causada pelo tráfego de maquinas, tanto no preparo do solo como na semeadura e colheita das plantas, em momentos inapropriados. Muitas vezes, é necessária a realização do trabalho quando a umidade do solo é mais elevada, visto que nem sempre é possível postergar as atividades em razão de épocas definidas de plantio e colheita. Portanto, nem sempre se podem esperar as

melhores condições climáticas e/ou físicas do solo para a realização das tarefas relativas ao plantio e colheita, o que, fatalmente, dificulta o manejo do solo no sentido de prevenir a sua compactação.

Em áreas de integração lavoura-pecuária, a compactação também é promovida pelo efeito do casco animal durante o pastejo. Geralmente é praticado no período de inverno-primavera. Esse procedimento, além do tráfego de máquinas na época de plantio agrava o processo de compactação, prejudicando o crescimento radicular e a produtividade das plantas.

A utilização de lavouras de grãos e pastagens anuais, em um sistema de integração, tem sido durante muito tempo uma prática cultural no processo de recuperação ou renovação de pastagens cultivadas. O uso eventual dessas atividades pelo próprio produtor, ou por meio de parcerias ou arrendamentos, pode ser uma estratégia para diminuir custos e retornar para a atividade principal da produção animal.

O plantio de coberturas de solo ou de culturas de alto risco econômico, como os cereais de inverno, leva o agricultor a buscar alternativas econômicas, que possam intensificar o uso da terra, aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção e melhorar a renda, sendo obtido pela rotação de cultivos anuais com pastagens. A formação de pastagens hibernais torna viável a terminação de bovinos durante a entressafra e surge como alternativa para o aumento de rentabilidade das propriedades. Porém, o sucesso dos sistemas de integração lavoura-pecuária depende de diversos fatores, os quais por sua vez, são dinâmicos e interagem entre si.

Com a utilização do plantio direto nas propriedades agrícolas, cria-se a necessidade de promover uma boa cobertura do solo no período de outono/inverno e parte da primavera. As gramíneas utilizadas com essa finalidade, entre elas aveias e/ou azevém, são excelentes forrageiras capazes de suportar a atividade pecuária durante essas estações do ano, que representam o período mais crítico para a pecuária praticada no sul do Brasil.

A região sul do Brasil possui solos e clima propícios para o desenvolvimento desse sistema integrado, além de agricultores com suficiente infra-estrutura para superar os desafios da nova técnica. Entretanto, sempre surgem dúvidas a respeito de como se comporta o sistema quando se associa a atividade animal em áreas agrícolas cultivadas em sistema de plantio direto. Acredita-se que a entrada de animais em áreas de lavoura cause compactação ou outra alteração que possa comprometer a produtividade das culturas em sucessão à pastagem.

O conhecimento dessas alterações, em condições específicas de solo e clima, é importante para o entendimento da potencialidade dos sistemas de manejo em relação à produtividade de culturas e adoção de práticas que têm por objetivo contornar possíveis limitações advindas da sua utilização.

O presente trabalho partiu da hipótese de que: se o pisoteio animal em sistemas de Integração Lavoura - Pecuária altera alguns atributos físicos do solo causando compactação e reduzindo a produtividade das culturas subseqüentes (feijão e do milho), então a aplicação de nitrogênio, por proporcionar maior desenvolvimento aéreo e radicular da pastagem, ameniza o efeito negativo desse pisoteio.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito do nitrogênio aplicado na pastagem anual de inverno (consórcio de aveia e azevém), bem como a influência do pastejo em atributos físicos do solo (densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total do solo e resistência do solo à penetração) e na produtividade da cultura do feijão e do milho, no sistema de integração lavoura-pecuária.

E os objetivos específicos foram:

- Avaliar a influência do pastejo e das doses de nitrogênio, em atributos físicos do solo e na produtividade da cultura do feijão, em um sistema de integração lavoura-pecuária;

- Estudar a influência do pastejo e das doses de nitrogênio na resistência do solo à penetração e na produtividade da cultura do feijão em um sistema de integração lavoura-pecuária;

- Avaliar o efeito da adubação nitrogenada, em pastagem anual de inverno (consórcio de aveia e azevém), sob pastejo contínuo de cordeiros de corte, na qualidade física do solo.

Para a melhor distribuição dos trabalhos elaborados nesta tese, a mesma foi dividida em artigos individualizados. Além da Introdução geral e da revisão de literatura, são apresentados três artigos científicos e, por fim, uma interpretação geral dos resultados obtidos efetuada nas considerações finais. Cada artigo atenderá a cada um dos objetivos específicos respectivamente mencionados. Todos os artigos foram elaborados de acordo com as normas da Revista Engenharia Agrícola (Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O SISTEMA LAVOURA-PECUÁRIA

O sistema integração lavoura-pecuária pode ser definido como o sistema que integra as duas atividades com os objetivos de maximizar racionalmente o uso da terra, da infra-estrutura e da mão-de-obra, diversificar e verticalizar a produção, minimizar custos, diluir os riscos e agregar valores aos produtos agropecuários, por meio dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra (MELLO et. al, 2002; ASSMANN et al, 2007; MORAES et al., 2007).

A escassez de oferta e a baixa qualidade da biomassa proporcionada pelas pastagens de inverno, nas áreas de basalto localizadas nas regiões Sudoeste, Oeste e Centro-sul do Paraná, Oeste de Santa Catarina e Norte do Rio Grande do Sul, levam os pequenos produtores leiteiros a utilizar parte das áreas destinadas à produção agrícola, na produção de forragens para alimentação dos rebanhos no período de outono – inverno. Da mesma forma, produtores de carne que não cultivam cereais de inverno têm buscado alternativas para aproveitamento de suas áreas de lavoura durante a safra de inverno. Em ambos os casos prevalece a exploração empírica do solo pela baixa adoção de tecnologia, apesar do estoque de conhecimentos tecnológicos já disponíveis nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (MORAES et al. 2002).

Nas duas últimas décadas, ocorreu uma tendência de reduzir os anos de “pousio”, intensificando a exploração do solo, principalmente em terras arrendadas. Esse manejo provoca alterações negativas tanto na estrutura física quanto na fertilidade dos solos e, em conseqüência, na composição, produção e qualidade da pastagem nativa existente nas várzeas (SAIBRO; SILVA, 1999).

O Paraná destaca-se como grande produtor de grãos e pela avançada tecnologia utilizada em suas áreas agrícolas. Contudo, nos últimos anos, devido à baixa rentabilidade da exploração de cereais de inverno e à ausência de alternativas nessa época, a maior parte das áreas agricultáveis tem sido destinada para o plantio de espécies exclusivamente protetoras de solo ou deixadas em pousio. Teoricamente, os sistemas de produção agrícola poderiam ser beneficiados por alternativas econômicas de rotação de culturas, que fossem capazes de contribuir para uma melhoria na utilização dos investimentos, e que buscassem intensificar o uso da terra e desenvolver sistemas de produção mais estáveis (MORAES et al., 2002).

A utilização de lavouras de grãos e pastagens anuais, em um sistema de integração, tem sido durante muito tempo uma prática cultural no processo de recuperação ou renovação de pastagens cultivadas. O uso eventual dessas atividades, pelo próprio produtor ou em parcerias ou arrendamentos, pode ser somente uma estratégia para diminuir custos e retornar rapidamente para a atividade principal da produção animal (ZIMMER et al., 1999).

Do ponto de vista das propriedades químicas do solo, assim como ocorre no sistema de plantio direto, o sistema de integração possibilita uma melhoria na fertilidade do solo, devido ao maior acúmulo de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, aumento na eficiência do uso de fertilizantes e capacidade diferenciada de absorção de nutrientes (LUSTOSA, 1998; ASSMANN et al., 2007).

Segundo MORAES et al. (2002), o sistema de integração lavoura-pecuária apresenta uma estrutura básica: o plantio direto, a rotação de cultivos, o uso de insumos e genótipos melhorados, o manejo correto das pastagens e a produção animal intensiva em pastejo. Existe, porém, muitas variações possíveis, dependendo do interesse de cada proprietário, podendo ser aplicado para produção de leite ou carne, apenas para engorda ou para cria, recria e engorda e ser utilizado em pequenas ou grandes propriedades. A integração lavoura-pecuária é mais do que utilizar ocasionalmente uma lavoura para reformar uma área de pastagem, é antes de tudo

um sistema planejado de utilização racional do solo, em que participam lavouras e animais, com vantagens para ambos. Nesse sistema, busca-se conciliar a melhor resposta do animal por unidade de área, com a alta produtividade de grãos no verão, avaliando-se a carga animal praticada, doses de fertilização nitrogenada, a influência do pastejo e época de retirada dos animais da pastagem.

Os animais em pastejo são um componente essencial das pastagens e seus efeitos no ecossistema podem incluir transformação de formas de nutrientes, de taxas de ciclagem e de disponibilidade de nutrientes, decorrentes de respostas das plantas ao pastejo e à ciclagem de Nitrogênio (N). O pastejo pode influenciar os processos de mineralização/imobilização de N, facilitar a rápida decomposição de substratos (ASSMANN et al., 2007) e aumentar a taxa de reciclagem de N resultante da deposição de urina e fezes (MONTEIRO; WERNER, 1997). Pode aumentar a disponibilidade de nutrientes por meio da manutenção, na superfície do solo, de uma fração de nutrientes orgânicos facilmente mineralizáveis, onde são mais acessíveis às plantas e aos microorganismos (ARCHER; SMEINS, 1991). Entretanto, o pastejo, quando mal conduzido, pode agravar o processo de compactação do solo.

Com o manejo adequado do processo de pastejo nos sistemas integrados, não há comprometimento da produtividade das culturas semeadas em sucessão à pastagem (SILVEIRA, 2007; LUNARDI et al., 2008; SANDINI et al., 2008). Estudos indicam também efeito residual positivo da adubação da pastagem sobre a cultura em sucessão (BONA FILHO et al., 2003; ASSMANN et al., 2003).

A compactação excessiva do solo provoca problemas de aeração do mesmo podendo acelerar as perdas de nitrogênio do sistema pela desnitrificação e pela volatilização da amônia (DOUGLAS; CRAWFORD, 1998). Entretanto, MORAES; LUSTOSA (1997) argumentam que o efeito da descompactação pode ser obtido biologicamente pela ação do sistema radicular da própria pastagem e pela atividade da mesofauna do solo, sendo que, para isso, é

necessário que a pastagem seja submetida a um período de descanso para promover um bom acúmulo de fitomassa aérea, de modo a permitir um melhor suporte ao sistema radicular.

Práticas que favorecem o crescimento de raízes das pastagens podem reduzir os efeitos mecânicos do pisoteio. A adubação da pastagem com nitrogênio pode ser uma estratégia para aumentar a produção de forragem e reduzir a compactação superficial ocasionada pelo pisoteio, pois atenua a pressão aplicada na superfície (BRAIDA et al., 2006) e promove a descompactação biológica do solo (ABREU et al., 2004).

No Sul do Brasil, em áreas de integração lavoura-pecuária, a época destinada ao pastejo ocorre geralmente no período de inverno-primavera e coincide com a época do ano em que o solo permanece com elevada umidade, o que pode favorecer o processo de compactação (BASSANI, 1996; MELLO, 2002; LIMA et al., 2004), prejudicando o crescimento radicular e a produtividade das plantas.

A compactação afeta as condições do solo, influenciando a maneira de preparação de terrenos, a germinação das sementes e o subseqüente crescimento e desenvolvimento das plantas, os tratos culturais e a colheita. As condições do solo mais seriamente afetadas são aquelas que controlam o teor e transmissão da água, ar, calor e nutrientes, e que modificam a resistência do solo, pela alteração da distribuição dos tamanhos dos poros (SILVA et al., 2005; MARCHÃO et al., 2007). A compactação aumenta a resistência mecânica do solo, o que é indesejável para o desenvolvimento das culturas, pois o desenvolvimento das raízes diminui à medida que a resistência do solo aumenta (STONE et al., 2002; BEUTLER et al., 2005).

Ainda, a compactação pode causar uma redução da adsorção de nutrientes no solo e/ou redução de sua absorção pelas plantas; dificultar a infiltração e redistribuição de água e as trocas gasosas, e ainda, aumentar a resistência mecânica dos solos e restringir o crescimento radicular (SMUCKER; ERICKSON, 1989; BICK; SIEMENS, 1991; LAFOND; ANGERS;

VAVERDIÉRE, 1992; UNGER; GASPAR, 1994), com conseqüente redução na produção das culturas e aumento da erosão hídrica (UNGER, 1996; VAN DEN AKKER, 1997; BEUTLER et al., 2004).

O processo de compactação é resultado da ação de forças mecânicas, provenientes do tráfego de máquinas e/ou do pisoteio de animais sobre o solo podendo ocorrer ainda uma densificação pela ação da água de percolação no perfil do solo, transportando partículas dispersas (KOCHHANN; DENARDIN; BERTON, 2000; HAMZA; ANDERSON, 2005).

A compactação modifica o comprimento, o diâmetro e a distribuição de raízes de milho no solo (SHIERLAW; ALSTON, 1984), fator que, por sua vez, pode interferir no crescimento e na taxa de absorção de nutrientes (BARBER et al., 1988) e água pela raiz (KUCHENBUCH; BARBER, 1987).

Segundo CAMARGO e ALLEONI (1997), em solos compactados ocorre uma diminuição na macroporosidade e como conseqüência o decréscimo em sua permeabilidade, tanto para a água como para as trocas gasosas. A baixa aeração induz à ramificação das raízes adventícias superficiais, tornando-as menos eficientes na absorção de água e nutrientes e nas trocas gasosas.

A degradação física do solo ocorre basicamente da seguinte forma: o pisoteio animal sobre o solo molhado causa o aumento da densidade do solo e selamento superficial. Esses fatores diminuem a capacidade vegetativa das plantas, que produzirão menos biomassa. A redução da biomassa aumentará a susceptibilidade do solo ao impacto da gota de chuva e ao escoamento superficial. Esses fatores iniciam o processo de erosão, que tornará o solo ainda mais pobre, reduzindo sua produção de biomassa e aumentando sua susceptibilidade (MELLO, 2002).

A baixa taxa de cobertura do solo, assim como lotações excessivas, aceleram o processo de selamento superficial. A ausência de cobertura permite o contato direto da pata

do animal com o solo molhado acentuando o grau do selamento. Lotações excessivas tendem a aumentar a quantidade de solo descoberto, além de aumentarem o pisoteio. Uma vez instalado o processo de selamento superficial, inicia-se a compactação do solo, refletida principalmente pelo aumento da densidade do solo e por alterações em sua porosidade total e macroporosidade e resistência à penetração (MELLO, 2002).

A espécie e a categoria animal vão determinar a carga, em termos de quilograma de peso vivo por unidade de área, e a pressão que vai ser exercida sobre o solo durante o pastejo. O manejo animal é que vai fazer com que os efeitos sobre os atributos físicos do solo se manifestem com maior ou menor intensidade. Para minimizar os efeitos do casco dos animais sobre o solo, é fundamental que se tenha uma quantidade adequada de cobertura vegetal sobre o mesmo, o que diminui o contato direto do casco com o solo, funcionando como um amortecedor da pressão exercida pelos animais sobre o solo (SILVA et al., 2000).

Cabe ressaltar que, quando o manejo dos animais e da pastagem é adequado, as alterações desses atributos físicos são pequenas e não causam qualquer dano à cultura em sucessão ao pastejo em safras sem a ocorrência de períodos de estiagem (SILVA et al., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2001; CASSOL, 2003).

Atributos do solo, tais como a densidade, a porosidade, a condutividade hidráulica, a curva característica de retenção de água (BALBINO et al., 2004) e a resistência à penetração (IMHOFF et al., 2000), têm sido comumente utilizados como indicadores de qualidade física, pela relativa facilidade de determinação e pelo baixo custo de obtenção das medidas. Além da comparação entre os sistemas de manejo e de uso do solo (OLIVEIRA et al., 2004), os atributos físicos também têm sido utilizados para estudar o efeito da conversão de áreas nativas em lavouras ou pastagens (LEÃO et al., 2006).

2.2. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

2.2.1. Densidade Absoluta do Solo

A densidade absoluta do solo (Ds) corresponde à massa seca de solo por unidade de volume, incluindo os espaços ocupados pelo ar e água (KIEHL, 1979; KLAR, 1984; FONTES, 1992). Segundo PREVEDELLO (1996) se a massa específica do solo seco for dividida pela massa especifica da água pura a 277^0 K, obtém-se a densidade relativa do solo seco (adimensional).

Esse atributo geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois, as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o fenômeno da compactação, reduzindo o volume. A eluviação, movimentação de material fino dos horizontes superiores para os inferiores, também contribui para reduzir os espaços porosos e aumentar a densidade dessas camadas (KIEHL, 1979).

Quanto maior a densidade do solo, tanto mais compactado é o solo, restringindo o crescimento e desenvolvimento das plantas. A densidade do solo é um valor variável para um mesmo solo, alterando-se de acordo com a estruturação. O manejo incorreto de uma área de cultura pode provocar a compactação, alterando a estruturação do solo (PRIMAVESI, 1990). Sendo assim, a densidade do solo reflete o equilíbrio entre as fases sólida, líquida e gasosa que compõem o solo e tem, portanto, uma relação direta com a porosidade.

É comum relacionar o crescimento radicular em solos compactados com sua densidade. Para cada solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes (CINTRA; MIELNICZUK, 1983; PEDÓ, 1986). A densidade do solo crítica depende principalmente de sua classe textural.

ARGENTON et al. (2005) constataram que, em Latossolo Vermelho argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade absoluta do solo próxima de 1,30 g cm^{-3}, e

KLEIN (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, observou que a densidade absoluta limitante foi de 1,33 g cm^{-3}. REICHERT et al. (2003) propuseram densidade absoluta do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 g cm^{-3} para solos argilosos, 1,40 a 1,50 g cm^{-3} para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 g cm^{-3} para os franco-arenosos.

O conteúdo de matéria orgânica presente no solo interfere na densidade do solo, reduzindo ou aumentando seu valor, conforme aumenta ou reduz o teor de carbono. A textura e o tipo de estrutura que o solo apresenta também interferem na densidade do solo, conferindo valores mais altos ou mais baixos (MELLO, 2002).

A taxa de cobertura do solo afeta o grau de compactação. Quanto mais elevada a taxa de cobertura e quanto maior a disponibilidade de forragem menor será o efeito do pisoteio. SILVA, REINERT e REICHERT (2000) avaliaram a densidade de um solo de textura franca submetido a plantio direto e a plantio convencional, após pastejo de inverno, e obtiveram pequeno efeito do pisoteio animal, atribuído à manutenção de resíduo vegetal sobre o solo em torno de 1,0 Mg ha^{-1} de massa seca. Essa cobertura protegia o solo do impacto direto da pata do animal e favorecia o rebrote e crescimento da pastagem.

ALVARENGA et al. (1996), trabalhando com um Latossolo muito argiloso, observaram uma redução do crescimento radicular de várias leguminosas ao atingir a densidade absoluta do solo de 1,25 g cm^{-3}. A partir desse limite, as plantas concentravam o sistema radicular na camada acima da camada compactada.

ALBUQUERQUE, SANGOI e ENDER (2001), em experimento semelhante, com solo de textura argilosa, encontraram valores de 1,24 g cm^{-3} para a camada de 0 a 5 cm nessas áreas e 1,01 g cm^{-3} para a mesma camada sob plantio convencional, sendo considerado índices críticos. Entretanto em solo semelhante sob mata, a densidade do solo desta camada estava em torno de 0,81 g cm^{-3}. Os mesmos autores apontam que, na integração lavoura-pecuária, é

importante ter cuidado com a umidade do solo no momento de entrada dos animais na área e com o fornecimento de matéria orgânica e manutenção do solo coberto.

O aumento da densidade absoluta do solo com o processo de compactação ocorre quando o pisoteio animal se dá sobre o solo com umidade elevada e baixa cobertura (BETTERIDGE et al., 1999; MELLO et al., 2002 e LIMA et al., 2004). O índice crítico da densidade absoluta do solo varia em função da textura e da umidade do mesmo.

Para amenizar a compactação exercida pelo pisoteio animal, autores como SILVA et al. (2000) e FLORES et al. (2007) relatam que se deve ajustar a carga animal com manutenção de matéria seca em torno de 1 t ha^{-1} para evitar alterações na densidade do solo e na produtividade dos grãos. Verificaram que o pisoteio de bovinos no sistema integração lavoura-pecuária alterou os atributos físicos do solo na camada de 5 - 15 cm. COSTA et al. (2009) verificaram que na camada de 0- 5 cm concentraram as maiores alterações da densidade.

OLIVEIRA et al. (2003) constataram aumento da densidade nos sistemas de manejo com relação à testemunha para todas as profundidades estudadas (0 - 5 e 20 - 30 cm). No caso dos solos argilosos formados a partir do derrame de basalto, a plasticidade é facilmente atingida (com umidade gravimétrica em torno de 37%). Nesse ponto os solos tornam-se moldáveis e a compressão resultante do pisoteio animal poderá compactá-los. Dados de MORAES e LUSTOSA (1997) apontam ainda que, quanto maior o teor de argila do solo mais severo será este processo.

FLORES et al. (2007), estudando os atributos físicos do solo na produtividade da soja, em sistema de plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo, verificou que após o ciclo de pastejo, não houve alterações na densidade, na porosidade e na compressibilidade, independentemente da altura da pastagem. No entanto, a densidade e a compressibilidade foram maiores e a porosidade menor nas áreas pastejadas, em

relação à não-pastejada. A produtividade de soja não foi afetada pelas alterações nos atributos físicos do solo.

SPERA et al. (2009), trabalhando em Latossolo Vermelho distroférrico típico, verificaram que os sistemas de pastagens perenes apresentaram menor densidade na camada de 0 - 2 cm em relação aos sistemas de produção de grãos (soja/milho) ou produção com pastagens anuais.

COSTA et al. (2009), avaliando os atributos físicos do solo em Cambissolo Húmico Alumínico, verificaram que no sistema de integração lavoura-pecuária o bom manejo da pastagem do azevém no inverno e cultivo de milho no verão, não altera os mesmos.

FIDALSKI et al. (2008) observaram que, em Latossolo Vermelho distrófico pastejado em sistema de lotação contínua, com controle da taxa de lotação animal em função da produção de forragem, a qualidade física do solo não foi comprometida negativamente.

2.2.2. Resistência do Solo à Penetração

A resistência do solo à penetração é uma propriedade física relativamente fácil de ser obtida e, de certa forma, de ser correlacionada à densidade e a macroporosidade. Para um mesmo solo, quanto maior for a sua densidade, maior será a resistência à penetração e menor será a macroporosidade, que é o principal espaço para o crescimento das raízes. Deve ser levado em conta, no entanto, que a resistência do solo é mais afetada pela variação dos teores de umidade do solo no momento das amostragens do que pela densidade. Por essa razão, muitos trabalhos que objetivam caracterizar o efeito da compactação sobre o desenvolvimento radicular e produtividade das culturas, utilizam a densidade do solo como parâmetro de referência (TORRES; SARAIVA, 1999; LAPEN et al., 2004; COLLARES et al., 2006).

REINERT et al. (2007), utilizou o penetrômetro de cone para determinar a camada compactada, que é um instrumento destinado à quantificação da resistência do solo à penetração ao longo do perfil do solo.

Em solos com menor umidade, a coesão e a resistência do solo à penetração aumentam e a pressão hidrostática das células das raízes diminui, com conseqüente redução da força na coifa e na região meristemática para superar a resistência do solo (HAMZA; ANDERSON, 2005). De maneira geral, considera-se de 2,0 a 2,5 MPa a faixa crítica de resistência do solo com redução importante no crescimento radicular; o crescimento das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada (TAYLOR et al., 1996).

Conforme REYNOLDS et al. (2002), a resistência à penetração maior que 2 MPa impede substancialmente o desenvolvimento de raízes. Entretanto, para CAMARGO e ALLEONI, (1997), os valores de resistência à penetração acima de 2,5 MPa começam a restringir o crescimento das raízes das plantas e valores entre 1,1 e 2,5 MPa ocasionam poucas limitações.

PETTER (1999), estudando um Latossolo Roxo, concluiu que valores de resistência de 2,8 MPa foram limitantes ao crescimento radicular da cultura da soja. LEÃO et al. (2004), em estudos realizados em solos sob pastagem utilizou 2,5 MPa como valor crítico.

A resistência exercida pelo solo à penetração radicular é geralmente menor que a resistência medida pelo penetrógrafo, pois as raízes procuram os espaços de menor resistência ao seu desenvolvimento e crescimento. Há evidências de que o penetrógrafo superestima o valor da resistência de duas a oito vezes, dependendo do tipo do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Durante as operações de preparo do solo e semeadura são aplicadas forças compactativas que afetam a resistência do solo à penetração, o que ocorre devido às modificações das condições físico-químicas e biológicas. A resistência à penetração é

resultante de forças oriundas da compactação, definida pela densidade do solo, do teor de água e da granulometria do mesmo (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998; IMHOFF et al. 2001).

A resistência à penetração é influenciada por vários fatores, sendo os principais a densidade e a umidade do solo (KLEIN; LIBARDI; SILVA, 1998). Sendo esta, diretamente relacionada à densidade do solo e à textura e inversamente ao conteúdo de água (BEUTLER et al., 2004). Solos de textura fina (argilosa), principalmente após uma secagem parcial, evidenciam a qualquer umidade um grande crescimento na coesão com um aumento na compactação, entretanto solos com textura grosseira (arenosos) não apresentam essa característica (BLAINSKI et al., 2008).

A compactação do solo altera a capacidade de retenção de água no solo, diminuindo a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica, aumentando a resistência à penetração (SHAFIQ; HASSAN; AHMAD, 1994). TORMENA e ROLOFF (1996) verificaram que a resistência à penetração é uma das características do solo que melhor representa as condições de desenvolvimento das raízes das plantas.

Estudando o crescimento do sistema radicular do feijão irrigado, WUTKE et al. (2000) concluíram que a rotação de culturas do feijão irrigado, milho e adubos verdes favoreceu a redução da resistência do solo à penetração na camada arável. A profundidade efetiva do sistema radicular do feijão irrigado em rotação com pousio, milho e adubos verdes, em Latossolo Roxo, foi de 35 a 40 cm, onde se encontraram 80% das raízes finas.

A porosidade de aeração e a resistência à penetração são os atributos que mais variaram com as mudanças na densidade de um Latossolo Roxo (KLEIN; LIBARDI, 2000). Os mesmos autores estudaram a influência da umidade e da densidade do solo sobre a sua resistência à penetração, sob mata e cultivado sob plantio direto em área irrigada e não irrigada, estabelecendo as seguintes conclusões: a resistência à penetração foi altamente

influenciada pela condição de umidade do solo e a sua determinação, apenas quando o solo se encontra próximo à capacidade de campo, não é recomendável, pois, grandes variações de densidade poderão ser detectadas; o plantio direto aumenta a densidade do solo em relação à mata até a profundidade de 40 cm, com conseqüente aumento da resistência à penetração.

SILVA e ROSOLEM (2001) realizaram um experimento em vasos com terra proveniente de um Latossolo Vermelho Escuro, com o objetivo de avaliar o efeito da compactação subsuperficial do solo no crescimento radicular de seis espécies utilizadas para cobertura em sistemas de plantio direto (aveia preta, guandu, milheto, mucuna preta, sorgo granífero e tremoço azul). Concluíram que densidade absoluta do solo até 1,6 g cm^{-3}, correspondentes a uma resistência à penetração de 1,22 MPa, não foram suficientes para suprir o crescimento radicular das espécies utilizadas.

Em estudos realizados por SPERA et al. 2010, em um Latossolo Vermelho distroférrico típico, com vários sistemas de produção de grãos integrados com pastagens anuais de inverno e de verão, verificaram que não houve diferença para a resistência à penetração entre os sistemas na camada 0 - 5 cm, porém, na camada 10 - 15 cm, verificou-se que os sistemas contendo pastagens tenderam a apresentar maiores valores de resistência à penetração na camada 10 a 15 cm do que sistema sem pastejo, indicando que o pisoteio pelo animal não está compactando a camada superficial dos solos sob sistemas de manejo com integração lavoura pecuária.

STRECK et al. (1994) afirmam que nos primeiros 10 cm de profundidade do solo percebe-se maior teor de água nos solos cobertos que em solos desnudos, em razão da menor transferência de energia e da evaporação da água pela presença de cobertura, sendo seus efeitos mais pronunciados nas proximidades da superfície do solo.

Além disso, solos com altos teores de matéria orgânica possuem maior capacidade de armazenar água, porém o aumento da capacidade de retenção de água do solo devido à adição

de matéria orgânica é difícil de ser quantificado. Ele depende de muitos fatores, dentre os quais se destacam o tipo de matéria orgânica, seu estado de decomposição, a quantidade adicionada e o tipo de solo. Porém, pode-se generalizar o fato de que a adição de matéria orgânica aumenta a capacidade de retenção de água (KLAUS, 1990).

Os resultados de COTCHING e BELBIN (2007) mostraram que o manejo da água no solo é importante no controle da resistência do solo à penetração, e em solos com estrutura degradada, a taxa de aumento da resistência à penetração, com o secamento do solo é maior do que em solos bem estruturados. Assim, solos bem estruturados suportam maior secamento sem que a resistência atinja valores restritivos para o crescimento radicular das plantas.

2.2.3. Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade

Porosidade do solo é a quantidade de espaços vazios, ou seja, a quantidade de solo não preenchido por componentes orgânicos e inorgânicos (KIEHL, 1979; JORGE, 1985; KLAR, 1984; PREVEDELLO, 1996). Tem-se um bom exemplo para verificar isso quando se satura um solo com água, neste caso os poros estão totalmente preenchidos, do contrário, em um solo seco, os poros são ocupados pelo ar. O conhecimento não se deve restringir à porosidade total, é preciso melhor caracterizar a distribuição dos tamanhos dos poros. Baseando-se nesses dados, SCHMUMACHER (1860), citado por KIEHL (1979), classificou a porosidade dos solos nas modalidades macroporosidade e microporosidade.

Segundo SILVA (2003), a porosidade total pode ser desdobrada em microporosidade, também denominada porosidade capilar e macroporosidade ou porosidade não capilar. A macroporosidade é a porosidade do solo em capacidade de campo, os macroporos são os locais em que a água e o ar possuem livre movimentação, enquanto que nos microporos água e ar possuem um movimento caótico, portanto, é muito importante a relação da porosidade com o crescimento das plantas e/ou desenvolvimento radicular.

GIAROLA et al. (2007), propôs que os valores de Porosidade Total variem de 30 a 60% em função da textura, estrutura do solo e conteúdo de carbono orgânico.

A porosidade ideal deve obedecer a um intervalo de 25 a 30 %. Segundo KIEHL (1979), o espaço poroso controla as relações entre as fases: sólida, líquida e gasosa dos solos. Com base nesse controle é que se percebe a importância da boa distribuição de macro e microporos em estudos que envolvam o armazenamento e movimentação de água e ar no solo e no desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

O armazenamento, a disponibilidade e o transporte da solução e do ar no solo não dependem apenas da porosidade total, mas também, e principalmente, de como o espaço poroso total é distribuído por tamanho. Os poros diferem em tamanho e forma, determinados pela forma, tamanho e arranjamento das partículas sólidas (PREVEDELLO, 1996). O cultivo e as culturas também afetam o espaço poroso.

KIEHL (1979) afirma que, embora as raízes se desenvolvam com porosidade de aeração acima de 10 %, o solo ideal deve apresentar um terço de macroporos e dois terços de microporos. TORMENA et al., (2002) relatam que a porosidade de aeração deve ficar entre 10 e 15 % para não ocorrer restrição ao crescimento e produtividade das maiorias das culturas. Dessa maneira os solos adquirem aeração, permeabilidade e capacidade satisfatória de reter água, proporcionando a produtividade desejada, ou seja, o solo com tais características consegue manter o equilíbrio entre as propriedades: condutividade hidráulica, aeração, capacidade de reter água e compactação.

Segundo STOLF (1987), nos solos argilosos a ocorrência de macroporos é relativa ou decorrente de sua estrutura, pois as condições físico-químicas e biológicas do solo permitem a agregação das partículas de argila, formando unidades maiores. Contudo, sob pressão, os agregados sofrem deformações, aproximando-se e unindo-se e, como conseqüência, reduzindo o tamanho dos poros.

Segundo KLEIN (2008), os macroporos estão relacionados com processos vitais para as plantas, devendo o ambiente pedológico ser preservado. ALBUQUERQUE, SANGOL e ENDER (2001) e ANDREOLA, COSTA e OLSZEVSKI (2000) estudando modelos de rotação de culturas, não encontraram diferenças nos valores de microporosidade e macroporosidade nas camadas superficiais e subsuperficiais entre os sistemas de produção estudados.

SIDIRAS, VIEIRA e ROTH (1984) e TORMENA et al. (2002), afirmam que o adensamento do solo tem sido verificado através do aumento da densidade do solo e da microporosidade, da diminuição da porosidade total e, sobretudo, da macroporosidade.

Em estudo realizado em um Latossolo Vermelho Escuro, ALVARENGA e DAVIDE (1999) verificaram que o cultivo anual promoveu a deterioração das características físicas com o aumento da microporosidade e densidade do solo e redução da macroporosidade do solo. Essa deterioração pode dificultar o desenvolvimento do sistema radicular e diminuir a disponibilidade de água para as plantas.

ASARE et al. (2001) e REICHERT et al. (2007) verificaram haver diferenças significativas na distribuição de macroporos, numa profundidade que varia de 0 a 40 cm, ocorrendo redução da porosidade de aeração do solo com o aumento da profundidade.

Segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1990); SPERA et al. (2004) relatam que a perda de porosidade está associada à redução do teor de matéria orgânica, ao efeito do impacto das gotas de chuva e à compactação pelo trânsito de máquinas/implemento e pisoteio animal, fatores estes que, causando uma diminuição no tamanho dos agregados, maiores reduzem, em conseqüência, o tamanho dos poros.

A matéria orgânica exerce ação cimentante na formação dos agregados do solo, proporcionando melhoria na estruturação com impacto na aeração, permeabilidade e infiltração de água no solo, atuando na redução da erosão (FURTINI NETO et al., 2001).

GRILLO e SCHMID (2010) verificaram em um Latossolo Vermelho Distróférrico, em sistema de integração, elevado teor de matéria orgânica nas camadas superficiais, reduzindo à medida que aumentou a profundidade de amostragem, nos sistemas de manejo testados.

GIAROLA et al. (2007) relatam que plantas com raízes fasciculadas favorecem a agregação do solo e formação de macroporos no mesmo, bem como a presença de canais e cavidades no solo resultante da atividade biológica existente, influenciando diretamente o aumento da macroporosidade do solo.

Dos efeitos danosos da degradação do solo pelo pisoteio animal, talvez a mais severa e que traz maiores limitações para o desenvolvimento das pastagens e lavouras subseqüentes seja a redução dos macroporos. Quando a macroporosidade diminui, as plantas apresentam diversos sintomas de deficiência, que não condizem com a análise química do solo e da solução do solo. Isso ocorre porque a redução da macroporosidade reduz a respiração do sistema radicular e, por isso, todas as funções do sistema radicular ficam prejudicadas (CAVALIERI et al., 2006).

Nos trabalhos de STONE e SILVEIRA (2001) e de SPERA et al. (2004), com sistemas de produção de grãos e integração lavoura-pecuária, sob plantio direto, foram observados maiores valores de densidade do solo e microporosidade e menores valores de porosidade total e de macroporosidade, na camada superficial, após algum tempo de cultivo.

FLORES (2004) não encontrou diferença significativa na densidade e na porosidade total de um Latossolo submetido ao pastejo de inverno em pastagem constituída por aveia-preta (*Avena strigosa* Schreber) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.).

MARCHÃO (2007), avaliando a qualidade física de um Latossolo vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária, observou que em quatro anos de pastagem de *Panicum maximum* em rotação com plantio direto, no cerrado, provocaram impacto na qualidade físico-hídrica do solo, na profundidade de 0 – 5 cm, em relação às demais pastagens

(*B. decumbens e brizantha*) e as áreas em plantio convencional. Observou que apesar de não promover aumento significativo na porosidade e na microporosidade, o plantio direto promove alterações no arranjo estrutural dos agregados que possivelmente lhe conferem maior microporosidade.

LANZANOVA et al.(2007), estudando um Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico típico, verificaram que no sistema com maior frequência de pastejo, a compactação de solo ocorreu nas camadas de 0 – 15 e 0 – 20 cm, quando avaliadas a macroporosidade do solo e porosidade total do solo, respectivamente.

SPERA et al. (2009) em Latossolo Vermelho distroférrico típico, estudaram sistemas de produção integrados de grãos com pastagens anuais e verificaram que a porosidade total, microporosidade e macroporosidade sofreram alterações, entretanto não foram suficientes para ocorrer a degradação do solo.

SPERA et al. (2010), estudando vários sistemas de produção de grãos integrados com pastagens anuais de inverno e de verão, verificaram em Latossolo Vermelho distroférrico típico, maiores valores de microporosidade, na camada 0 - 5 cm. E a porosidade total foi menor na camada 0 - 5 cm do que na camada 10 - 15 cm. Neste estudo, supõe-se que tenha havido acúmulo de resíduos culturais ou ação de sistema radicular de culturas na reestruturação do solo, restaurando a porosidade.

2.2.4. Compactação do Solo em Laboratório

O termo compactação do solo refere-se à compressão do solo não saturado durante a qual existe um aumento da densidade do solo em conseqüência da redução do seu volume. No entanto, devido à expulsão de água dos poros do solo, esse fenômeno passa a se chamar adensamento. Em ambos os casos essa redução de volume ocorre devido ao manejo inadequado do solo. Entretanto, quando a redução de volume ocorre devido processos

pedogenéticos, esse fenômeno denomina-se adensamento (DIAS JUNIOR, 1996; MASSAD, 2003).

A compactação é resultado da ação antrópica proveniente de meios mecânicos pela aplicação de pressão, ao contrário do adensamento que é um fenômeno acarretado por processos físicos e químicos resultantes de causas naturais (genéticas) ou antrópica. No entanto, os seus efeitos são praticamente os mesmos, do ponto de vista do uso e manejo agrícola (REICHERT et al., 2007).

A compactação do solo pode apresentar efeitos benéficos ou adversos. Efeitos benéficos têm sido atribuídos à melhoria do contato solo-semente e ao aumento da disponibilidade de água em anos secos, entretanto, a compactação excessiva pode limitar a adsorção e absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular, resultando em decréscimo da produção, aumento da erosão e da potência necessária para o preparo do solo (STONE et al., 2002; MEDEIROS et al., 2005).

Um dos principais problemas relacionados à compactação reside na realização de operações agrícolas com umidade inadequada para tráfego de máquinas. Essa situação acentua-se nas áreas irrigadas, quando a umidade do solo permanece freqüentemente na capacidade de campo e o solo apresenta condições para sofrer máxima compactação. Observando o comportamento diferenciado do solo na presença de água, destaca-se que, quando úmido, ele se comporta como um líquido, quando perde parte de sua água, torna-se plástico e, quando seco, torna-se quebradiço. Esses fatos são constatados pela prática de preparo do solo, quando se classifica o solo como fácil de trabalhar, quando molhado, e duro e impraticável para as operações mecanizadas, quando seco.

Segundo CAPUTO (1996), o comportamento plástico dos materiais fundamenta-se nas características tensão-deformação. Assim, um corpo elástico recupera toda a sua forma

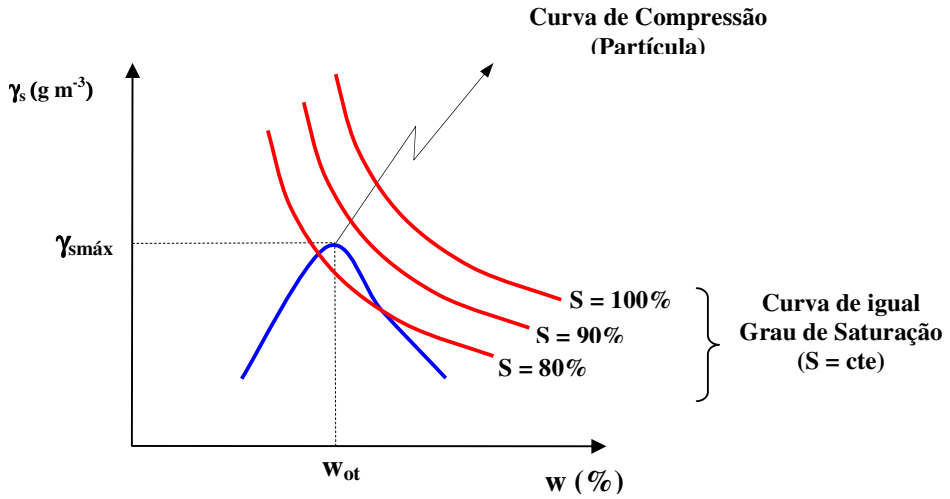
original quando cessa o esforço de compressão, enquanto que um corpo plástico deforma-se para qualquer tensão aplicada. Na prática, os materiais apresentam uma fase elástica até uma pressão limitante e outra fase plástica a partir desse limite. No caso dos solos, especialmente os argilosos, a deformação devido à aplicação de cargas também verificada e é influenciada pelo teor de água e pela carga aplicada.

A capacidade do solo à deformação é medida pela sua consistência que, segundo BAVER, GARDNER e GARDNER (1972), é definida como a manifestação das forças de coesão e adesão. Eles afirmam que, no teor de água em que os solos são friáveis, as condições são ótimas para todas as operações de trabalho. Logo, essa faixa de umidade é definida como um índice de trafegabilidade para as operações agrícolas, sendo determinada pelos limites de plasticidade e de contração. O mesmo autor define como índice de plasticidade a faixa de umidade determinada pelos limites de plasticidade e de liquidez. Observa-se que esse índice pode ser empregado para avaliar o potencial de compactação de um solo, pois, quanto maiores forem esses limites menor será a faixa de umidade útil para as operações agrícolas.

O ensaio de Proctor, segundo PINTO (2000), é a principal ferramenta utilizada na engenharia para avaliar as condições críticas de umidade para a compactação do solo. Consiste na aplicação de uma energia constante, em uma amostra do solo, para diferentes umidades deste solo, medindo-se a densidade da amostra ou o índice de vazios. Atualmente, tem-se utilizado esse ensaio para avaliar o potencial de compactação dos solos empregados na produção agrícola.

A função de compactação consiste na representação do peso específico (γ_s) em função da umidade. Geralmente, associa-se uma reta aos pontos ascendentes do ramo seco, outra aos pontos descendentes do ramo úmido e unem-se as duas por uma curva parabólica, conforme Figura 1.

Durante a compactação, as quantidades de partículas e de água permanecem constantes. O aumento da densidade corresponde à eliminação do ar dos poros do solo. A saída do ar é facilitada porque, quando a umidade não é muito elevada, o ar se encontra em forma de canalículos intercomunicados. A redução do atrito pela água e dos canalículos de ar permite uma densidade maior quando a umidade é maior. A partir de certo teor, entretanto, a compactação não consegue mais expulsar o ar dos vazios, pois o grau de saturação já é elevado e o ar está ocluso.



$\gamma_{smáx}$ = Peso Específico Seco Máximo.
w_{ot} = Umidade Ótima.

FIGURA 1 - Curva típica de compactação de solo
Fonte: MASSAD (2003)

Segundo CAPUTO (1996), o comportamento do solo pode ser explicado considerando-se que à medida que cresce o teor de água, até certo limite máximo, o solo torna-se mais trabalhável, daí resultando densidades maiores e teores de ar menores. Como, porém, não é possível expulsar todo o ar existente nos poros do solo, a curva de compactação real não alcança a curva de saturação (que é, teoricamente, a curva de porosidade de aeração igual a zero). A curva de compactação apresenta esse comportamento pois, quando a umidade é baixa, o solo endurece tornando difícil a compactação, ou seja, o atrito entre as partículas de

solo é máximo. À medida que se aumenta a umidade do solo, a água atua como lubrificante entre as partículas, tornando o solo mais trabalhável facilitando a orientação das partículas, durante o processo de compactação, até atingir configuração densa.

DIAS JUNIOR e ESTANISLAU (1999) comentam que, após atingir a umidade ótima de compactação, à medida que a umidade aumenta, a densidade do solo diminui, devido à baixa compressibilidade da água que ocupa a maioria dos poros para condições próximas da saturação.

Quando se aumenta o teor de água até um valor, a carga de compactação requerida para alteração da densidade do solo diminui. O valor crítico de umidade que produz máxima densidade e, portanto, máxima compactação, é definido como umidade ótima para compactação.

FIGUEIREDO (1998), analisando as umidades ótimas de compactação e comparando-as com o limite de plasticidade, observou que a umidade ótima de compactação foi menor do que o limite de plasticidade, fato também observado por outros autores como HOWARD, SINGER e FRANTZ (1981). Como o limite de plasticidade é o limite superior da zona de friabilidade do solo, conforme BAVER, GARDNER e GARDNER (1972), verificaram que a umidade ótima de compactação está contida na faixa de umidade, na qual o tráfego de máquinas é realizado. A partir dessas confirmações, o autor sugeriu que o tráfego de máquinas não deve ser realizado quando a umidade do solo for aproximadamente igual ao limite de plasticidade, evitando-se maiores riscos de compactação. Esses dados estão de acordo com PEREIRA et al. (1975).

2.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.519-531, 2004.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração agricultura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25 p. 717-723, 2001.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho–escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo.** Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-942. 1999.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 319-326, 1996.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEVSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. R. Bras. Ci. Solo, 24:857-865, 2000.

ARCHER, S.; SMEINS, F.E. Ecosystem-level processes. In: HEITSCHIMIDT, R.K.; STUTH, J.W. Grazing management: an ecological perspective. Portland, Timber Press, 1991. p.109-139.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. Revista Brasileira Ciência do Solo, 29:425-435, 2005.

ASARE, S. N. et al. Soil macroporosity distribution and trends in a no-till plot using a volume computer tomography scanner. **Journal Agriculture Research.** Australian, v. 78. p. 437-447. 2001.

ASSMANN, T. S.; RONZELLI JÚNIOR, P; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. **Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio.** R. Bras. Ci. Solo, 27:675-683, 2003.

ASSMANN, T.S.; ASSMANN, A.L.; SOARES, A.B.; CASSOL, L.C.; LUSTOSA, S.B.C. **Experiências em integração lavoura-pecuária em propriedades familiares no estado do Paraná.** CR-ROM. Simpósio Internacional em Integração Lavoura-Pecuária, Curitiba-PR, 2007.

BALBINO, L.C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUÉTIN, P.; GRIMALDI, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**, v.120, p.297-307, 2004.

BARBER, S. A.; MACKEY, A. D.; KUCHENBUCH, R. O.; BARRACLOUGH, S. Effect of soil temperature and water on maize root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 111, p. 267-269, 1988.

BASSANI, H. J. **Propriedades físicas induzidas pelo plantio direto e convencional em área pastejada e não pastejada**. Santa Maria, 1996. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria.

BAVER, L. D., GARDNER, W. H., GARDNER, W. R. **Soil physics.** 4 ed. New York: Wiley. 1972.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone. 1990. 355 p.
BETTERIDGE, K.; MACKAY, A. D.; SHEPHERD, T. G.; BARKER, D. J.; BUDDING, P. J.; DEVANTIER, B. P.; COSTALL, D. A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Journal Soil Research**, Austrália, v. 37 p. 743-760, 1999.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Resistência à penetração em Latossolos: valor limitante à limitante à produtividade de arroz de sequeiro. **Ciência Rural,** Santa Maria, v.34, n. 6, p. 1793-1800, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.

BICK, T. J.; SIEMENS, J. C. Crop response to wheel trafic soil compaction. Trans. **American Society Agriculture Engineers.**, Michigan, v. 34 p. 909-913, 1991.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDASKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação Física do solo por meio da Curva de Resistência do solo a penetração. R.Bras.Ci. Solo, 32:975-983, 2008.

BONA FILHO, A.; PELISSARI, A. Integração lavoura-pecuária com a cultura do feijoeiro e pastagem de inverno, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Scientia Agraria**, v.4, n.1-2, p.81-96, 2003.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduosvegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relaçõescom a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba, SP: ESALQ - Departamento de Ciência do Solo, 1997. 132 p.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações.** Fundamentos. 6 ed. v. 1, Rio de Janeiro, LCT, 1996. 234 p.

CASSOL, L. C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 157f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **R. Bras. Ci. Solo**, 30: 137-147, 2006.

CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. Revista Brasileira Ciência do Solo, 7:197-201, 1983.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.;KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do fejoeiro num Argissolo. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 41: 1663-1674, 2006.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; SILVA, F. R. Propriedades Físicas do solo em sistemas de manejo na Integração Agricultura-Pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.33, p. 235-244, 2009.

COTCHING, W. E.; BELBIN, K. C. Assessment of the influence of soil structure on soil strength/soil wetness relationships on Red Ferrosols in North-West Tasmania. Aust. J. Soil Res., 45:147-152, 2007.

DIAS JÚNIOR, M. S. **Notas de aula de física do solo**. Lavras, UFL, 1996. 168 p.

DIAS JUNIOR, M. S.; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e retenção de água de latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.23, p. 45-51, 1999.

DOUGLAS, J.T.; CRAWFORD, C.E. Soil compaction effects on utilization of nitrogen from livestock slurry applied to grassland. Grass and Forage Science, 53: 31-40, 1998.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B; COSTA, M. A. T. **Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.43, n.11, p.1583-1590, nov. 2008

FIGUEIREDO, L. H. A. **Propriedades físicas e mecânicas de um latossolo roxo submetido a diferentes sistemas de manejo.** Lavras, 1998, 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras.

FLORES, J. P. C. Atributos Físicos do Solo e Rendimento de Soja em Sistema Plantio Direto em Integração Lavoura-Pecuária com Diferentes Pressões de Pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.771-780, 2007.

FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **Glossário de ciência do solo.** Viçosa: UFV, 1992. 142 p.

FURTINI NETO, Antônio Eduardo; VALO, Fabiano Ribeiro do; RESENDE, Álvaro Vilela de et al. **Fertilidade do Solo.** Lavras: UFLA, 2001. 252 p.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.863-873, 2007.

GRILLO, J. F.; SCHMID, S. S. G. Influência De Um Sistema De Integração Lavourapecuária Sobre As Características Físicas De Um Latossolo Vermelho Distroférrico. In: XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. Soil Till. Res., 82:121-145, 2005.

HOWARD, R. F.; SINGER, J.; FRANTZ, G. A. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected california forest and range soils. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 45, n. 2, p. mar-apr. 1981.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JÚNIOR, M.S.; TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 11-18, 2001

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Applications of the resistance curve in the control of the physical quality of soils under grass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1493-1500, 2000.

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera.** São Paulo: Nobel, 1984.

KLAUS, R. **A água em sistemas agrícolas.** 1 ed. São Paulo: Manole, 1990.

KLEIN, V. A. **Física do solo.** Passo Fundo: Editora UPF, 2008. 212p.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. R. Ci. Agron., 5:26-32, 2006.
KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 959-964, 2000.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Revista Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola.** Jaboticabal, v.18, n. 2, p. 45-54. 1998.

KUCHENBUCH, R. D.; BARBER, S. A. Yearly variation of root distribuition with depth in relation to nutrient uptake and corn yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** New York, v. 18, n.3, p. 255-263, 1987.

LAFOND, J.; ANGERS, D. A.; VAVERDIÉRE, M. R. Compression characteristics of a clay soil as influenced by crops and sampling dates. **Soil Tillage Research**., Michigan, v. 22 p. 233-241, 1992.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R. da 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, v.31, p.1131-1140, 2007.

LAPEN, D. R; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G.; CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and com production, eastem Ontario, Canada. Soil & Tillage Research, v. 78, p. 151-170,2004.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n.3, 2004.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Least limiting water range: a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil & Tillage Research**, v.88, p.279-285, 2006.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, T. P.; LEÃO, T. P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do solo.** Viçosa, v.28, n. 6 nov/dez. 2004.

LUNARDI, R.; CARVALHO, P. C. F.; TREIN, C. R.; COSTA, J. A.; CAUDURO, G. F.; BARBOSA, C. M. P.; AGUINAGA, A. A. Q**.. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo.** Ciência Rural, v.38, n.3, mai-jun, 2008.

LUSTOSA, S. V. C. **Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema de plantio direto.** Curitiba, 1998. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1998.

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

MARCHÃO, R. L. **Integração lavoura–pecuária num latossolo do cerrado**: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna. 2007. 153p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

MASSAD, F. **Obras de terra:** Curso básico de geotecnia. São Paulo. Oficina de Textos, 2003. 170 p.

MEDEIROS, R. D. Soares, A. A.; Guimarães, R. M. Efeitos da compactação do solo e do manejo da água sobre os componentes de produção e a produtividade de grãos de arroz. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 29, n. 5, p. 960-967, set./out., 2005.

MELLO, A. N. Degradação física dos solos sob integração agricultura-pecuária. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1, 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco - PR: CEFET: PR, 2002. p. 43-60.

MELLO, L. M. M. et al. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: Produção de forragem e resíduo de palha após pastejo. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. 2002. Salvador – BA. **Anais...** Salvador: SBEA. CD-ROM. 2002.

MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: **Anais do 14º Simpósio sobre Manejo da Pastagem.** PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Eds). FEALQ. Piracicaba-SP, p. 55-81, 1997.

MORAES, A. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária no Sub-trópico da América do Sul: Exemplos do Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba. **Anais.** Curitiba: UFPR, 2007. CD-ROM.

MORAES, A.; LUSTOSA, S. B. C. Efeito do Pisoteio Animal sobre as Características do Solo e a Produção de Pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, Maringá - PR, 1997, Maringá -PR: Ed. Clóves Cabreira Jobim; Geraldo Tadeu dos Santos; Ulysses Cecato, 1997.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, J.S.; CARVALHO, P.C.F.; CASSOL, L.C. Integração lavoura – Pecuária no Sul do Brasil. ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1. 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco – PR. CEFET-PR, 2002. p. 3-42.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; RESCK, D. V. S. Compressibilidade de um latossolo vermelho argiloso de acordo com a tensão de água nos solo, uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 27, p. 773-781, 2003.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.327-336, 2004.

PEDÓ, F. Rendimento e distribuição de raízes de seis espécies de plantas em dois níveis de compactação do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. (Dissertação de Mestrado).

PEREIRA, V. P.; ANDRÉ, R. G. B.; ALMEIDA, A. de, VILELA; A. C. P.; FERREIRA, C. A. A. Estudo da provável faixa de umidades adequadas, para a realização dos trabalhos agrícolas, em solos pertencentes a quatro grandes grupos distintos. **Científica,** v. 4, n. 3, p. 261-273, 1975.

PETTER, R. L. **Desenvolvimento radicular da soja em função da compactação do solo, conteúdo de água e fertilidade em Latossolo.** Santa Maria, 1999. 144 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria.

PINTO, C. **Curso básico de mecânica dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247 p.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos.** Curitiba: UFPR, 1996. 446 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais.** 6. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 550 p.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5:49-134, 2007.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ci. Amb., 27:29-48, 2003.

REINERT, D. J.; COLLARES, G. L.; REICHERT, J. M. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: Desenvolvimento e teste de funcionalidade. Engenharia Agrícola, 27:304-316, 2007.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**. USA, v. 110, p. 131-146, 2002.

SAIBRO, J. C.; SILVA, J. L. S. Integração sustentável do sistema arroz *x* pastagens utilizando misturas forrageiras de estação fria no litoral norte do Rio Grande do Sul. In: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS DE CORTE, 4, 1999, Canoas. **Anais...** Canoas: ULBRA, 1999. p. 27-55.

SANDINI, I. E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; LUSTOSA, S.B.C.; NEUMANN, M.; RIOS, E. M.; ANDREOLLA, V. R. M. cultura do feijoeiro e nitrogênio: alternativas para o sistema de produção integração lavoura-pecuária. In: **Fertbio**, 2008, Londrina. Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental, 2008.

SHAFIQ, M.; HASSAN, A.; AHMAD, S. Soil physical properties as influenced by induced compaction under laboratory and field condictions. **Soil and Tillage Research.** Michigan, v. 29, p. 13-22, 1994.

SHIERLAW, J.; ALSTON, A. M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. **Plant and Soil,** Dordrecht, v. 77, p. 15-28, 1984.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 8, p. 265-268, 1984.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 29, n. 6, p. 833-842, 2005.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular das espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 25, p. 253-260, 2001.

SILVA, V. R. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 171p. (Tese de Doutorado)

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 24 p. 191-199, 2000.

SILVEIRA, E. R. **População de artrópodos e produtividade de milho em sistema de integração lavoura-pecuária**. Curitiba. 2007. 62f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SMUCKER, A. J. M.; ERICKSON, A. E. Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C., Mechanics and releted processes in structured agricultural soils. **NATO applied sciences**. Dordrecht, Kluwer Academic, v. 172. p. 205-221, 1989.

SPERA, S. T., SANTOS, H. P., FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos do solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:129-136, 2009.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural***,* v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004.

STOLF, R. A compactação do solo e a perspectiva da subsolagem em citrus. **Naranja**. São Paulo, v. 2. p. 283-308, 1987.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

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

STRECK, N. A. et al. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, São Paulo, v. 2, p. 131-142, 1994.

TAYLOR, H. M. et al. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science.** Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1996.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n.4, p.795-801, out/dez, 2002.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 333-339, 1996.

TORMENA, C. A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.22, n.4, p. 573-581, 1998.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja.** Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p.

UNGER, W. P.; KASPAR, T. C. Compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal,** Madison, v. 86, n. 5, p. 759-766, 1994.

VAN DEN AKKER, J. J. H. Construction of a wheel-load bearing capacity map of the Netherlands. In: BIBLIOTECA FRAGMENTA AGRONOMICA – ISTRO CONFERENCE, 14., Pulawy, 1997. **Proceedings**. Pulawy, Polish Society of Agrotechnical Sciences, 1997. p. 15-18.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 24, n. 3, p. 621-633, 2000.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; EUCLIDES, V. B. P. Sistemas integrados de producción agropastoril. In: GUIMARÃES, E.; SANZ, J. I., RAO, I. M.; MEZQUITA. E. A. **Sistemas agropastoriles en Sabanas Tropicales de América Latina**. Peru: Publicación CIAT n. 313. 1999. p. 245-283.

4. PASTEJO E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM ATRIBUTOS FÍSICOS, NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO FEIJÃO EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA[1]

Veruschka Rocha Medeiros Andreolla[2]; Aníbal de Moraes[3]; Amadeu Bona Filho[4]; Itacir Eloi Sandini[5]; Décio Lopes Cardoso[6]; Andreia K. Bonini[7]

RESUMO

Foi estudada a influência do pastejo e de doses nitrogênio em atributos físicos do solo (densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração) e na produtividade da cultura do feijoeiro, em um sistema de integração lavoura-pecuária. O delineamento foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e 3 repetições. Os tratamentos foram as dosagens de nitrogênio de 0, 75, 150 e 225 kg ha^{-1}, na pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) no inverno; e na sequência com cultura do feijão (*Phaseolus Vulgaris* Lam.) no verão. As subparcelas caracterizaram presença e ausência de pastejo. A Macroporosidade do solo, até o valor de 0,09 $m^3 m^{-3}$, não limita a produtividade do feijoeiro no sistema de Integração Lavoura-Pecuária. O pastejo com ovinos, em sistema de lotação contínua, e manutenção da massa de forragem de azevém, adubado com nitrogênio, não compromete a qualidade física do Latossolo Bruno. O pastejo no período de inverno permite elevada produtividade da cultura do feijoeiro mesmo em baixas doses de nitrogênio.

Palavras-chave: sistemas integrados, compactação do solo, azevém, pastagem.

GRAZING AND NITROGEN FERTILIZATION ON PHYSICAL ATTRIBUTES, AND YIELD OF BEANS IN A SYSTEM OF INTEGRATION PRODUCTION CROP–LIVESTOCK

---

[1] Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor ao Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR/Curitiba

[2] Engª Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal), Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR/Curitiba – PR, Fone: (0xx45) 9971 4766, e-mail: vandreolla@yahoo.com.br
[3] Engº Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo/UFPR, Curitiba – PR, co-orientador
[4] Médico Veterinário, Professor Doutor, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo/UFPR, Curitiba – PR orientador
[5] Engº Agrônomo, Professor Doutor, CEDETEG, UNICENTRO/Guarapuava - PR
[6] Engº Civil, Professor Doutor, CCET, UNIOESTE- Cascavel –PR
[7] Mestre em Engenharia Agrícola, CCET, UNIOESTE- Cascavel –PR

ABSTRACT

It was studied the influence of grazing and levels of nitrogen in soil physical properties (density, macroporosity, microporosity, total porosity and penetration resistance) and yield of beans in a system of crop-livestock integration. The experimental design was a split plots randomized blocks with three replications. The treatments were the nitrogen levels of 0, 75, 150 and 225 kg ha^{-1} in ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) in winter and by common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the summer. The subplots characterized the presence and absence of grazing. The macroporosity of the soil, until the value of 0.09 m^{-3} m^{-3} does not limit the yield of beans in the system of Crop-Livestock Integration. Grazing by sheep in continuous stocking, and maintenance of herbage mass of ryegrass fertilized with nitrogen does not compromise the physical quality of the Typicall Bruno soil. Grazing during the winter allows good levels of yield for beans even at low levels of nitrogen.

Key-words: integrated systems, soil compaction, ryegrass, grazing.

INTRODUÇÃO

No Sul do Brasil, em áreas de integração lavoura-pecuária (ILP), a época destinada ao pastejo ocorre no período de inverno-primavera. Em manejo inapropriado, quando trabalha-se com lotações excessivas, aumenta-se a quantidade de solo descoberto provocado pelo pisoteio excessivo, promovendo uma aceleração do processo de selamento superficial, resultando na compactação do mesmo, aumentando a densidade e alterando a porosidade total, macroporosidade e resistência à penetração (MELLO, 2002; LIMA et al. 2004). Em consequência disso, a produção das culturas subsquentes ao pastejo de inverno pode ser significativamente afetada.

Porém, quando a carga animal é adequada à disponibilidade de forragem, as alterações desses atributos físicos são pequenas e não causam qualquer dano à cultura em sucessão ao pastejo em safras sem a ocorrência de períodos de estiagem (SILVA et al., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2001; CASSOL, 2003). Portanto, a carga animal praticada pode ser aumentada em pastagens que recebem adubação nitrogenada, tendo em vista que o nitrogênio proporciona maior produção de forragem (BRAIDA et al., 2006).

FLORES et al. (2007), estudando os atributos físicos do solo, em sistema de plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo, verificou que após o ciclo de pastejo, não houve alterações na densidade, na porosidade e na compressibilidade, independentemente da altura da pastagem. A densidade e a compressibilidade foram maiores e a porosidade menor nas áreas pastejadas, em relação à não-pastejada. A produtividade da soja não foi afetada pelas alterações nos atributos físicos do solo.

De acordo com FIDALSKI et al. (2008), em um Latossolo Vermelho distrófico pastejado em sistema de lotação contínua, com controle da taxa de lotação animal em função da produção de forragem, não comprometeu a qualidade física do solo.

REICHERT et al. (2003) propuseram densidade absoluta do solo crítica (Ds) para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 g cm^{-3} para solos argilosos, 1,40 a 1,50 g cm^{-3} para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 g cm^{-3} para os franco-arenosos.

Práticas que favorecem o crescimento de raízes em pastagens podem reduzir os efeitos mecânicos do pisoteio. A adubação da pastagem com nitrogênio pode ser uma estratégia para aumentar a produção de forragem e reduzir a compactação superficial ocasionada pelo pisoteio, pois atenua a pressão aplicada na superfície (BRAIDA et al., 2006) e promove a descompactação biológica do solo (ABREU et al., 2004).

No sistema integração lavoura-pecuária, busca-se conciliar a melhor resposta do animal por unidade de área, com a alta produtividade de grãos no verão, avaliando-se a carga

animal praticada, doses de fertilização nitrogenada, a influência do pastejo e época de retirada dos animais da pastagem.

O presente trabalho foi conduzido objetivando-se estudar a influência do pastejo e das doses de nitrogênio, em atributos físicos do solo (densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração) e na produtividade da cultura do feijoeiro, em um sistema de integração lavoura-pecuária.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental do campus da Universidade Estadual do Centro-Oeste, no município de Guarapuava (PR), cujas coordenadas geográficas são 25º 33'latitude Sul e 51º 29'longitude Oeste.

A área experimental estava sendo utilizada para culturas em sistema de plantio direto desde o ano 2004. No Quadro 1 são apresentadas as rotações de culturas realizadas até o verão 06/07.

QUADRO 1 – Rotações de cultura realizadas de 2004 a 2007.

Estação	Culturas
Inverno 2004	Cereais
Verão 04/05	Soja (*Glycine max*)
Inverno 2005	Pousio
Verão 05/06	Milho (*Zea mays*) para silagem
Inverno 2006	Azevém
Verão 06/07	Feijão
Inverno 2007	Azevém e aveia

O clima da região é o Cfb, subtropical mesotérmico úmido, com verões frescos e inverno moderado, conforme a classificação de Köppen (MAAK, 1968), com temperatura média no mês mais frio inferior a 18^0 C e temperatura média do mês mais quente inferior a 22^0 C. A região não apresenta estação seca definida e ocorrem geadas severas e freqüentes. A

precipitação pluviométrica anual varia de 1400 a 1800 mm, sendo os meses de abril, maio e agosto os de menores precipitações. A altitude média é 1100 m (IAPAR, 1994).

Foi efetuado o balanço hídrico do ano de 2006 e 2007 (Figura 1), que compreende ao período de realização do experimento de forma a verificar a ocorrência de deficiência hídrica. A metodologia empregada foi a de THORNTHWAITE; MATHER (1955) utilizando-se para cálculo a planilha eletrônica desenvolvida por ROLIM et al. (1998).

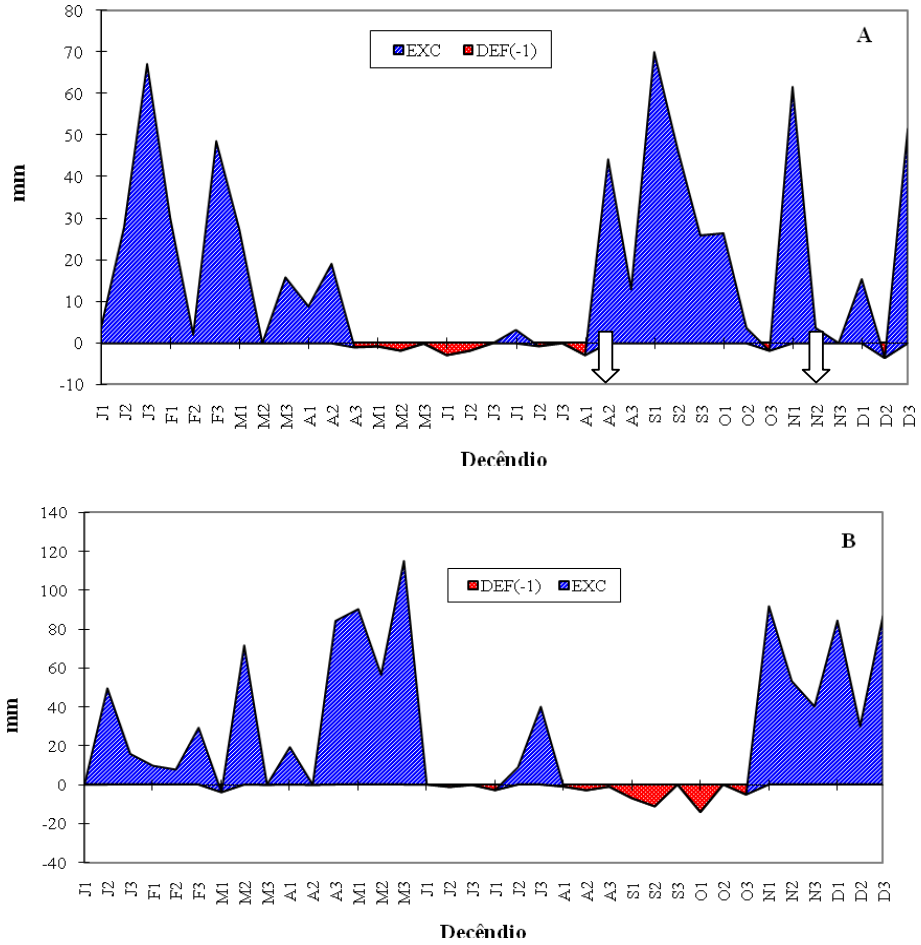


FIGURA 1 - Balanço hídrico seqüencial de cada intervalo de 10 dias, durante os anos de 2006 (A) e 2007 (B), Guarapuava, PR. As setas indicam a época do pastejo dos ovinos em 2006.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Bruno Distroférrico típico (EMBRAPA, 2006).

Para a análise química (Tabela 1), procedeu-se a amostragem de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm do perfil em maio de 2006, antes da instalação do experimento.

Determinou-se a textura do solo pelo método da pipeta (Tabela 2) e a densidade de partículas pelo método do álcool (Tabela 3), segundo (EMBRAPA, 1997).

TABELA 1 – Parâmetros químicos do solo nos anos de 2006, Guarapuava (PR)
TABLE 1 – Soil chemical parameters in the years of 2006, Guarapuava (PR)

Mehlich

	Prof.	pH	g/dm^3	mg/dm^3	Complexo Sortivo (cmol$_c$/dm^3)					pH 7,0	V
Ano	(cm)	(CaCl$^{2)}$	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	(%)
2006	0 a 5	5,24	52,88	5,87	0,49	5,03	2,85	0,00	5,18	13,55	61,81
	5 a 10	5,19	46,61	2,95	0,23	4,62	2,90	0,00	5,01	12,77	60,70
	10 a 15	5,24	45,94	2,67	0,21	4,56	2,84	0,00	4,73	12,33	61,59
	Média	5,22	48,48	3,83	0,31	4,74	2,86	0,00	4,98	12,88	61,37

TABELA 2 – Caracterização da textura do solo (g kg^{-1}) na fase inicial do experimento, em 2006, Guarapuava, PR.
TABLE 2 - Characterization of the soil texture (g kg^{-1}) in the initial phase of the experiment, 2006, Guarapuava, PR.

Camadas (cm)	**Areia (g kg^{-1})**	**Silte (g kg^{-1})**	**Argila (g kg^{-1})**
0-5	80,38	305,91	613,72
5-10	70,43	316,50	613,06
10-15	76,79	308,04	615,17

TABELA 3 – Densidade de partículas (Mg m^{-3}**)** na fase inicial do experimento, em 2006, Guarapuava, PR.
TABLE 3 - Particle density (Mg m^{-3}) in the initial phase of the experiment, 2006, Guarapuava, PR.

Camadas (cm)	**Com Pastejo (Mg m^{-3})**	**Sem Pastejo (Mg m^{-3})**
0-5	2,53	2,54
5-10	2,55	2,53
10-15	2,61	2,55

Delineamento Experimental

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso com parcelas subdividas e 3 repetições. As parcelas foram constituídas pelas dosagens de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha^{-1}, na integração de pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), no inverno, com

cultura do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* Lam.), no verão. As subparcelas foram com e sem pastejo.

A área experimental total compreendeu 3,1 hectares (ha), dos quais foram utilizados 2,6 ha, subdivididos em três blocos de 0,88 ha, sendo cada bloco dividido em 4 parcelas de 0,22 ha. Em cada parcela foi isolada uma área de 96 m^2, que permaneceu sem pastejo. Os 0,5 ha restantes foram utilizados para a manutenção dos animais reguladores enquanto não estavam no experimento. Os tratamentos corresponderam a quatro doses de nitrogênio (N), na forma de uréia (45 % de N) sendo: 0 kg de N ha^{-1}; 75 kg de N ha^{-1} de N; 150 kg de N ha^{-1}; e 225 kg de N ha^{-1} na pastagem (Apêndice).

Manejo da pastagem

A semeadura da pastagem foi efetuada, em Sistema de Plantio Direto, no dia 06 de junho de 2006 com emergência ocorrida no dia 16 de junho. Utilizou-se 45 kg ha^{-1} de sementes de azevém, com espaçamento entre linhas de 17 cm. Foi utilizada adubação de base, no momento da semeadura da pastagem, de 0 kg ha^{-1} de N, 60 kg ha^{-1} P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} K_2O, conforme as RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA OS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL (1995). Após 35 dias da semeadura (11 de julho de 2006), foi efetuada aplicação única de uréia em cobertura de acordo com os tratamentos.

O pastejo ocorreu do dia 13 de agosto até o dia 11 de novembro, totalizando 90 dias. Foram utilizados 72 cordeiros testes desmamados com idade média de dois meses e peso vivo inicial de 24,7 kg ± 0,57 kg, das raças Texel e Ile de France e seus mestiços. Os animais foram distribuídos aleatoriamente em 12 lotes de 6 cordeiros nas parcelas e mantidos no azevém em sistema de lotação contínua, com carga variável, objetivando manter a altura da pastagem entre 14 e 15 cm (MOOT; LUCAS, 1952), seguindo recomendações de FREITAS (2003). Assim, os ajustes da lotação foram feitos periodicamente em intervalos de 3 dias,

considerando a relação entre a altura e a massa de forragem, segundo CARVALHO et al. (2001).

A carga animal foi obtida pelo somatório do peso médio dos animais testes e o peso médio dos animais reguladores, multiplicado pelo número de dias que permaneceram na unidade experimental. O valor encontrado foi dividido pelo número de dias de pastejo e expresso em quilograma de peso vivo por hectare (kg/Pv).

Cultura do Feijoeiro

Os animais foram retirados 19 dias antes da dessecação da pastagem (04/12/06), que foi realizada com 2,5 L ha^{-1} do grupo químico derivado da glicina (glyphosate).

No dia 11/12/06 foi realizada a semeadura do feijão em sistema de plantio direto, com espaçamento de 40 cm e densidade de 15 sementes por metro linear entre linhas. A emergência ocorreu em 16/12/06. A variedade utilizada foi FTS Soberano (tipo preto), hábito de crescimento indeterminado, porte ereto, ciclo médio até o florescimento de 50 dias, e de 100 dias até a maturação, adaptada a colheita mecanizada e moderadamente resistente as principais doenças da cultura.

O feijoeiro recebeu adubação de base com fósforo, na dosagem de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 (fonte – Superfosfato triplo) e adubação de cobertura com potássio (fonte – cloreto de potássio), na quantidade de 190 kg ha^{-1} de K_2O. Quanto ao nitrogênio o mesmo não foi aplicado na cultura.

O controle de plantas daninhas, pragas e doenças do feijão foi realizado durante todo o ciclo da cultura conforme recomendações técnicas (ARAÚJO et al., 1996).

As plantas daninhas foram controladas por ocasião da dessecação, complementado pela utilização seqüêncial (dias 27/12/06 e 03/01/07) de fluazilop-p-butil + fomesafen (100 + 125 g ha^{-1} por aplicação). As principais plantas daninhas presentes na área foram *Brachiaria plantaginea*, *Digitaria horizontalis*, *Ipomoea* spp., *Spermacoce latifolia*, *Lolium multiflorum.*

As pragas foram controladas com deltrametrina (5 g ha^{-1}), na dessecação, e com 40 e 45 g ha^{-1}, nos dias 03/01/07 e 03/02/07, respectivamente, com tiametoxam. As principais pragas observadas foram as lagartas e *Diabrotica speciosa*. As doenças foram controladas pelo uso de azoxistrobina, na dosagem de 61 g ha^{-1}, nos dias 13/01/07 e 03/02/07. As principais doenças observadas no feijoeiro foram a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e a mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*).

A produtividade do feijoeiro foi determinada em área útil de 3,2 m^2 (2 linhas x 0,4 m x 4 metros) e, depois da correção de umidade para 13 %, o valor foi convertido para kg ha^{-1} e a colheita do feijão foi realizada em 10/03/2006.

Avaliações dos atributos físicos do solo

As camadas de amostragem foram 0-5, 5-10 e 10-15 cm, com duas repetições, sendo as coletas realizadas nas seguintes datas: Fase 1 - **Início do experimento (Pré-plantio da pastagem -** 03/06/2006), Fase 2 - **Após pastejo dos animais** (03/12/2006) e Fase 3 - **Após colheita do feijoeiro** (30/03/2007).

A densidade absoluta do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico, a porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram determinadas pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997).

Análise Estatística

Os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância pelo programa SISVAR (FERREIRA, 2000). As variáveis que apresentaram variâncias homogêneas tiveram os tratamentos avaliados pelo Teste F. Quando os resultados revelaram significância ao nível de 5%, às médias dos fatores qualitativos (Pastejo) foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5%. Para os fatores quantitativos (N), foram ajustadas equações de regressão

polinomial (modelos linear e quadrático) entre as doses de N (variável independente) com as variáveis avaliadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 está apresentado, por decêndio o extrato do balanço hídrico dos anos de 2006 e 2007 do período em estudo. Não foi constatada deficiência hídrica para a cultura do feijoeiro e para a pastagem. Ao contrário, o pastejo ocorreu sob período chuvoso o que pode ter contribuído também para explicar o aumento temporário da Ds, já que este aumento ocorre quando o pisoteio animal se dá sobre o solo com umidade elevada e baixa cobertura (BETTERIDGE et al., 1999; MELLO et al., 2002 e LIMA et al., 2004).

Para a carga animal utilizada (média de 1146,85 kg/Pv ha^{-1}), os maiores efeitos do pisoteio ocorreram nas camadas superficiais do solo. Isto pode ser atribuído à menor pressão mecânica exercida sobre o solo (BETTERIDGE et al., 1999) devido a produção de fitomassa da pastagem, bem como a ação descompactadora das raízes (LUNARDI, 2008).

Não foi observada significância da interação entre os fatores doses de N e pastejo para todos os atributos físicos do solo avaliados (densidade absoluta, macroporosidade, microporosidade e porosidade total).

Densidade Absoluta do Solo (Ds)

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios da Ds nas camadas de 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 15 cm, no início do experimento (fase 1), após a retirada dos animais (fase 2) e após a colheita do feijoeiro (fase 3).

Em geral, os dados de Ds não atingiram os valores limitantes (1,25 – 1,3 Mg m^{-3}) ao desenvolvimento da planta citados por REICHERT et al. (2003). ARGENTON et al. (2005) constataram que, em Latossolo Vermelho argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com

densidade do solo próxima de 1,30 g cm^{-3}, e KLEIN (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, observou que a densidade limitante foi de 1,33 g cm^{-3}.

TABELA 4 – Densidade absoluta do solo (Mg m^{-3}), nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2007, Guarapuava, PR.

TABLE 4 - Soil density (Mg m^{-3}), in the layers 0-5, 5-10 and 10-15 cm, in the experiment phases, 2007, responses in the conditions with and ungrazed, 2007, Guarapuava, PR.

	Fase 1 Inicio do experimento		**Fase 2 Após pastejo dos animais**		**Fase 3 Após colheita do feijoeiro**	
			Camada 0 – 5 cm			
Dosagens de N (kg. ha^{-1})	**Com pastejo**	**Sem pastejo**	**Com pastejo**	**Sem pastejo**	**Com pastejo**	**Sem pastejo**
0	1,09 a	0,99 a	1,13 a	1,11 a	1,09 a	1,11 a
75	1,04 a	0,90 b	1,16 a	1,11 a	1,11 a	1,11 a
150	1,06 a	1,02 a	1,14 a	1,10 a	1,09 a	1,05 a
225	1,10 a	0,99 a	1,12 a	1,07 a	1,14 a	1,12 a
Médias	**1,07 a**	**0,97 b**	**1,14 a**	**1,10 a**	**1,11 a**	**1,10 a**
	Média geral= 1,03; CV (%) = 4,10; DMS = 0,06		Média geral= 1,12; CV (%) = 4,22; DMS = 0,05		Média geral= 1,10; CV (%) = 4,64; DMS = 0,05	
			Camada de 5-10 cm			
0	1,10 a	1,05 a	1,14 a	1,10 a	1,11 a	1,08 a
75	1,06 a	0,95 b	1,07 a	1,11 a	1,13 a	1,10 a
150	1,09 a	1,01 a	1,19 a	1,10 b	1,14 a	1,14 a
225	1,11 a	0,99 b	1,08 a	1,08 a	1,17 a	1,08 b
Médias	**1,09 a**	**1,00 b**	**1,12 a**	**1,10 a**	**1,14 a**	**1,10 b**
	Média geral = 1,04; CV (%) = 6,14; DMS = 0,08		Média geral= 1,11; CV (%) = 3,38; DMS = 0,04		Média geral= 1,12; CV (%) = 2,89; DMS = 0,06	
			Camada de 10 -15 cm			
0	1,08 a	0,99 b	1,15 a	1,13 a	1,08 a	1,08 a
75	1,07 a	0,95 b	1,12 a	1,12 a	1,15 a	1,13 a
150	1,09 a	1,07 a	1,14 a	0,98 b	1,14 a	1,13 a
225	1,11 a	1,02 b	1,04 a	1,02 a	1,11 a	1,14 a
Médias	**1,09 a**	**1,01 b**	**1,11 a**	**1,06 b**	**1,12 a**	**1,12 a**
	Média geral= 1,05; CV (%) = 7,14; DMS = 0,09		Média geral= 1,09; CV (%) = 3,47; DMS = 0,07		Média geral= 1,12; CV (%) = 4,12; DMS = 0,09	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Independente da dose de N e da análise realizada após o período de pastejo, a Ds na camada de 0-5 cm foi maior na área pastejada. Porém este efeito foi temporário, pois após a colheita do feijão a Ds não diferiu estatisticamente entre as áreas com e sem pastejo. Este resultado indica uma melhoria na qualidade física do solo decorrente possivelmente dos benefícios da adição de matéria orgânica do azevém, do feijoeiro e dos excrementos dos cordeiros, bem como da ação descompactadora das raízes da forragem e do feijoeiro, da atividade da fauna edáfica e de raízes, as quais atuam na formação de canais (bioporos). Estes

resultados são semelhantes aos obtidos por ALBUQUERQUE et al. (1995) e BERTOL et al. (2000).

Maiores valores de Ds (1,16 g cm^{-3}) foram observados por IMHOFF et al. (2000) e LEÃO et al. (2004) em sistema de pastejo contínuo de bovinos com lotação animal média nos piquetes foi de 1,68 UA ha^{-1} (unidade animal por hectare). Os autores verificaram que o pisoteio aumentou a Ds; por outro lado, o sistema radicular das plantas reduziu este atributo. Esses resultados correspondem aos efeitos verificados para o pisoteio animal e àqueles observados para a cultura do feijoeiro neste trabalho. Esse comportamento também foi observado por BALL et al. (1997), OLIVEIRA et al. (2003) e ANDREOLLA e GABRIEL FILHO (2006).

Macroporosidade do Solo

Na Tabela 5, são apresentados os valores médios de macroporosidade.

Os resultados observados nas fases 1, 2 e 3 para doses de N e pastejo revelam alguns valores abaixo do índice crítico (0,10 m^3 m^{-3}), os quais são considerados restritivos ao crescimento vegetativo segundo REINERT et al. (2006). No entanto, ANDREOLLA et al. (2008), encontrou valores de macroporosidade entre 0,05 e 0,07 m^3 m^{-3}, na camada de 0 – 5 cm, constatando que no sistema de ILP esse índice não é fator limitante para o desenvolvimento radicular das plantas.

De acordo com MELLO (2002) o crescimento das raízes se dá preferencialmente pelos macroporos, no entanto quando o volume diminui, o desenvolvimento radicular fica prejudicado e isso fica mais evidenciado quando ocorre exposição ao pisoteio animal. Neste sentido, FLORES (2007) em trabalho sobre Latossolo Vermelho distroférrico típico, com textura argilosa, na camada de 0 - 20 cm relata que o pisoteio animal não causa compactação do solo em áreas com pasto de aveia mais azevém, manejado de 10 a 40 cm de altura. Porém, ao longo do tempo, a maior pressão de pastejo causa diminuição da macroporosidade na

camada de 0 - 2,5 cm de profundidade, o que está de acordo com os resultados obtidos nesse trabalho.

TABELA 5 – Macroporosidade (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2007, Guarapuava, PR.

TABLE 5 – Macroporosity (m^3 m^{-3}) in the layers of 0-5, 5-10 and 10-15 cm, in the experiment phases, responses in the conditions with and ungrazed, 2007, Guarapuava, PR.

	Fase 1 Inicio do experimento		**Fase 2** Após pastejo dos animais		**Fase 3** Após colheita do feijoeiro	
			Camada de 0 - 5 cm			
Dosagens de N (kg. ha^{-1})	**Com pastejo**	**Sem pastejo**	**Com pastejo**	**Sem pastejo**	**Com pastejo**	**Sem Pastejo**
0	0,13 a	0,17 a	0,13 a	0,09 a	0,09 a	0,11 a
75	0,15 b	0,22 a	0,08 a	0,10 a	0,08 a	0,08 a
150	0,14 a	0,16 a	0,09 a	0,09 a	0,11 a	0,12 a
225	0,12 b	0,19 a	0,11 a	0,09 a	0,08 a	0,08 a
Médias	**0,14 b**	**0,18 a**	**0,10 a**	**0,09 a**	**0,09 a**	**0,10 a**
	Média geral=0,16; CV(%)=29,80; DMS = 0,07		Média geral= 0,10; CV (%) = 23,92; DMS = 0,04		Média geral= 0,10; CV (%) = 23,59; DMS = 0,03	
			Camada de 5 - 10 cm			
0	0,12 b	0,16 a	0,12 a	0,13 a	0,11 a	0,11 a
75	0,15 a	0,19 a	0,11 a	0,13 a	0,07 a	0,11 a
150	0,13 a	0,15 a	0,08 a	0,12 a	0,08 a	0,08 a
225	0,11 b	0,18 a	0,13 a	0,12 a	0,08 a	0,11 a
Médias	**0,13 b**	**0,17 a**	**0,11 a**	**0,12 a**	**0,08 a**	**0,10 a**
	Média geral= 0,15; CV (%) = 23,56; DMS = 0,07.		Média geral= 0,12; CV (%) = 27,20; DMS = 0,04		Média geral= 0,09; CV (%) = 25,55; DMS = 0,02	
			Camada de 10 - 15 cm			
0	0,10 b	0,18 a	0,10 a	0,12 a	0,10 a	0,11 a
75	0,15 a	0,20 a	0,13 a	0,10 a	0,07 a	0,06 a
150	0,14 b	0,14 a	0,14 b	0,21 a	0,08 a	0,08 a
225	0,10 b	0,16 a	0,15 a	0,12 a	0,09 b	0,11 a
Médias	**0,12 b**	**0,17 a**	**0,13 a**	**0,13 a**	**0,08 a**	**0,09 a**
	Média geral= 0,15; CV (%) = 21,54; DMS = 0,07		Média geral= 0,13; CV (%) = 15,42; DMS = 0,03		Média geral= 0,09; CV (%) = 19,77; DMS = 0,02	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Microporosidade do Solo

Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios de microporosidade.

Verificou-se que não ocorreu diferença significativa para as fases 2 e 3 nas camadas estudadas para todas as profundidades estudadas. Conforme observado por ALBUQUERQUE et al. (1995), ANDREOLA et al. (2000) e SPERA et al. (2004a).

Comparando a fase 3 com a fase 1 nota-se que na camada de 0 - 5 e 5 – 10 cm, há uma tendência de valores superiores de microporosidade para a fase 3 (após a colheita do feijão).

Porém, os dados de microporosidade estão coerentes com os dados de macroporosidade apresentados na tabela 5, demonstrando a relação inversa entre macro e microporosidade.

TABELA 6 – Microporosidade (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2007, Guarapuava, PR.

TABLE 6 – Microporosity (m^3 m^{-3}) in the layers, 0-5, 5-10 and 10-15 cm, in the experiment phases, responses in the conditions with and ungrazed, 2007, Guarapuava, PR.

	Fase 1		**Fase 2**		**Fase 3**	
	Inicio do experimento		**Após pastejo dos animais**		**Após colheita do feijoeiro**	
			Camada de 0-5 cm			
Dosagens de N (kg. ha^{-1})	**Com Pastejo**	**Sem pastejo**	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**	**Com pastejo**	**Sem Pastejo**
0	0,47[a]	0,45 a	0,45 a	0,48 a	0,52 a	0,50 a
75	0,40 a	0,43 a	0,51 a	0,45 a	0,48 a	0,51 a
150	0,46 a	0,45 a	0,47 a	0,47 a	0,46 a	0,50 a
225	0,49 a	0,41 b	0,47 a	0,48 a	0,49 a	0,46 a
Médias	**0,45 a**	**0,43 a**	**0,47 a**	**0,47 a**	**0,49 a**	**0,49 a**
	Média geral= 0,44; CV (%) = 5,45; DMS = 0,05		Média geral= 0,47; CV (%) = 7,18; DMS = 0,07		Média geral= 0,49; CV (%) = 4,36; DMS = 0,03	
			Camada de 5-10 cm			
0	0,48 a	0,43 b	0,43 a	0,47 a	0,48 a	0,52 a
75	0,43 a	0,44 a	0,47 a	0,41 a	0,49 a	0,47 a
150	0,43 a	0,47 a	0,45 a	0,45 a	0,48 a	0,40 b
225	0,48 a	0,43 b	0,42 a	0,47 a	0,48 a	0,50 a
Médias	**0,46 a**	**0,45 a**	**0,44 a**	**0,45 a**	**0,48 a**	**0,47 a**
	Média geral= 0,45; CV (%) = 3,18; DMS = 0,05		Média geral= 0,45; CV (%) = 7,39; DMS = 0,04		Média geral= 0,48; CV (%) = 4,13; DMS = 0,02	
			Camada de 10 – 15 cm			
0	0,53 a	0,43 b	0,48 a	0,44 a	0,43 b	0,48 a
75	0,46 a	0,43 a	0,42 a	0,46 a	0,51 a	0,52 a
150	0,46 a	0,44 a	0,43 a	0,40 a	0,48 a	0,48 a
225	0,53 a	0,47 b	0,44 a	0,48 a	0,48 a	0,47 a
Médias	**0,50 a**	**0,45 b**	**0,44 a**	**0,44 a**	**0,48 a**	**0,49 a**
	Média geral= 0,47; CV (%) = 2,72; DMS = 0,05		Média geral= 0,44; CV (%) = 8,03; DMS = 0,03		Média geral= 0,48; CV (%) = 2,97; DMS = 0,04	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Assim, em geral, ocorreu uma redução da macroporosidade e aumento da microporosidade, que se concentraram na fase 3, nas três camadas estudadas, atingindo valores limites considerados críticos ao desenvolvimento das plantas (REICHERT et al., 2003; REINERT et al., 2006).

Porosidade Total do Solo (Pt)

Na Tabela 7 estão apresentados os valores de Pt (m^3 m^{-3}).

Na fase 2, não houve diferença significativa nas camadas estudadas. Na fase 3, na média geral, ocorreu diferença significativa na camada de 10 – 15 cm. Observando que ocorreu uma tendência de diminuir os valores de Pt após o pastejo em todas as camadas. Valores de porosidade total observados em todas as fases e camadas estudadas são semelhantes aos observados por SPERA et al. (2004b); ANDREOLLA et al. (2008b); LANZANOVA et al. (2007).

TABELA 7 – Porosidade Total (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2007, Guarapuava, PR.

TABLE 7 – Total porosity (m^3 m^{-3}) in the layers, 0-5, 5-10 and 10-15 cm, in the experiment phases, responses in the conditions with and ungrazed, 2007, Guarapuava, PR.

	Fase 1 Inicio do experimento		**Fase 2 Após pastejo dos animais**		**Fase 3 Após colheita do feijoeiro**	
			Camada de 0-5 cm			
Dosagens de N (kg. ha^{-1})	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**
0	0,60 a	0,62 a	0,55 a	0,56 a	0,61 a	0,62 a
75	0,55 b	0,64 a	0,55 a	0,56 a	0,56 a	0,58 a
150	0,60 a	0,61 a	0,55 a	0,58 a	0,57 b	0,61 a
225	0,61 a	0,60 a	0,56 a	0,57 a	0,58 a	0,54 b
Médias	**0,59 b**	**0,62 a**	**0,55 a**	**0,57 a**	**0,58 a**	**0,59 a**
	Média geral= 0,60; CV (%) = 5,25; DMS = 0,03		Média geral= 0,56; CV (%) = 4,00; DMS = 0,03		Média geral= 0,58; CV (%) = 3,48; DMS = 0,02	
			Camada de 5-10 cm			
0	0,60 a	0,59 a	0,55 a	0,58 a	0,59 b	0,63 a
75	0,58 b	0,63 a	0,58 a	0,54 a	0,56 b	0,59 a
150	0,56 b	0,62 a	0,53 a	0,57 a	0,56 a	0,48 b
225	0,59 a	0,61 a	0,55 a	0,59 a	0,57 b	0,60 a
Médias	**0,58 b**	**0,61 a**	**0,56 a**	**0,57 a**	**0,57 a**	**0,57 a**
	Média geral= 0,60; CV (%) = 4,36; DMS =0,03		Média geral= 0,56; CV (%) = 4,10; DMS = 0,02		Média geral= 0,57; CV (%) = 2,08; DMS = 0,02	
			Camada de 10 – 15 cm			
0	0,63 a	0,61 a	0,58 a	0,56 a	0,53 b	0,59 a
75	0,61 a	0,63 a	0,55 a	0,56 a	0,59 a	0,59 a
150	0,60 a	0,58 a	0,57 a	0,61 a	0,56 a	0,56 a
225	0,63 a	0,63 a	0,59 a	0,59 a	0,57 a	0,58 a
Médias	**0,62 a**	**0,61 a**	**0,57 a**	**0,58 a**	**0,56 b**	**0,58 a**
	Média geral= 0,61; CV (%) = 4,51; DMS = 0,04		Média geral= 0,58; CV (%) = 3,35; DMS = 0,03		Média geral= 0,57; CV (%) = 3,21; DMS = 0,04	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Sendo a porosidade total o resultado da soma obtida por valores de macroporosidade e microporosidade, os valores observados nas tabelas 4, 5, 6 e 7, apresentam boa consistência quanto as médias obtidas. Assim, maiores valores de macroporosidade nas camadas

superficiais podem explicar por que a Ds foi menor na camada superficial do que na mais profunda, enquanto para porosidade total ocorreu o inverso.

A aplicação de doses de N e o estudo de áreas pastejadas na integração lavoura–pecuária demonstraram que os atributos físicos do solo têm comportamento diversificado perante a aplicação dessas dosagens e a implantação de carga animal. No entanto, apesar da macroporosidade ter atingido valores críticos, esses não limitaram o cultivo anual subseqüente. A influência da presença de animais na compactação do solo é condicionada ao manejo empregado nas pastagens. No entanto, o efeito do pisoteio animal sobre os atributos físicos do solo é limitado às camadas mais superficiais, podendo ser temporário e reversível, pela cultura utilizada em seqüência ao pastejo, o que foi observado nos estudos de CASSOL (2003) e LANZANOVA et al. (2007).

Produtividade do feijoeiro

A produtividade do feijoeiro em função das doses de N e a significância das variáveis analisadas nos fatores testados do experimento, assim como suas interações encontram-se na Figura 2.

Os valores médios encontrados da produtividade do feijoeiro na área com pastejo foi de 3012 kg ha^{-1} e na área sem pastejo de 2937 kg ha^{-1}.

Para nitrogênio aplicado na pastagem, observou-se significância na produtividade de grãos do feijoeiro. Houve maior resposta à adubação nitrogenada no tratamento sem pastejo.

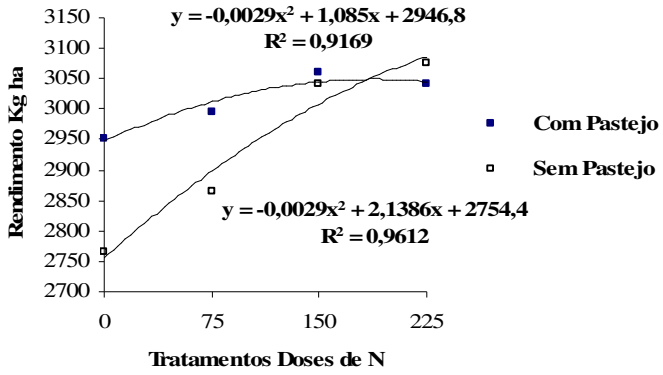


FIGURA 2 - Produtividade de grãos do feijoeiro (kg ha^{-1}), na presença e ausência de pastejo, frente às doses de aplicação de N na pastagem, Guarapuava, PR, 2007

FIGURE 2 - Yield of bean grains (kg ha^{-1}), in the presence and absence of grazing, front to the doses of nitrogen application in the pasture, Guarapuava, PR, 2007

Nas doses de 0, 75, 150 kg ha^{-1} de N, a produtividade de grãos foi superior nas áreas pastejadas comparativamente as áreas não pastejadas, verificando que os animais são um componente das pastagens e seus principais efeitos no ecossistema estão na transformação, ciclagem e disponibilidade de nutrientes, decorrentes de respostas das plantas ao pastejo. O pastejo intensifica os processos de mineralização/imobilização de N, promove decomposição rápida de substratos (SEMMARTIN ; GHERSA, 2006) e aumentar a taxa de reciclagem de N resultante da deposição de urina e fezes (BAUER et al., 1987). Resultados semelhantes foram observados por BONA (2002), utilizando doses de N na pastagem (até 300 kg ha^{-1}) sem N no feijoeiro.

A integração lavoura-pecuária busca promover uma maior reciclagem e disponibilidade de nutrientes, promovida pelo pastejo das pastagens de inverno, traz importante contribuição para os cultivos voltados à produção de grãos no verão. Neste sentido, devido sua alta mobilidade no solo e ao seu elevado custo, o nitrogênio é o nutriente ao qual é devotada maior atenção. Tanto para a produção das pastagens de inverno como de grãos no verão, as necessidades de nitrogênio são elevadas.

Como as gramíneas forrageiras de inverno demandam grandes quantidades de nitrogênio para dar sustentação a rebrota e ao crescimento, busca-se empregar altas doses do nutriente nas pastagens, de modo que o mesmo, através da reciclagem, seja transferido em sua maioria para a cultura sucessora, reduzindo ou dispensando a necessidade de sua aplicação nesta.

CONCLUSÕES

- A Macroporosidade para o solo estudado, até o valor de 0,09 m^3 m^{-3}, não limita a produtividade do feijoeiro em plantio direto no sistema de Integração Lavoura-Pecuária;

- O pastejo com ovinos, em sistema de lotação contínua, e manutenção da massa de forragem de azevém, adubada com nitrogênio, não compromete a qualidade física do Latossolo Bruno baseada nos atributos físicos do solo avaliados (densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração);

- No sistema de Integração Lavoura-Pecuária a adubação nitrogenada na pastagem de inverno, garante elevada produtividade do feijoeiro como cultura sucessora sem receber N,

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.519-531, 2004.

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. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.

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.

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

ANDREOLLA, V. R. M.; GABRIEL FILHO, A. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de Sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no Sistema integração lavoura-pecuária. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.3, p.768-776, set./dez. 2006.

ANDREOLLA, V. R. M.; GABRIEL FILHO, A.; CARDOSO, D. L.; BONINI, A. K.. Modification In The Physical Properties Of A Latossol Undertrampling Animals In A System Cattle-Raising Integration. In: CIGR INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING - XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2008, Foz do Iguaçu. CD. Jaboticabal: Sbea, 2008. ISSN 1982-3797.

ANDREOLLA, V. R. M.; GABRIEL FILHO, A.; CARDOSO, D. L.; BONINI, A. K.. Influence of Pasture on Soil Physical Properties In Area of Integration Cattle-Raising. In: CIGR INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING - XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2008, Foz do Iguaçu. CD. Jaboticabal: Sbea, 2008b. ISSN 1982-3797.

ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: Potafos, 1996. 786 p.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. Revista Brasileira Ciência do Solo, 29:425-435, 2005.

BALL, B. C. et al. Soil structural quality, compaction and land management. European Journal of Soil Science. London, v. 48. 593-601p. 1997.

BAUER, A.; COLE, C. V; BLACK, A. L. Soil property comparisons in virgin grassland between grazed and nongrazed management systems. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 51:176-182, 1987.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J. M.; REIS, E. F.; DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. Ciência Rural, 30:91-95, 2000.

BETTERIDGE, K.; MACKAY, A. D.; SHEPHERD, T. G.; BARKER, D. J.; BUDDING, P. J.; DEVANTIER, B. P.; COSTALL, D. A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. Journal Soil Research, Austrália, v. 37 p. 743-760, 1999.

BONA FILHO, A. Integração lavoura-pecuária com a cultura do feijoeiro e pastagem de inverno, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. Curitiba, 2002. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2002.

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 Ds máxima obtida no ensaio Proctor. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.605-614, 2006.

CARVALHO, P. C. F.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; POLI, C. H. E. C.; et al. Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. In: PEDREIRA, C.G.S e DA SILVA, S.C (Ed) A Produção Animal na Visão dos Brasileiros, Piracicaba: FEALQ, p. 853-871, 2001.

CASSOL, L. C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 157f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (Passo Fundo, RS). **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa-CNPT, 1995. 223p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Humberto Gonçalves dos Santos, 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 412 p.

FLORES, J. P. C. Atributos Físicos do Solo e Rendimento de Soja em Sistema Plantio Direto em Integração Lavoura-Pecuária com Diferentes Pressões de Pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.771-780, 2007.

FERREIRA, D. F. Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas. Lavras: UFLA, 2000. 63 p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B; COSTA, M. A. T. **Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.43, n.11, p.1583-1590, nov. 2008.

FREITAS, T.M.S. de. Dinâmica da produção de forragem, comportamento ingestivo e produção de ovelhas Ile de France em pastagem de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) em resposta a doses de nitrogênio. 2003. 114f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. Cartas climáticas do estado do Paraná 1994. Londrina: IAPAR, 1994. 49p.

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

KLEIN, V. A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. R. Ci. Agron., 5:26-32, 2006.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. da 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, v.31, p.1131-1140, 2007.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n.3, 2004.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, T. P.; LEÃO, T. P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do solo.** Viçosa, v.28, n. 6 nov/dez. 2004.

LUNARDI, R.; CARVALHO, P. C. F.; TREIN, C. R.; COSTA, J. A.; CAUDURO, G. F.; BARBOSA, C. M. P.; AGUINAGA, A. A. Q**. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo.** Ciência Rural, v.38, n.3, mai-jun, 2008.

MAAK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Estado do Paraná. 1968. 350p.

MOOT, G. O., LUCAS, H. L. The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS. 6. Poceedings Pensylvania: State College, p.1380-1395, 1952.

MELLO, A. N. Degradação física dos solos sob integração agricultura-pecuária. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1, 2002, Pato Branco. Anais... Pato Branco - PR: CEFET: PR, 2002. p. 43-60.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; RESCK, D. V. S. Compressibilidade de um latossolo vermelho argiloso de acordo com a tensão de água nos solo, uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 27, p. 773-781, 2003.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J; BRAIDA, J. A. A Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Revista Ciência Ambiental, 27:29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. V.; SUZUKI, L. E. A. S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 16, Aracaju. Palestras. Aracaju, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. CD-ROM.

ROLIM, G. S. et al. Planilhas no ambiente EXCEL TM para cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, 1998. p.133-137.

SEMMARTIN, M.; GHERSA, C. M. Intraspecific changes inplant morphology, associated with grazing, and effects on litter quality, carbon and nutrient dynamics during decomposition. Austral. Ecology, v. 31, p. 99-105, 2006.

SILVA, V. R.; REINERT, D.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:191-199, 2000.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004a.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 28 p. 533-542, 2004b.

THORNTHWAITE, C.W.; MATEHR, J.R. The water balance. **Publications in Climatology**, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 104p. 1955.

5. PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO EM UM LATOSSOLO BRUNO COM ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA[1]

Veruschka Rocha Medeiros Andreolla[2]; Aníbal de Moraes[3]; Amadeu Bona Filho[4]; Itacir Eloi Sandini[5]; Décio Lopes Cardoso[6]; Andreia K. Bonini[7] Edilson Batista de Oliveira[8]

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo estudar a influência do pastejo e das doses de nitrogênio nos parâmetros de compactação e na produtividade da cultura do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* Lam.) em um sistema de integração lavoura-pecuária em um Latossolo Bruno. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas e 3 repetições para cada tratamento. As parcelas foram constituídas, no inverno, pelas dosagens de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha^{-1}, em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e no verão pela cultura do feijoeiro. As subparcelas foram com e sem pastejo. A resistência do solo foi determinada utilizando-se um penetrógrafo perfurando em oitenta pontos distintos em cada piquete. A influência do pisoteio do ovino na resistência do solo à penetração foi mais acentuada até os 10 cm iniciais; os resultados dos ensaios de compactação em laboratório mostraram-se consistentes com os perfis de resistência à penetração no campo; o pastoreio animal tem efeito mais pronunciado na densidade máxima no tratamento com maior dose de N; há uma tendência da densidade absoluta máxima diminuir com os cultivos subseqüentes. Os valores encontrados de resistência à penetração, não foram suficientemente elevados para alterar a produtividade de grãos do feijoeiro, devido ao elevado aporte e manutenção de resíduos culturais na superfície do solo.

PALAVRAS CHAVE: ensaio de Proctor, pastejo, resistência à penetração.

---

[1] Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor ao Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR/Curitiba

[2] Engª Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal), Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR/Curitiba – PR, Fone: (0xx45) 9971 4766, e-mail: vandreolla@yahoo.com.br
[3] Engº Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo/UFPR, Curitiba – PR, co-orientador
[4] Médico Veterinário, Professor Doutor, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo/UFPR, Curitiba – PR orientador
[5] Engº Agrônomo, Professor Doutor, CEDETEG, UNICENTRO/Guarapuava - PR
[6] Engº Civil, Professor Doutor, CCET, UNIOESTE- Cascavel –PR
[7] Mestre em Engenharia Agrícola, CCET, UNIOESTE- Cascavel –PR
[8] Engº Agrônomo, Doutor, Embrapa Floresta, PR

COMPRESSION PARAMETERS OF A TYPICALL BRUNO SOIL OF NITROGEN FERTILIZATION IN TO THE SYSTEM OF INTEGRATION PRODUCTION CROP–LIVESTOCK

ABSTRACT

This work aimed to study the influence of grazing and levels of nitrogen in the compactation parameters and on the beans yield (*Phaseolus vulgaris* L.) in a system of crop-livestock integration of a Typicall Bruno soil. The experimental design was complete randomized blocks with split plots and three replications for each treatment. The plots were made in the winter, with the rate of nitrogen 0, 75, 150 and 225 kg ha^{-1} in ryegrass grazing (*Lolium multiflorum* Lam) and during the summer, by the beans crop. The subplots were with and without grazing. The resistance of the soil was determined using a penetrometer drilling in eighty different sites in each paddock. The influence of the effect of sheep trampling on the soil resistance to penetration was more pronounced until the initial 10 cm; the results of compactation tests in the laboratory were consistent with profiles of penetration resistance in the field; grazing animals has effect absolute maximum density more pronounced in the treatment with higher levels of N, there is a trend of decreasing absolute maximum density with subsequent crops. The values of penetration resistance were not high enough to change the grain yield of common bean due to high input and maintenance of crop residues on the soil surface.

KEYWORDS: Proctor test, cattle, penetration resistance of the soil.

INTRODUÇÃO

O pisoteio de animais sem o prévio conhecimento da capacidade de suporte do solo na umidade que se encontra tem causado sérios problemas de compactação. Em conseqüência, tem afetado a produtividade das culturas em maior ou menor grau, dependendo do tipo de

solo, umidade, do estado de compactação e da cultura. Um dos indicadores de compactação no solo é a resistência à penetração. Os níveis críticos de resistência à penetração para o crescimento das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada (REYNOLDS et al., 2002). Em pastagens, um sistema sem manejo anual de solo, a compactação pode estar associada às altas pressões exercidas pelo pisoteio de animais. Trabalhos sobre o efeito do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo, mostram que o pisoteio sobre o solo seco causou destruição mecânica dos agregados e compactou a camada superficial, contudo em solos úmidos, o processo ainda é facilitado porque a água, apesar de não ser considerada lubrificante, facilita o rearranjo das partículas durante a compactação (COSTA, 2000; ANDREOLLA et al., 2006). Valores de resistência mecânica à penetração entre 2 MPa e 3 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas, no entanto, o efeito do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo é limitado às suas camadas mais superficiais, podendo ser temporário e reversível (CASSOL, 2003).

Dentre os fatores que afetam a medida da resistência do solo à penetração, destacam-se a umidade e a densidade do solo (CAMP; LUND, 1968; PABIN et al., 1998). A partir da relação funcional entre a resistência do solo à penetração, o teor de água e a densidade estabelecem a curva de resistência à penetração, a qual é fortemente influenciada pela textura e pelo C orgânico do solo (SMITH et al., 1997; PACHEPSKY et al., 1998; WHALLEY et al., 2005).

A densidade do solo exerce uma relação direta com a sua resistência à penetração, enquanto que a umidade exerce uma influência negativa (TORMENA et al., 1998; BEUTLER et al., 2005). Segundo LANZANOVA et al. (2007) a quantidade de matéria seca remanescente como cobertura de solo em cada área influencia a manutenção da umidade no solo. COTCHING e BELBIN (2007) relatam que solos bem estruturados suportam maior ressecamento sem que a resistência atinja valores restritivos para o crescimento radicular das

plantas. CASTRO FILHO et al. (1998) relatam o acumulo de resíduos vegetais na superfície como conseqüência da adoção de sistema plantio direto na camada de 0-10 cm.

LANZANOVA et al. (2007) verificaram que resistência mecânica do solo à penetração atingiu valores de 2,61 e 2,49 MPa nos tratamentos com pastejo de 14 e 28 dias, respectivamente, nas profundidades de 5,0 e 8,0 cm, enquanto as áreas que não foram pastejadas mantiveram valores inferiores a 1,66 MPa.

Enquanto que SPERA et al. (2010) relatam que não houve diferença para a resistência à penetração entre os sistemas na camada 0 - 5 cm, porém, na camada 10 - 15 cm, verificou-se que os sistemas contendo pastagens tenderam a apresentar maiores valores de resistência à penetração do que sistema sem pastejo, indicando que o pisoteio pelo animal não está compactando a camada superficial dos solos sob sistemas de manejo com integração lavoura pecuária.

A susceptibilidade à compactação pode ser avaliada com o ensaio Proctor normal. No ensaio de Proctor, para uma mesma energia de compactação, a densidade absoluta obtida depende da umidade do solo, ou seja, a densidade aumenta com o incremento da umidade até determinado valor e, depois, torna-se decrescente (MASSAD, 2003). Assim, compactando o solo incrementando-se a umidades, mas sempre com a mesma energia, e relacionando-se os valores de densidade obtidos com a umidade de compactação, obtém-se a curva de compactação do solo, da qual se calculam a umidade crítica de compactação e a densidade absoluta máxima correspondente.

Essa susceptibilidade torna-se menor à medida que cresce a quantidade de matéria orgânica existente no solo. Em geral, observa-se que, para um mesmo nível de energia de compactação, quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, menor é o valor de densidade absoluta máxima obtida e maior é o teor de água necessário para atingi-lo. Isso foi observado

em estudos com um mesmo solo, porém com diferentes teores de matéria orgânica (ARAGÓN et al., 2000; BALL et al., 2000).

Segundo esses autores, isso ocorre pelo efeito amortecedor da matéria orgânica, que resulta em dissipação de parte da energia aplicada; pela capacidade de retenção da água da matéria orgânica, que, ao retê-la junto de suas partículas, impede que a água atue como lubrificante entre as partículas minerais; pela capacidade da matéria orgânica estabelecer ligações entre as partículas de solo, aumentando a coesão entre as mesmas, e pela baixa densidade da matéria orgânica, de modo que, ao aumentar o teor de matéria orgânica, diminui a densidade, tornando a matriz do solo potencialmente capaz de atenuar as cargas aplicadas sobre ele.

SILVA, REINERT e REICHERT (2000) e BRAIDA et al. (2006) observaram que a existência de uma cobertura vegetal de cerca de 1 Mg ha^{-1} de resíduos vegetais na superfície do solo, durante o período de pastoreio, pode ter contribuído para o pequeno efeito do pisoteio animal sobre os atributos físicos, quando comparado ao cultivo do solo. Para os autores, os resíduos vegetais podem ter absorvido parte da carga resultante do impacto das patas dos animais sobre o solo durante o período de pastoreio.

BRAIDA et al. (2006) também relatam que o acúmulo de matéria orgânica nos solos, proporcionado por sistemas de manejo, reduz a densidade absoluta máxima e aumenta a umidade crítica para compactação, significando que o solo torna-se mais resistente à compactação; e que a palha na superfície do solo, durante a realização do ensaio Proctor, dissipou até 30 % da energia de compactação utilizada, com redução da densidade obtida.

Neste contexto, teve-se por objetivo estudar a influência do pastejo e das doses de nitrogênio na resistência do solo à penetração e na produtividade da cultura do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* Lam.) em um sistema de integração lavoura-pecuária em um Latossolo Bruno.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental do Campus (CEDETEG) pertencente à Universidade Estadual do Centro-Oeste, no município de Guarapuava (PR). O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo Bruno típico (EMBRAPA, 2006).

Foi efetuado o balanço hídrico do ano de 2006 e 2007 (Figura 1) que compreende o período de realização do experimento de forma a verificar a ocorrência de deficiência hídrica. A metodologia empregada foi a de THORNTHWAITE e MATHER (1955) utilizando-se para cálculo a planilha eletrônica desenvolvida por ROLIM et al. (1998).

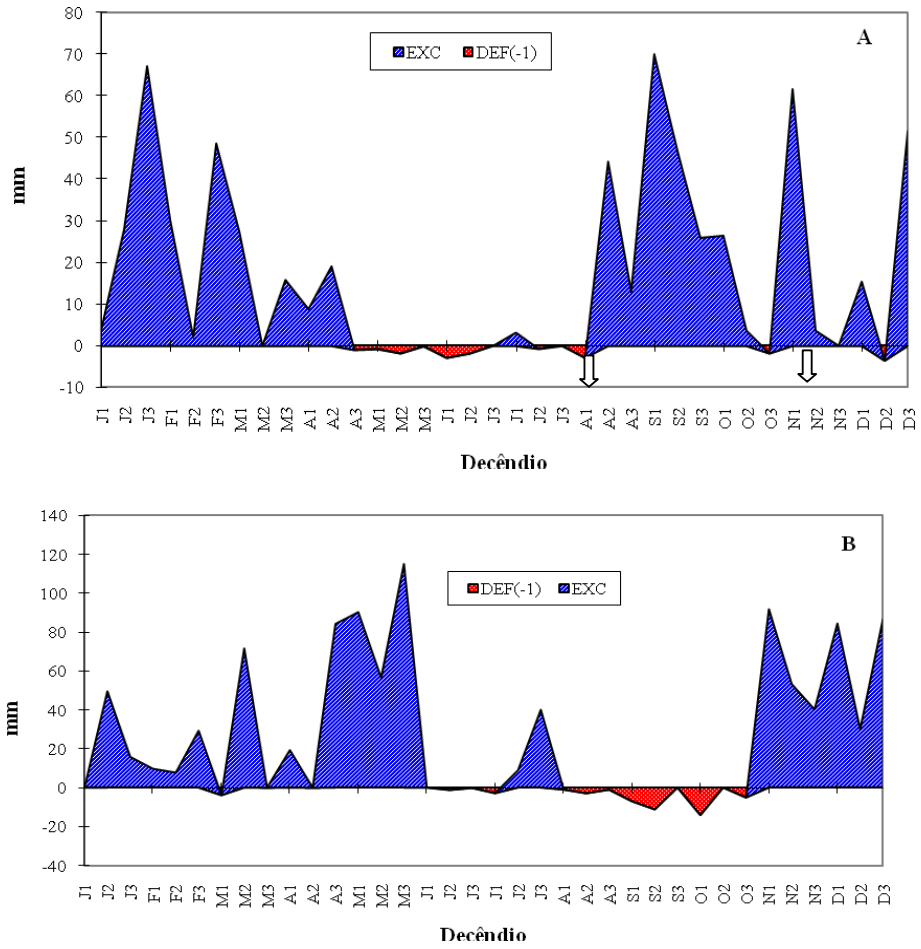


FIGURA 1 - Balanço hídrico seqüencial de cada intervalo de 10 dias, durante os anos de 2006 (A) e 2007 (B), Guarapuava, PR. As setas indicam o período de pastejo

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas e

3 repetições, sendo as parcelas constituídas, no inverno, por dosagens crescentes de nitrogênio (zero, 75, 150 e 225 kg ha^{-1}), em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e no verão pela Cultura do Feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* Lam.). As subparcelas foram constituídas com pastejo e sem pastejo.

A área experimental total compreendeu 3,1 hectares (ha), dos quais foram utilizados 2,6 ha, que foram subdivididos em três blocos de 0,88 ha cada, sendo cada bloco dividido em 4 parcelas (unidade experimental) perfazendo um total de 12 parcelas de 0,22 ha cada. Em cada parcela foi isolada uma área de 96 m^2, que permaneceu sem pastejo (testemunha). Os 0,5 ha restantes foram utilizados para a manutenção dos animais reguladores enquanto não estavam no experimento. Os tratamentos corresponderam a quatro doses de nitrogênio (N), na forma de uréia (45 % de N) sendo: 0 kg de N ha^{-1}; 75 kg de N ha^{-1} de N; 150 kg de N ha^{-1}; e 225 kg de N ha^{-1}.

Em função da análise química, Tabela 1, foi utilizada adubação de base na linha, no momento da semeadura da pastagem, de 0 kg de N, 60 kg ha^{-1} P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} K_2O. Após 35 dias da semeadura (11 de julho de 2006), foi efetuada aplicação única da adubação nitrogenada em cobertura na forma de uréia, o que corresponde ao início do perfilhamento das plântulas.

TABELA 1 – Parâmetros químicos do solo no ano de 2006, Guarapuava (PR)
TABLE 1 – Soil chemical parameters in the year of 2006, Guarapuava (PR)

				Mehlich							
	Prof.	pH	g/dm^3	mg/dm^3	Complexo Sortivo ($cmol_c/dm^3$)					pH 7,0	V
Ano	(cm)	($CaCl^{2)}$	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	(%)
2006	0 a 5	5,24	52,88	5,87	0,49	5,03	2,85	0,00	5,18	13,55	61,81
	5 a 10	5,19	46,61	2,95	0,23	4,62	2,90	0,00	5,01	12,77	60,70
	10 a 15	5,24	45,94	2,67	0,21	4,56	2,84	0,00	4,73	12,33	61,59
	Média	5,22	48,48	3,83	0,31	4,74	2,86	0,00	4,98	12,88	61,37

Os dados foram submetidos à análise da variância, pelo programa SISVAR (FERREIRA, 2000). A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Resistência do Solo à Penetração (RPS)

A resistência mecânica do solo à penetração (RPS) foi realizada utilizando-se um penetrógrafo SOILCONTROL – PENETROGRAPHERPAT SC-60 (Apêndice 4), perfurando em oitenta pontos distintos em cada área, metodologia adotada por CAMARGO e ALLEONI (1997). Sendo as análises realizadas em três períodos de observação: Fase 1 - **Início do experimento (Pré-plantio da pastagem -** 03/06/2006), Fase 2 - **Após pastejo dos animais** (03/12/2006) e Fase 3 - **Após colheita do feijoeiro** (30/03/2007).

Conteúdo de água no solo

O conteúdo de água no solo foi determinado pela diferença entre a massa úmida da amostra do solo e de sua massa seca em estufa, a 105ºC por 24 horas, proposto por EMBRAPA (1997). A coleta do solo foi realizada no mesmo instante da amostragem da resistência à penetração. As camadas de amostragem foram 0-5, 5-10 e 10-15 cm, com duas repetições.

Compactação do Solo em Laboratório

A compacidade do solo foi avaliada pelo ensaio de Proctor Normal, padronizado pela NBR 7182 (ABNT, 2004).

Teve-se por objetivo nos ensaios de compactação a determinação da umidade ótima do solo para sua densidade absoluta máxima correspondente. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia da Unioeste – *Campus* de Cascavel.

Para iniciar o ensaio coletou-se, aproximadamente, uma massa de 32,5 kg de solo, representativa da área. O material foi peneirado com malha 4,8 mm, verificando a umidade higroscópica e armazenada hermeticamente. Em seguida, foram divididas em cinco amostras de 2,5 kg cada, das quais duas foram colocadas para secar à sombra e nas demais se

acrescentou quantidades pré-determinadas de água para se obter materiais com crescentes conteúdos de água. Esse procedimento foi realizado para os três tratamentos.

O ensaio consistiu em compactar cada uma das amostras de solo em um cilindro metálico de volume igual a 1000 cm^3, em três camadas, cada uma com 26 golpes, com um peso de 2,5 kgf em queda livre de uma altura de 0,30 m. A porção do solo compactado em cada camada ocupou cerca de um terço da altura do cilindro. O processo foi repetido mais duas vezes, atingindo-se uma altura não superior a 1,5 cm da altura do cilindro, o que é possibilitado por um anel complementar. Acertou-se o volume raspando o excesso. Depois registrou-se a massa de solo para cálculo da densidade absoluta. Também foram retiradas três porções pequenas de solo para determinação da umidade média, pela diferença de matéria úmida e seca em estufa a 105^0 C por 24 horas. Esse processo foi repetido para as 15 (quinze) amostras, com valores de umidade gravimétrica na faixa de 28 a 42%, formando assim pares de valores de densidade absoluta e umidade, com os quais traça-se a curva de compactação, em conformidade com a padronização do ensaio normal de compactação constante em MASSAD (2003).

A umidade das amostras de solo utilizadas nos ensaios conduzidos pode ser calculada por:

$$w = \frac{Mw}{Ms}\ 100$$

em que:

w = umidade (%);
Ms = massa seca em estufa a 105^0C por 24 horas;
Mw = massa de água retirada da amostra.

A densidade absoluta úmida (γ), em Mg m^{-3} foi obtida por:

$$\gamma = \frac{M_u}{V}$$

em que:

M_u = massa úmida do solo em Mg;
V = volume em m^{-3}.

A densidade absoluta seca (γ_s) em Mg m^{-3} vem de:

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{\left(1 + \frac{w}{100}\right)}$$

Assim, para elevar a umidade das amostras de solo empregou-se:

$$\Delta M_w = \left(\frac{w_i - w_{nat}}{100}\right)\left(\frac{M_u}{\frac{w_{nat}}{100} + 1}\right)$$

em que:

ΔMw = massa de água a acrescentar (Mg);
w_{nat} = umidade natural ou higroscópica (%);
w_i = umidade a qual a amostra foi elevada (%);
M_u = massa úmida de solo à qual acrescentou-se água (Mg).

De posse dos dados, elaborou-se a curva de compactação do solo, para obtenção do ponto de umidade ótima e densidade absoluta seca máxima .

A densidade absoluta seca máxima é o parâmetro utilizado para avaliação do grau de compactação, calculado como a relação entre a densidade absoluta do solo no campo e a densidade absoluta seca máxima obtida em laboratório ($\gamma_{smáx}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de umidade gravimétrica e da análise estatística da resistência do solo à penetração estão apresentados na Tabela 2 e Apêndice 1. Observou-se que não ocorreu diferença significativa entre as áreas com pastejo e sem pastejo.

O manejo da água no solo é importante no controle da resistência à penetração, e em solos com estrutura degradada, a taxa de aumento da resistência à penetração, com o ressecamento do solo é maior do que em solos bem estruturados. Assim, solos bem

estruturados suportam maior ressecamento sem que a resistência atinja valores restritivos para o crescimento radicular das plantas, corroborando com COTCHING e BELBIN (2007),

TABELA 2– Umidade Gravimétrica (kg kg^{-1}) nas áreas com e sem pastejo, nas camadas e fases experimentais em Guarapuava-PR, 2007

TABLE 2 – Gravimetric moisture (kg kg^{-1}) in the layers, in the phases of the experiment, Guarapuava-PR, 2007

	Fase 1 Inicio do experiment		**Fase 2 Após pastejo dos animais**		**Fase 3 Após colheita do feijoeiro**	
			Camada de 0 - 5 cm			
Dosagens de N (kg. ha^{-1})	**Com pastejo**	**Sem pastejo**	**Com pastejo**	**Sem pastejo**	**Com pastejo**	**Sem Pastejo**
0	0,41 a	0,39 a	0,33 a	0,36 a	0,36 a	0,33 a
75	0,42 a	0,39 a	0,29 a	0,40 a	0,34 a	0,37 a
150	0,45 a	0,41 a	0,31 a	0,40 a	0,39 a	0,35 a
225	0,38 a	0,36 a	0,28 a	0,39 a	0,39 a	0,35 a
Médias	**0,38 a**	**0,38 a**	**0,30 a**	**0,39 b**	**0,37 a**	**0,35 a**
	Média geral= 0,40; CV (%) = 4,94; DMS = 0,04		Média geral= 0,34; CV (%) = 2,69; DMS = 13,05		Média geral= 0,41; CV (%) = 2,50 DMS = 0,03	
			Camada de 5 - 10 cm			
0	0,33 a	0,37 a	0,37 a	0,37 a	0,38 a	0,37 a
75	0,29 a	0,40 a	0,33 a	0,39 a	0,33 a	0,39 a
150	0,31 a	0,40 a	0,36 a	0,39 a	0,36 a	0,39 a
225	0,28 a	0,39 a	0,33 a	0,37 a	0,33 a	0,37 a
Médias	**0,30 b**	**0,39 a**	**0,35 a**	**0,38 a**	**0,39 a**	**0,38 a**
	Média geral= 0,34; CV (%) = 7,69; DMS = 13,05		Média geral= 0,37; CV (%) = 4,47; DMS = 7,37		Média geral= 0,37; CV (%) = 5,41; DMS = 3,40	
			Camada de 10 - 15 cm			
0	0,43 a	0,41 a	0,38 a	0,40 a	0,39 a	0,38 a
75	0,41 a	0,42 a	0,36 a	0,40 a	0,40 a	0,39 a
150	0,40 a	0,40 a	0,37 a	0,38 a	0,38 a	0,38 a
225	0,40 a	0,39 a	0,36 a	0,39 a	0,40 a	0,39 a
Médias	**0,41 a**	**0,40 a**	**0,37 a**	**0,39 a**	**0,39 a**	**0,38 a**
	Média geral= 0,36; CV (%) = 9,00; DMS = 11,60		Média geral= 0,37; CV (%) = 5,97; DMS = 6,84		Média geral= 0, 34; CV (%) = 8,27; DMS = 1,94	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Resistência do Solo à Penetração (RPS)

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os valores para a resistência do solo à penetração (RPS) antes da implantação do experimento (Fase 1), com e sem pastejo. Observou-se variações da RPS nos tratamentos, por ser esta a condição inicial do solo. Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os valores da RSP (Fase 2), após a saída dos animais.

Observou-se na Figura 3, o acentuado efeito do pisoteio dos animais na RPS. O pico a 5 cm tornou-se proeminente, e claramente nota-se o afastamento entre as curvas, indicando a

influência de cada tratamento, até a profundidade 30 cm. Pode-se dizer que os efeitos dos tratamentos são percebidos de forma sensível pelo solo até essa profundidade, permitindo assim delimitar a camada compactada aos 10 cm superficiais do solo, por meio dos valores mais pronunciados no tratamento com pastejo. Na Figura 4 percebe-se um pico inicial entre 5 a 10 cm, a partir do qual se observa uma redução sistemática da resistência com a profundidade, o que pode estar associado às condições mais úmidas nas camadas mais profundas.

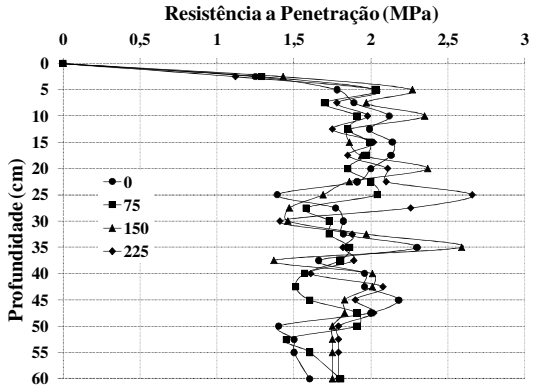


FIGURA 2 - Resistência do solo à penetração na Fase 1, com pastejo

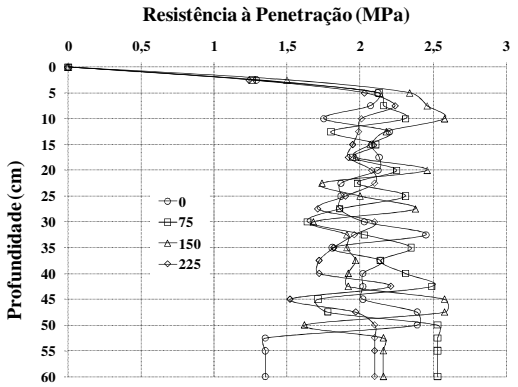


FIGURA 3 - Resistência do solo à penetração na Fase 1, sem pastejo

Nota: Umidade do Solo (F1): com pastejo (Ug = 0,40 Kg Kg^{-1}); sem pastejo (Ug = 0,39 Kg Kg^{-1});

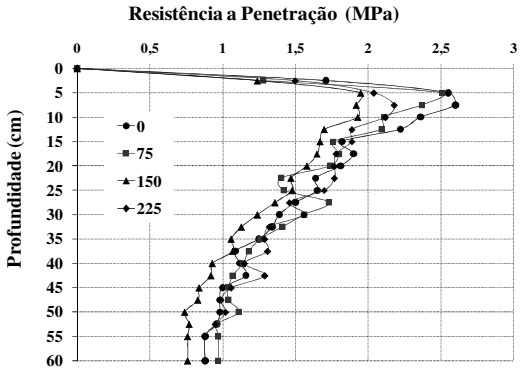


FIGURA 4 - Resistência do solo à penetração na Fase 2, com pastejo

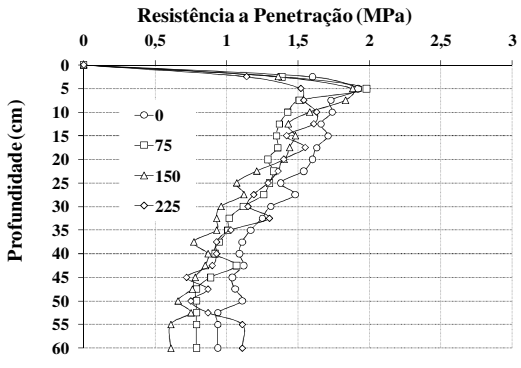


FIGURA 5 - Resistência do solo à penetração na Fase 2, sem pastejo

Nota: Umidade do Solo (F2): com pastejo (Ug = 0,34 Kg Kg^{-1}); sem pastejo (Ug = 0,39 Kg Kg^{-1});

Quanto ao comportamento exibido na Figura 6 e 7, após a colheita do feijão (Fase 3), pode-se observar que ocorreu a mesma tendência das Figuras 4 e 5. O solo pastejado apresentou maiores valores de resistência à penetração nos limites da camada compactada entre 5 e 15 cm, nas condições após pisoteio e após cultivo do feijão.

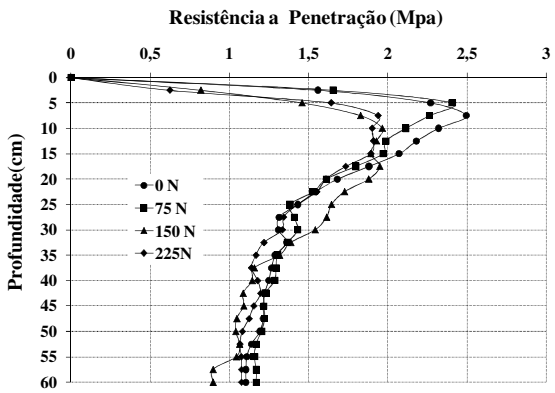


FIGURA 6 - Resistência do solo à penetração na Fase 3, com pastejo

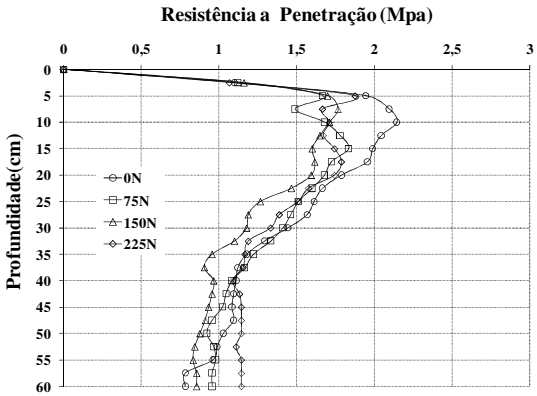


FIGURA 7 - Resistência do solo à penetração na Fase 3, sem pastejo

Nota: Umidade do Solo (F3): com pastejo (Ug = 0,38 Kg Kg^{-1}); sem pastejo (Ug = 0,38 Kg Kg^{-1});

Os valores de RPS foram influenciados pelos sistemas de manejo do solo e variaram em profundidade, onde os maiores valores ocorreram nas camadas superficiais e subsuperficiais. Entretanto, ao se adotar um valor crítico de RPS para o crescimento do sistema radicular de culturas anuais e gramíneas entre 2,0 e 2,5 MPa (IMHOFF et al., 2000), observou-se que nos sistema com e sem pastejo ocorreram valores críticos de 2,5 MPa apenas no sistema pastejado. Este fato pode ser confirmado na Tabela 2, onde os maiores valores de RPS ocorreram superficialmente em todas as fases estudadas.

Parte da diferença de RPS observada entre os tratamentos pode ser atribuída à variável umidade do solo (Tabela 3). Essas diferenças na umidade do solo devem-se, sobretudo, à quantidade de matéria seca remanescente como cobertura de solo em cada área. LANZANOVA et al. (2007) encontraram resultados semelhantes.

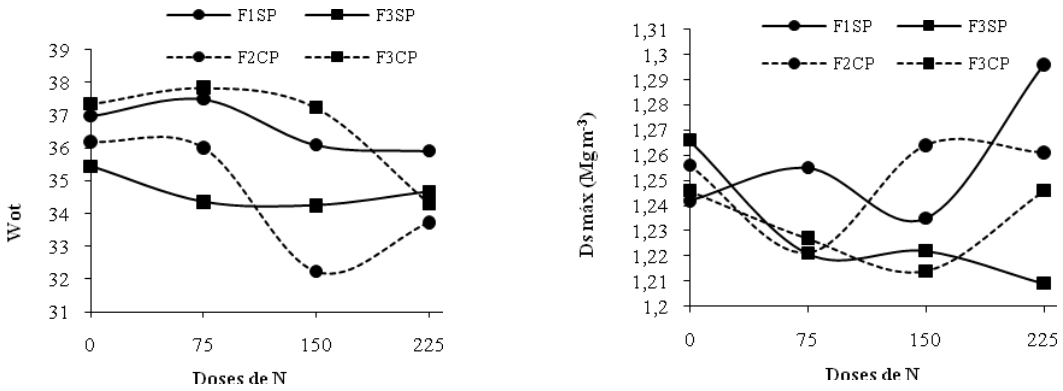
Os dados de ANDREOLLA et al. (2006) e ANDREOLLA et al. (2008) corroboram os resultados ora apresentados. O pisoteio dos animais alterou as características do solo, a geometria dos agregados e esse efeito foi mais acentuado na área com pastejo, provocando esmagamento dos agregados maiores, promovendo uma compactação mais efetiva do que na condição sem pastejo.

LANZANOVA et al. (2007) verificaram que resistência mecânica do solo à penetração atingiu valores de 2,61 e 2,49 MPa nos tratamentos com pastejo de 14 e 28 dias , respectivamente, nas profundidades de 0,05 e 0,08 m, enquanto as áreas que não foram pastejadas mantiveram valores inferiores a 1,66 MPa.

Estudos realizados por SPERA et al. 2010 relatam que não houve diferença para a resistência à penetração entre os sistemas na camada 0-5 cm, porém, na camada 10 - 15 cm, verificou-se que os sistemas contendo pastagens tenderam a apresentar maiores valores de resistência à penetração do que sistema sem pastejo.

Compactação do solo em Laboratório

Na figura 8 pode ser observado o efeito das doses de N nos parâmetros de compactação do solo.



F1SP – Fase 1 sem pastejo; F2CP – Fase 2 com pastejo; F3SP – Fase 3 sem pastejo; F3CP – Fase 3 com pastejo

FIGURA 8 – Efeito de doses de nitrogênio nos parâmetros de compactação

Observou-se que na fase 1, à medida em que ocorreu um incremento das doses de N, a densidade absoluta máxima ($\gamma_{smáx}$) dos tratamentos 0, 75 e 225 kg.de N ha^{-1} aumentou e a umidade ótima (w_{ot}) diminuiu. Na fase 2, com pastejo, verificou-se uma redução dos valores de $\gamma_{smáx}$ nos tratamentos 0 e 75 kg de N ha^{-1} e nos tratamentos 150 e 225 kg de N ha^{-1}ocorreu um maior aumento desses valores, entretanto a w_{ot} que foi constante (36%) nos tratamentos 0 e 75 kg de N ha^{-1}, reduz para 32% no tratamento 150 kg de N ha^{-1}.

Na fase 3, ocorreu um aumento da w_{ot} na área com pastejo em relação a área sem pastejo. No entanto, no tratamento 225 kg de N ha^{-1} o efeito do pastejo é evidenciado em relação ao da área sem pastejo, com uma redução da w_{ot} (34%), refletindo uma diminuição do tamanho das partículas do solo, devido provavelmente ao pisoteio animal que alterou a geometria dos agregados. Isto pode ser atribuído à menor pressão mecânica exercida sobre o solo devido a adubação da pastagem com nitrogênio, que pode ser uma estratégia para aumentar a produção de forragem e reduzir a compactação superficial ocasionada pelo pisoteio, bem como a ação descompactadora das raízes das forragens e ação biológica do solo, estando de acordo com ABREU et al. (2004) e BRAIDA et al. (2006).

Na fase 3, sem pastejo, o aumento das doses de N provoca uma queda sistemática na densidade absoluta máxima; com pastejo essa queda é verificada até a dose de 150 kg de N ha^{-1}, e com a dose 225 kg de N ha^{-1} a densidade absoluta máxima aumenta substancialmente.

Em geral, observou-se que quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, menor é o valor de densidade máxima obtido. Isso foi observado por ARAGON et al.(2000) e BALL et al. (2000). Segundo esses autores, isso ocorre pelo efeito amortecedor da matéria orgânica, atenuando as cargas aplicadas sobre o solo (SILVA et al., 2000; BRAIDA et al., 2006).

Produtividade do Feijoeiro

A produtividade do feijoeiro em função das doses de N e a significância das variáveis

analisadas nos fatores testados do experimento, assim como suas interações encontram-se na Figura 9.

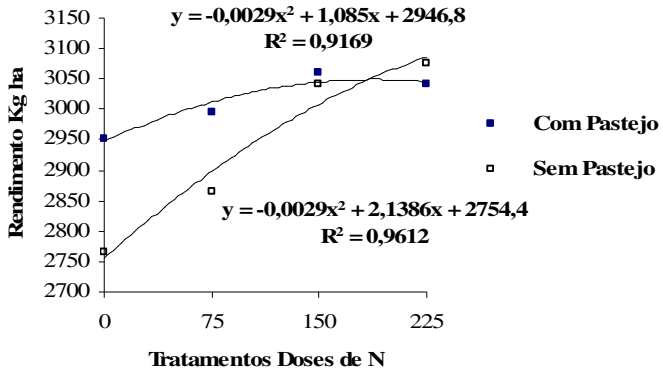


FIGURA 9 - Produtividade de grãos do feijoeiro (kg ha^{-1}), na presença e ausência de pastejo, frente às doses de aplicação de N na pastagem, Guarapuava, PR, 2007

FIGURA 9 - Yield of bean grains (kg ha^{-1}), in the presence and absence of grazing, front to the doses of nitrogen application in the pasture, Guarapuava, PR, 2007

Os valores médios encontrados da produtividade do feijoeiro na área com pastejo foi de 3.012 kg ha^{-1} e na área sem pastejo de 2.937 kg ha^{-1}.

Para nitrogênio aplicado na pastagem, observou-se significância na produtividade de grãos do feijoeiro. Houve maior resposta à adubação nitrogenada no tratamento sem pastejo.

Nas doses de 0, 75, 150 kg ha^{-1} de N, a produtividade de grãos foi superior nas áreas pastejadas comparativamente as áreas não pastejadas, verificando que os animais são um componente das pastagens e seus principais efeitos no ecossistema estão na transformação, ciclagem e disponibilidade de nutrientes, decorrentes de respostas das plantas ao pastejo. O pastejo intensifica os processos de mineralização/imobilização de N, promove decomposição rápida de substratos (SEMMARTIN; GHERSA, 2006) e aumentar a taxa de reciclagem de N resultante da deposição de urina e fezes (BAUER et al., 1987). Resultados semelhantes foram observados por BONA (2002), utilizando doses de N na pastagem (até 300 kg ha^{-1}) sem N no feijoeiro.

Os valores encontrados de resistência à penetração, não foram suficientemente elevados para alterar a produtividade de grãos do feijoeiro, devido ao elevado aporte e manutenção de resíduos culturais na superfície do solo.

O efeito do pisoteio animal sobre os atributos físicos do solo é limitado às suas camadas mais superficiais, podendo ser temporário e reversível, dependendo do manejo aplicado, estando de acordo com os estudos de CASSOL (2003).

A integração lavoura-pecuária busca promover uma maior reciclagem e disponibilidade de nutrientes, promovida pelo pastejo das pastagens de inverno, traz importante contribuição para os cultivos voltados à produção de grãos no verão. Neste sentido, devido sua alta mobilidade no solo e ao seu elevado custo, o nitrogênio é o nutriente ao qual é devotada maior atenção. Tanto para a produção das pastagens de inverno como de grãos no verão, as necessidades de nitrogênio são elevadas.

Como as gramíneas forrageiras de inverno demandam grandes quantidades de nitrogênio para dar sustentação a rebrota e ao crescimento, busca-se empregar altas doses do nutriente nas pastagens, de modo que o mesmo, através da reciclagem, seja transferido em sua maioria para a cultura sucessora, reduzindo ou dispensando a necessidade de sua aplicação nesta.

CONCLUSÃO

- O efeito do pisoteio do ovino na resistência do solo à penetração é mais acentuado até os 10 cm iniciais de profundidade;

- Os resultados dos ensaios de compactação em laboratório mostraram-se consistentes com os perfis de resistência à penetração no campo;

- O pastejo tem efeito mais pronunciado na densidade absoluta máxima ($\gamma_{smáx}$) no tratamento com maior dose de N;

- A densidade absoluta máxima ($\gamma_{smáx}$) diminui com o cultivo subseqüente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.519-531, 2004.

ANDREOLLA, V. R. M.; GABRIEL FILHO, A.; CARDOSO, D. L.; BONINI, A. K. Influence of Pasture on Soil Physical Properties In Area of Integration Cattle-Raising. In: CIGR INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING - XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2008, Foz do Iguaçu. CD. Jaboticabal: Sbea, 2008. ISSN 1982-3797.

ANDREOLLA, V. R. M., GABRIEL FILHO, A.; CARDOSO, D. L., TABILE, R. A.; TOLEDO, A. DE; BONINI, A. K. Resistência à penetração e grau de compactação de um latossolo sob o pisoteio do gado no sistema integração lavoura-pecuária.In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2006, João Pessoa – PB, 31 de julho a 04 de agosto de 2006.

ARAGÓN, A.; GARCÍA, M. G.; FILGUEIRA, R. R.; PACHEPSKY, Y. A. A. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test; the relationship with organic carbon and water content. Soil Till. Res., 56:197-204, 2000.

ASSOCIAÇAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio normal de compactação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004. 2p.

BALL, B. C.; CAMPBELL, D. J; HUNTER, E. A. Soil compactibility in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. Soil Till. Res., 57:83-91, 2000.

BAUER, A.; COLE, C.V.; BLACK, A.L. Soil property comparisons in virgin rassland between grazed and nongrazed management systems. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:176-182, 1987.

BEUTHER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, n.6, p. 843-849, 2005.

BONA FILHO, A. Integração lavoura-pecuária com a cultura do feijoeiro e pastagem de inverno, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. Curitiba, 2002. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2002.

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**, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

CAMP JR, C. R.; LUND, Z. Effect of mechanical impedance on cotton root growth. Trans. Am. Soc. Agron. Eng., 11:168-190, 1968.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba, SP: ESALQ - Departamento de Ciência do Solo, 1997. 132 p.

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

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODOROCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.3, p.527-538, 1998.

COSTA, O. V. **Impacto animal sobre o componente abiótico do solo: Ciclagem de nutrientes e compactação.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 30p.

COTCHING, W. E.; BELBIN, K. C. Assessment of the influence of soil structure on soil strength/soil wetness relationships on Red Ferrosols in North-West Tasmania. Aust. J. Soil Res., 45:147-152, 2007.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Humberto Gonçalves dos Santos, 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 412 p.

FERREIRA, D. F. Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas. Lavras: UFLA, 2000. 63 p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Applications of the resistance curve in the control of the physical quality of soils under grass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1493-1500, 2000.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. da 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, v.31, p.1131-1140, 2007.

MASSAD, F. **Obras de terra:** Curso básico de geotecnia. São Paulo. Oficina de Textos, 2003. 170 p.

PABIN, J.; LIPIEC, J.; WLODEK, S.; BISKUPSKI, A.; KAUS, A. Critical soil bulk density and strengh for pea seedling root growth as related to other soil factors. Soil Till. Res., 46:203-208, 1998.

PACHEPSKY, Y.; RAWLS, W.; GIMENÉZ, D.; WATT, J. P. C. Use of soil penetration resistance and group method of data handling to improve soil water retention estimates. Soil Till. Res., 49:117-126, 1998.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**. USA, v. 110, p. 131-146, 2002.

ROLIM, G. S. et al. Planilhas no ambiente EXCEL TM para cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, 1998. p.133-137.

SEMMARTIN, M.; GHERSA, C. M. Intraspecific changes inplant morphology, associated with grazing, and effects on litter quality, carbon and nutrient dynamics during decomposition. Austral. Ecology, v. 31, p. 99-105, 2006.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 24 p. 191-199, 2000.

SMITH, C. W.; JOHNSTON, M. A.; LORENTZ, S. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. Geoderma, 78:93-111, 1997.

SPERA, S. T., SANTOS, H. P., FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010.

TORMENA.; C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.22, n.4, p. 573-581, 1998.

THORNTHWAITE, C. W.; MATEHR, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 104p. 1955.

WHALLEY, W. R.; LEEDS-HARRISON, P. B.; CLARK, L. J.; GOWING, D. J. G. Use of effective stress to predict the penetrometer resistance of unsaturated agricultural soils. Soil Till. Res., 84:18-27, 2005.

APÊNDICE 1 – Resistência do solo à penetração (MPa) nas áreas com e sem pastejo, nas camadas e fases experimentais em Guarapuava-PR, 2007.

Tratamentos Doses de N (kg. ha-1	FASE 1		FASE 2		FASE 3	
	No início do experimento		Após pastejo dos animais		Após colheita do feijão	
	Camada de 0 - 5 cm					
	Com Pastejo	Sem Pastejo	Com Pastejo	Sem Pastejo	Com Pastejo	Sem Pastejo
0	1,52 a	1,71 a	2,13 a	1,76 a	1,87 a	1,52 a
75	1,66 a	1,69 a	1,90 a	1,69 a	1,85 a	1,39 a
150	1,85 a	1,59 a	1,77 a	1,62 a	1,14 a	1,43 a
225	1,58 a	1,64 a	1,60 a	1,33 a	1,13 a	1,47 a
Médias	1,63 a	1,65 a	1,85 a	1,60 a	1,50 a	1,45 a
	Média geral= 1,64; CV (%)=18,46; DMS = 0,62		Média geral= 1,72 ; CV (%)=12,30; DMS = 0,68		Média geral= 1,47; CV (%) = 0,10; DMS = 1,43	
	Camada de 5 - 10 cm					
0	2,01 a	1,91 a	2,48 a	1,74 a	2,08 a	2,12 a
75	1,80 a	2,23 a	2,23 a	1,47 a	2,02 a	1,58 a
150	1,97 a	2,62 a	1,94 a	1,66 a	1,80 a	1,74 a
225	1,86 a	2,13 a	2,15 a	1,59 a	1,92 a	1,69 a
Médias	1,90 a	2,22 a	2,20 a	1,61 b	1,95 a	1,78 a
	Média geral= 2,07; CV (%)=15,10; DMS = 0,94		Média geral= 1,91; CV (%) = 8,84; DMS =0,79		Média geral= 1,86; CV(%)=22,65; DMS = 0,71	
	Camada de 10 - 15 cm					
0	2,06 a	2,14 a	2,03 a	1,68 a	2.13 a	2.02 a
75	1,95 a	1,96 a	1,92 a	1,36 a	1.81 a	1.81 a
150	1,85 a	2,47 a	1,69 a	1,42 a	1.91 a	1.63 a
225	1,85 a	2,16 a	1,89 a	1,52 a	1.90 a	1.71 a
Médias	1,93 a	2,18 a	1,88 a	1,50 b	1.94 a a	1.79 a
	Média geral= 2,06; CV (%)=12,02; DMS = 0,85		Média geral=1,69; CV (%) = 10,28; DMS =0,43		Média geral= 1,86; CV (%) =20,04; DMS = 0,41	
	Camada de 15 - 20 cm					
0	2,07 a	2,12 a	1,86 a	1,61 b	1,78 a	1,87 a
75	2,01 a	2,10 a	1,77 a	1,32 b	1,72 a	1,70 a
150	2,04 b	2,21 a	1,61 a	1,39 b	1,91 a	1,60 a
225	1,96 a	2,00 a	1,78 a	1,48 b	1,67 a	1,77 a
Médias	2,02 b	2,11 a	1,75 a	1,45 b	1,77 a	1,74 a
	Média geral= 2,06; CV (%)=14,63; DMS = 0,12		Média geral=1,60; CV (%)= 11,56;DMS =0,34		Média geral= 1,75; CV (%) =12,73; DMS = 0,65	
	Camada de 20 - 25 cm					
0	2,22 a	1,86 a	1,74 a	1,46 a	1,49 a	1,60 a
75	2,02 a	2,15 a	1,41 a	1,32 a	1,51 a	1,56 a
150	1,84 a	1,64 a	1,48 a	1,13 a	1,69 a	1,37 a
225	2,29 a	2,26 a	1,65 a	1,33 a	1,49 a	1,54 a
Médias	2,12 a	1,98 a	1,56 a	1,31 a	1,54 a	1,53 a
	Média geral= 2,04 ; CV (%) = 0,25; DMS = 1,61		Média geral= 1,43; CV (%) = 17,97;DMS =0,49		Média geral= 1,53; CV (%) = 11,56; DMS = 0,71	
	Camada de 25 - 30 cm					
0	1,99 a	1,95 a	1,44 a	1,39 a	1,31 a	1,51 a
75	1,68 a	1,75 a	1,65 a	1,19 b	1,43 a	1,44 a
150	1,46 a	2,03 a	1,30 a	1,03 b	1,58 a	1,17 a
225	1,98 a	1,91 a	1,51 a	1,17 b	1,34 a	1,36 a
Médias	1,81 a	1,91 a	1,48 a	1,20 b	1,41 a	1,37 a
	Média geral= 1,86; CV (%) = 5,87; DMS = 0,97		Média geral= 1,34; CV (%) = 20,79; DMS =0,59		Média geral=1,39; CV (%)=, 13,08; DMS = 0,88	

Continuação do Apêndice 1

			Camada de 30 - 35 cm			
0	1,73 a	2,13 a	1,29 a	1,21 a	1,33 a	1,24 a
75	1,82 a	2,19 a	1,01 a	1,02 a	1,32 a	1,28 a
150	1,28 a	1,93 a	1,10 a	0,93 a	1,35 a	1,03 a
225	1,91 a	1,89 a	1,31 a	1,16 a	1,19 a	1,18 a
Médias	1,72 a	2,04 a	1,18 a	1,08 a	1,30 a	1,18 a
	Média geral= 1,88; CV (%) = 20,94; DMS = 1,03		Média geral= 1,13; CV (%)=23,33; DMS =0,27		Média geral= 1,23; CV (%) =15,09; DMS = 0,48	
			Camada de 35 - 40 cm			
0	1,82 a	2,08 a	1,11 a	1,09 a	1,26 a	1,12 b
75	1,72 a	2,53 a	1,16 a	0,93 a	1,27 a	1,13 b
150	1,69 a	1,95 a	1,00 a	0,82	1,15 a	0,94 b
225	1,84 a	1,71 a	1,23 a	0,93	1,16 a	1,12 a
Médias	1,77 a	2,07 a	1,12 a	0,94 a	1,20 a	1,07 b
	Média geral= 1,93; CV (%) = 0,15; DMS = 1,37		Média geral= 1,03; CV (%) = 1,35; DMS =0,42		Média geral= 1,14; CV (%) =14,70; DMS =0,25	
			Camada de 40 - 45 cm			
0	1,87 a	2,02 a	1,08 a	1,04	1,22 a	1,09 a
75	1,52 a	2,10 a	1,05 a	0,98 a	1,26 a	1,03 a
150	1,82 a	2,58 a	0,88 a	0,79 a	1,09 a	0,94 a
225	2,02 a	1,86 a	0,99 a	0,81 a	1,18 a	1,14 a
Médias	1,81 a	2,14 a	1,00 a	0,90 b	1,18 a	1,05 b
	Média geral= 1,98; CV (%) =0,23; DMS =1,30		Média geral= 0,95; CV (%) =7,48; DMS =0,20		Média geral=1,12; CV (%) =17,69; DMS = 0,26	
			Camada de 45 - 50 cm			
0	1,87 a	2,39 a	0,98 a	1,09 a	1,21 a	1,06 a
75	1,86 a	2,16 a	1,07 a	0,79 a	1,25 a	0,94 a
150	1,75 a	1,62 a	0,79 a	0,72 a	1,04 a	0,90 a
225	1,90 a	2,03 a	1,00 a	0,81 a	1,10 a	1,15 a
Médias	1,85 a	2,05 a	0,96 a	0,85 a	1,15 a	1,01 a
	Média geral= 1,94; CV (%) = 8,91; DMS = 0,99		Média geral= 0,91; CV (%) = 24,89; DMS =0,59		Média geral= 1,08; CV (%) =15,63; DMS = 0,50	
			Camada de 50 - 55 cm			
0	1,86 a	1,35 a	0,94 a	1,15 a	1,13 a	0,98 a
75	1,50 a	2,52 a	1,01 a	0,75 a	1,21 a	0,97 a
150	1,75 a	1,89 a	0,75 a	0,72 a	1,05 a	0,84 a
225	1,77 a	2,10 a	0,95 a	0,88 a	1,07 a	1,13 a
Médias	1,71 a	1,97 a	0.91 a	0.88 a	1,11 a	0,98 a
	Média geral= 1,84; CV (%) = 7,19; DMS = 2,21		Média geral= 0,89; CV (%)= 20,66; DMS =0,66		Média geral= 1,04; CV (%)= 15,76; DMS = 0,45	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

6. PASTEJO E ADUBAÇAO NITROGENADA EM ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO BRUNO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA[1]

Veruschka Rocha Medeiros Andreolla[2]; Aníbal de Moraes[3]; Amadeu Bona Filho[4]; Itacir Eloi Sandini[5]; Décio Lopes Cardoso[6]; Andreia K. Bonini[7]; Edilson Batista de Oliveira[8]

RESUMO

Foi avaliado o efeito do pastejo e de doses de nitrogênio em atributos físicos do solo e na produtividade da cultura do milho, em um sistema de integração lavoura-pecuária. O delineamento foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo as parcelas as doses de nitrogênio e as subparcelas a presença e ausência de pastejo. Foram utilizadas 3 repetições por tratamento. Os tratamentos foram dosagens de nitrogênio de 0, 75, 150 e 225 kg ha^{-1} aplicados na pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia branca (*Avena sativa* Lam.) no inverno. Posteriormente, à pastagem foi implantada a cultura do milho (*Zea mays* Lam.) no verão. O pastejo com ovinos, em sistema de lotação contínua, com controle da taxa de lotação animal e manutenção da massa de forragem consorciada com aveia e azevém, adubado com nitrogênio, não compromete a qualidade física do Latossolo Bruno. A adubação nitrogenada da pastagem de inverno garante elevada produtividade do milho sem receber nitrogênio.

Palavras-chave: sistemas integrados, compactação do solo, azevém, aveia, pastagem.

GRAZING AND NITROGEN FERTILIZATION ON PHYSICAL ATTRIBUTES OF A TYPICALL BRUNO SOIL AND YIELD OF CORN IN A SYSTEM OF INTEGRATION PRODUCTION CROP–LIVESTOCK

ABSTRACT

---

[1] Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor ao Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR/Curitiba

[2] Engª Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal), Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR/Curitiba – PR, Fone: (0xx45) 9971 4766, e-mail: vandreolla@yahoo.com.br
[3] Engº Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo/UFPR, Curitiba – PR, co-orientador
[4] Médico Veterinário, Professor Doutor, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo/UFPR, Curitiba – PR orientador
[5] Engº Agrônomo, Professor Doutor, CEDETEG, UNICENTRO/Guarapuava-PR
[6] Engº Civil, Professor Doutor, CCET, UNIOESTE- Cascavel –PR
[7] Mestre em Engenharia Agrícola, CCET, UNIOESTE- Cascavel –PR
[8] Engº Agrônomo, Doutor, Embrapa Floresta, PR

It was studied the effect of grazing and nitrogen levels on the soil physical properties and on corn´s yield in a system of crop-livestock integration. The experimental design was a complete randomized blocks with split plots, where the plots were the the nitrogen sub-plots and the presence and absence of grazing. Were used three replications per treatment. The treatments were levels of nitrogen of 0, 75, 150 and 225 kg ha^{-1} applied in ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) and oat (*Avena sativa* Lam.) in winter. After the pasture, was planted corn crop (*Zea mays* Lam.) in summer. Grazing by sheep in continuous stocking, with control of stocking rate and herbage mass maintenance intercropped with oats and ryegrass, fertilized with nitrogen, does not compromise the physical quality of a Typicall Bruno soil. Nitrogen fertilization of winter pastures ensures good corn yields without receiving nitrogen.

Key-words: integrated systems, soil compaction, ryegrass, oats, grazing.

INTRODUÇÃO

A integração lavoura-pecuária surge como uma das estratégias mais promissoras para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e, por sua vez, mais sustentáveis no tempo (ASSMANN et al., 2003).

Os sistemas de integração têm potencial para aumentar a produtividade de grãos e de carne/leite, reduzindo os riscos de degradação e promovendo a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (GARCIA et al., 2004; SOUTO, 2006).

Os animais em pastejo são um componente essencial das pastagens e seus efeitos no ecossistema podem incluir transformação de formas de nutrientes, de taxas de ciclagem e de disponibilidade de nutrientes, decorrentes de respostas das plantas ao pastejo. O pastejo pode influenciar os processos de mineralização/imobilização de N, facilitar a rápida decomposição de substratos (SINGH et al., 1991) e aumentar a taxa de reciclagem de N resultante da

deposição de urina e fezes (BAUER et al., 1987). Pode aumentar a disponibilidade de nutrientes por meio da manutenção, na superfície do solo, de uma fração de nutrientes orgânicos facilmente mineralizáveis, onde são mais acessíveis às plantas e aos microorganismos (ARCHER; SMEINS, 1991). Entretanto, o pastejo, quando mal conduzido, pode agravar o processo de compactação do solo.

O processo de compactação aumenta a densidade e reduz a macroporosidade do solo, aumenta a resistência deste para o crescimento radicular, em condições de baixa umidade, e reduz a sua oxigenação quando úmido (NICOLOSO, 2005; LANZANOVA et al., 2007; MARCHÃO et al., 2007).

A estabilidade de agregados, a macroporosidade e a condutividade hidráulica podem aumentar rapidamente com a inclusão de pastagens na rotação com culturas devido à combinação de três efeitos principais: ausência de preparo durante o ciclo da pastagem, presença de um denso sistema radicular, que atua como agente agregante, e maior atividade da macrofauna do solo em pastagens (MARCHÃO, 2007).

O grau de compactação provocado pelo pisoteio animal é influenciado pela textura do solo (CORREA; REICHARDT, 1995), sistema de pastejo (LEÃO et al., 2004), altura de manejo da pastagem (CASSOL, 2003), quantidade de resíduo vegetal sobre o solo (BRAIDA et. al., 2004) e umidade do solo (BETTERIDGE et al., 1999). No entanto, o efeito do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo é limitado às suas camadas mais superficiais (TREIN et al., 1991; BASSANI, 1996), podendo ser temporário e reversível (MORAES; LUSTOSA, 1997; CASSOL, 2003), quando a pastagem é manejada adequadamente.

Dentre as culturas sucessoras ao período de pastejo, o milho é aquela que demanda maior aplicação de N. Por essa razão é a cultura que melhor responde à adubação nitrogenada da pastagem. Além do mais, a utilização de uma gramínea no período de verão é necessária, de forma a possibilitar a rotação de culturas, prática que é imprescindível para a

sustentabilidade do sistema integração lavoura-pecuária, pois melhora a qualidade e a conservação do solo, reduz a incidência de pragas, doenças e plantas daninhas e aumenta a diversificação temporal da exploração econômica na propriedade rural (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

O objetivo do trabalho foi estudar a influência do pastejo e das doses nitrogênio em atributos físicos do solo (densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total) e na produtividade da cultura do milho em um sistema de integração lavoura-pecuária.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido durante o período de abril de 2007 a abril de 2008, na Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), *Campus* CEDETEG, no município de Guarapuava (PR). A área experimental localiza-se na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense. Encontra-se entre as coordenadas de 25º 33’ latitude Sul e 51º 29’ longitude Oeste e tem altitude de aproximadamente 1100 m.

No inverno de 2006 iniciou-se um projeto de integração lavoura-pecuária, onde anteriormente praticava-se o cultivo de culturas anuais para produção de grãos em sistema de plantio direto. Foi, então, implantada pastagem de azevém comum (*Lolium multiflorum* Lam.) a qual foi ocupada com ovinos, tendo como cultura subseqüente o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* Lam.). No inverno de 2007 a pastagem consistiu de aveia branca (*Avena sativa* Lam.), cultivar ‘FAPA 2’, e azevém comum, tendo com cultura sucessora de verão o milho.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb (MAAK, 1968). A precipitação anual varia de 1400 a 1800 mm e os meses de abril, maio e agosto são os de menores precipitações (IAPAR, 1994).

Foi efetuado o balanço hídrico dos anos de 2007 e 2008 (Figura 1), que compreende o período de realização do experimento de forma a verificar a ocorrência de deficiência hídrica.

A metodologia empregada foi a de THORNTHWAITE E MATHER (1995) utilizando-se para cálculo a planilha eletrônica desenvolvida por ROLIM et al. (1998).

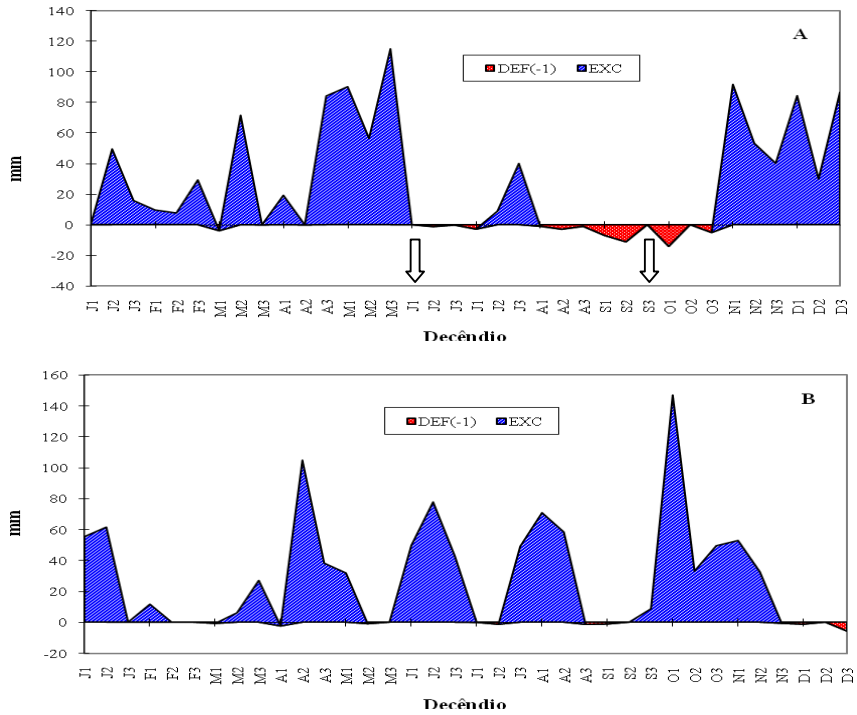


FIGURA 1 – Balanço hídrico seqüencial da cada intervalo de 10 dias, durante o ano de 2007 (A) e 2008 (B), Guarapuava, PR, 2009. As setas indicam o período de pastejo em 2007.

Os dados de Temperaturas (°C) máxima, mínima e média nos decêndios do mês de abril de 2007 até abril de 2008, constam na figura 2.

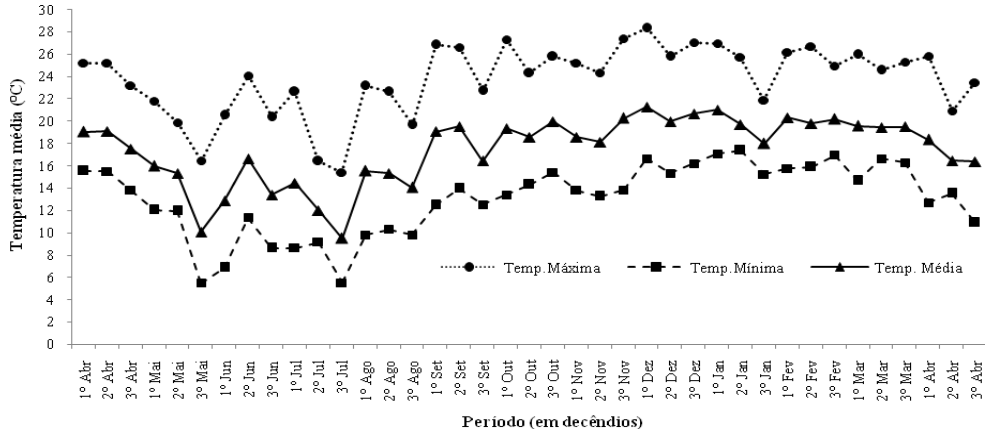


FIGURA 2 – Temperaturas (°C) máxima, mínima e média nos decêndios do mês de abril de 2007 até abril de 2008. Guarapuava, PR. *Temperatura média calculada de acordo com o INMET (*Tmed* = $(T_{9h} + T_{max} + T_{min} + 2 \times T_{21h})/ 5$).

O solo onde o experimento foi instalado é classificado como Latossolo Bruno Distroférrico Típico (EMBRAPA, 2006). Para a análise química, procedeu-se a amostragem de solo nas camadas de 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 15 cm do perfil, antes da instalação do experimento e os dados constam na Tabela 1.

TABELA 1 – Valores médios de pH em $CaCl_2$, C orgânico, P, K, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, H+Al, CTC e V, nas camadas (cm) de 0-5, 5-10 e 10-15, em 2007, Guarapuava, PR.

Ano	Profundidade	pH	g dm^{-3}	Mehlich mg dm^{-3}	Complexo Sortivo ($cmol_c$ dm^{-3})					pH 7,0	V
	(cm)	($CaCl_2$)	C	P	K^{1+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	CTC	(%)
2007	5	5,51	41,43	2,88	0,48	3,37	3,65	0,00	3,94	11,45	65,44
	10	5,57	39,38	2,11	0,27	3,23	3,47	0,00	3,71	10,68	65,24
	15	5,53	37,86	1,45	0,17	3,04	3,35	0,00	3,73	10,29	63,68
	Média	5,54	39,56	2,15	0,31	3,21	3,49	0,00	3,79	10,80	64,79

No ano de implantação do projeto (2006) foi determinada a textura do solo pelo método da pipeta (Tabela 2) e a densidade de partículas pelo método do álcool (Tabela 3), segundo (EMBRAPA, 1997).

TABELA 2 – Caracterização da textura do solo (g kg^{-1}) na fase inicial do experimento, em 2006, Guarapuava, PR.

TABLE 2 - Characterization of the soil texture (g kg^{-1}) in the initial phase of the experiment, 2006, Guarapuava, PR.

Camadas (cm)	**Areia (g kg^{-1})**	**Silte (g kg^{-1})**	**Argila (g kg^{-1})**
0-5	80,38	305,91	613,72
5-10	70,43	316,50	613,06
10-15	76,79	308,04	615,17

TABELA 3 – Densidade absoluta de partículas (Mg m^{-3}**)** na fase inicial do experimento, em 2006, Guarapuava, PR.

TABLE 3 - Particle density (Mg m^{-3}) in the initial phase of the experiment, 2006, Guarapuava, PR.

Camadas (cm)	**Com Pastejo (Mg m^{-3})**	**Sem Pastejo (Mg m^{-3})**
0-5	2,53	2,54
5-10	2,55	2,53
10-15	2,61	2,55

Delineamento Experimental

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso com parcelas subdividas e 3 repetições. As parcelas foram constituídas pelas dosagens de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha^{-1}, na pastagem de azevém e aveia branca, no inverno, com cultura do milho, no verão. As subparcelas foram com e sem pastejo.

A área experimental total compreendeu 3,1 hectares (ha), dos quais foram utilizados 2,6 ha, subdivididos em três blocos de 0,88 ha, sendo cada bloco dividido em 4 parcelas (unidade experimental) perfazendo um total de 12 parcelas de 0,22 ha. Em cada parcela foi isolada uma área de 96 m^2, que permaneceu sem pastejo. Os 0,5 ha restantes foram utilizados para a manutenção dos animais reguladores enquanto não estavam no experimento. Os tratamentos corresponderam a quatro doses de nitrogênio (N), na forma de uréia (45 % de N) sendo: 0 kg de N ha^{-1}; 75 kg de N ha^{-1} de N; 150 kg de N ha^{-1}; e 225 kg de N ha^{-1} na pastagem.

Manejo da pastagem

A semeadura da forragem foi realizada em 15 de abril de 2007 no sistema de semeadura direta, tendo como cultura de verão antecessora o feijoeiro. Foram utilizados 80 kg ha^{-1} de aveia branca e 35 kg ha^{-1} de azevém, com espaçamento de 17 cm entre linhas. A emergência das plântulas ocorreu 8 dias após a semeadura. Como adubação de base foram aplicados 250 kg ha^{-1} do fertilizante formulado 00-25-25 (N, P_2O_5, K_2O). Os tratamentos foram aplicados como adubação de cobertura, em dose única, 30 dias após a emergência (DAE).

O pastejo ocorreu do dia 10 de junho de 2007 até o dia 28 de setembro de 2007, totalizando, 110 dias de pastejo. Os animais utilizados eram cordeiros, da raça Ile de France, os quais permaneceram com suas mães até o dia 28 de julho, quando então foram desmamados. O sistema de pastejo utilizado foi o contínuo, com carga variável, objetivando

manter a altura da pastagem entre 14 e 15 cm (MOOT; LUCAS, 1952), seguindo recomendações de FREITAS (2003). Assim, os ajustes da lotação foram feitos periodicamente em intervalos de 3 dias, considerando a relação entre a altura e a massa de forragem, segundo CARVALHO et al. (2001).

Foram utilizados 24 cordeiros testes, machos e fêmeas, que permaneceram com suas mães durante 49 dias, quando então foram desmamados. O peso vivo médio inicial dos cordeiros era 9,5 kg e das matrizes de 47,8 kg. Os animais foram distribuídos aleatoriamente nos tratamentos de acordo com peso e sexo. Os animais reguladores, oriundos do mesmo rebanho, foram formados por animais das mesmas categorias dos testes.

Cultura do milho

Os animais foram retirados da pastagem no dia 28/09/07, 15 dias depois foi realizada a dessecação da pastagem, com herbicida glyphosate (900 g ha^{-1}).

A semeadura do híbrido de milho '30F53' foi efetuada no dia 24/10/07 em sistema de plantio direto com espaçamento de 0,8 m entre linhas. A emergência das plântulas ocorreu oito dias após a semeadura.

Na adubação, o fósforo e o potássio foram aplicados a lanço, antes da semeadura, nas dosagens de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 100 kg ha^{-1} de K_2O, sendo as fontes o supertriplo e o cloreto de potássio, respectivamente. Nao foi aplicado N na semedadura do milho.

Efetuou-se o controle das plantas daninhas por ocasião da dessecação, complementado pela aplicação de atrazine (3.500 g ha^{-1}) mais óleo mineral (0,5 L ha^{-1}), em pós emergência (12/11/2007). Não foi efetuado controle de pragas e doenças.

A produtividade do milho foi determinada em área útil de 8 m^2 (2 linhas x 0,8 m x 5 metros) e, depois da correção de umidade para 14 %, o valor foi convertido para kg ha^{-1}, sendo a colheita do milho efetuada em 15/04/08.

Avaliações dos Atributos Físicos do Solo

As camadas de amostragem do solo foram 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 15 cm, com duas repetições, nos períodos pré-determinados: Fase 3 – **Após colheita do feijão e** P**ré-plantio da pastagem** (30/03/2007); Fase 4 – **Após pastejo dos animais** (12/10/2007) e Fase 5 – **Após colheita do milho** (19/05/2008).

A densidade absoluta do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, a porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram determinadas pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997).

Análise Estatística

Os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância pelo programa SISVAR (FERREIRA, 2000). As variáveis que apresentaram variâncias homogêneas tiveram os tratamentos avaliados pelo Teste F. Quando os resultados revelaram significância ao nível de 5%, as médias dos fatores qualitativos (Pastejo) foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5%. Para os fatores quantitativos (N), foram ajustadas equações de regressão polinomial (modelos linear e quadrático) entre as doses de N (variável independente) com as variáveis avaliadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observada interação significativa entre os fatores doses de N e pastejo nos atributos físicos do solo avaliados (densidade absoluta, macroporosidade, microporosidade e porosidade total).

Densidade absoluta do solo (Ds)

As maiores diferenças entre os tratamentos quanto a Ds ocorreram na fase 3 (Tabela

4). Na camada de 5-10 cm (fase 3), as áreas com e sem pastejo diferiram entre si, sendo que a área com pastejo apresentou a maior média. Já na camada de 10-15 cm as médias da área pastejada e sem pastejo não diferiram entre si.

TABELA 4– Densidade do solo (Mg m^{-3}) nas camadas de 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2008, Guarapuava, PR.

TABLE 4– Soil density (Mg m^{-3}), in the layers 0 - 5, 5 - 10 and 10 - 15 cm, in the experiment phases, responses in the conditions with and ungrazed, 2008, Guarapuava, PR.

Tratamentos Doses de N (kg. ha-1	Fase 3 Após colheita do feijão		Fase 4 Pastoreio		Fase 5 Após colheita do milho	
	Camada de 0 - 5 cm					
	Com Pastejo	**Sem Pastejo**	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**
0	1,09 a	1,11 a	1,06 a	1,04 a	0,89 a	0,97 a
75	1,11 a	1,11 a	1,02 a	1,01 a	0,95 a	0,87 a
150	1,09 a	1,05 a	1,04 a	1,03 a	0,96 a	0,97 a
225	1,14 a	1,12 a	1,05 a	1,05 a	0,96 a	0,92 a
Médias	**1,11 a**	**1,10 a**	**1,04 a**	**1,03 a**	**0,94 a**	**0,94 a**
	Média geral= 1,10; CV (%) = 4,64; DMS = 0,05		Média geral= 1,03; CV (%) = 5,65; DMS = 0,07		Média geral= 0,95; CV (%)=12,73; DMS = 0,15	
	Camada de 5 - 10 cm					
0	1,11 a	1,08 a	1,07 a	1,09 a	1,02 a	1,03 a
75	1,13 a	1,10 a	1,05 a	1,08 a	0,99 a	0,97 a
150	1,14 a	1,14 a	1,07 a	1,10 a	0,84 a	1,10[a]
225	**1,17 a**	**1,08 b**	1,08 a	1,07 a	1,08 a	1,02 a
Médias	**1,14 a**	**1,10 b**	**1,07 a**	**1,08 a**	**0,98 a**	**1,02 a**
	Média geral= 1,12; CV (%) = 2,89; DMS = 0,06		Média geral= 1,07; CV (%) = 3,55; DMS = 0,045.		Média geral= 1,00; CV (% =10,33; DMS = 0,22	
	Camada de 10 - 15 cm					
0	1,08 a	1,08 a	1,10 a	1,08 a	1,02 a	0,89 a
75	1,15 a	1,13 a	1,08 a	1,01 a	0,97 a	0,97 a
150	1,14 a	1,13 a	1,06 a	1,07 a	1,05 a	0,98 a
225	1,11 a	1,14 a	1,09 a	1,07 a	1,02 a	1,02 a
Médias	**1,12 a**	**1,12 a**	**1,08 a**	**1,06 a**	**1,01 a**	**0,97 a**
	Média geral= 1,12; CV (%) = 4,12; DMS = 0,09		Média geral= 1,07; CV (%) = 5,14; DMS = 0,08.		Média geral= 0,99; CV (%) = 8,58; DMS = 0,10	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Nas fases 4 e 5 (Tabela 4) não ocorreu diferença significativa entre os resultados com pastejo e sem pastejo nas três camadas estudadas. Os valores médios de Ds não atingiram valores limitantes de acordo com a classe textural do solo da região (1,25 – 1,3 Mg m^{-3}) e desta forma não interferiram no desenvolvimento da cultura do milho, bem como da forragem, o que está de acordo com os resultados obtidos por REICHERT et al. (2003) e REINERT et al. (2006).

Comparando a área com e sem pastejo, os valores de Ds, não aumentaram com a presença dos animais, visto que a carga animal encontrada (Figura 3), foi em média de 591, 726, 843, 846 kg/Pv, nos tratamentos com 0, 75, 150 e 225 kg N ha^{-1} não influenciando nesse quesito, o que corrobora para a desmistificação de que a presença de animais em áreas de lavoura é prejudicial à cultura subseqüente.

SIQUEIRA Jr. (2005), comparando uma área com e sem pastejo, indicou que os valores de densidade aumentaram com a presença dos animais, mas de forma a não comprometer a qualidade física do solo para a produção da cultura posterior a pastagem, e que ao longo do período de cultivo existe um retorno à condição de densidade inicial, comprovando-se que a presença de animais em pastejo contínuo no inverno, quando a pastagem é bem manejada, não prejudica a Ds. Por outro lado, resultados conflitantes foram obtidos por LANZANOVA et al. (2007), os quais verificaram que em diferentes sistemas de pastejo ocorreu a compactação de solo na camada de 0 – 5 cm, quando avaliada a Ds.

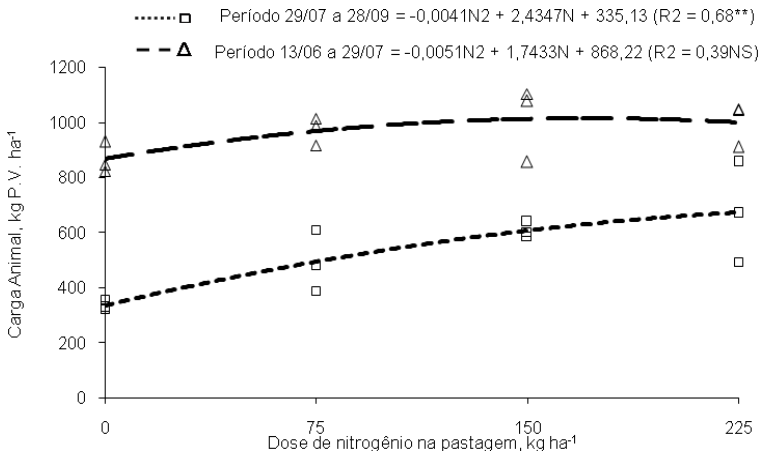


FIGURA 3 - Carga animal (kg PV ha^{-1}) em pastagem de aveia branca (*Avena sativa*) e azevém comum (*Lolium multiflorum*) de matrizes + cordeiros (período de 13/06 a 29/07) e cordeiros (período de 29/07 a 28/09) em função das doses crescentes de N aplicadas. Guarapuava, PR, 2009.

Já FLORES (2004) não encontrou diferença significativa na densidade e na porosidade de um Latossolo submetido ao pastejo de inverno em pastagem constituída por aveia-preta e azevém, manejada a alturas variando de 10 a 40 cm.

Macroporosidade do solo

Na tabela 5, são observados os valores de macroporosidade em todas as fases estudadas, nas quais não foram observadas diferenças significativas entre as médias de macroporos nas áreas com e sem pastejo.

TABELA 5 – Macroporosidade (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2008, Guarapuava, PR.

TABLE 5 – Macroporosity (m^3 m^{-3}) in the layers, 0-5, 5-10 and 10-15 cm, in the experiment phases, responses in the conditions with and ungrazed, 2008, Guarapuava, PR.

Tratamentos Doses de N (kg. ha-1	Fase 3 Após colheita do feijão		Fase 4 Pastoreio		Fase 5 Após colheita do milho	
	Camada de 0-5 cm					
	Com Pastejo	Sem Pastejo	Com Pastejo	Sem Pastejo	Com Pastejo	Sem Pastejo
0	0,09 a	0,11 a	0,17 a	0,12 a	0,21 a	0,18 a
75	0,08 a	0,08 a	0,14 a	0,15 a	0,18 a	0,19 a
150	0,11 a	0,12 a	0,15 a	0,16 a	0,21 a	0,16 a
225	0,08 a	0,08 a	0,18 a	0,14 a	0,21 a	0,15 a
Médias	**0,09 a**	**0,10 a**	**0,16 a**	**0,14 a**	**0,20 a**	**0,17 b**
	Média geral= 0,10; CV (%) = 23,59; DMS = 0,03		Média geral=0,15; CV(%)=15,22; DMS = 0,04		Média geral=0,19; CV(%)=20,30; DMS =0,05	
	Camada de 5-10 cm					
0	0,11 a	0,11 a	0,20 a	0,20 a	0,18 a	0,16 a
75	**0,07 a**	**0,11 a**	0,15 a	0,17 a	0,16 a	0,18 a
150	0,08 a	0,08 a	**0,16 a**	**0,08 b**	0,17 a	0,18 a
225	0,08 a	0,11 a	0,18 a	0,19 a	0,17 a	0,17 a
Médias	**0,08 a**	**0,10 a**	0,17 a	0,16 a	**0,17 a**	**0,17 a**
	Média geral = 0,09; CV (%) = 25,55; DMS = 0,02		Média geral=0,16; CV(%)=15,91; DMS = 0,03.		Média geral=0,17; CV(%)=6,87; DMS = 0,02	
	Camada de 10 -15 cm					
0	0,10 a	**0,11 a**	0,18 a	0,19 a	0,19 a	0,20 a
75	0,07 a	**0,06 a**	0,20 a	0,22 a	0,16 a	0,18 b
150	0,08 a	**0,08 a**	0,15 a	0,14 a	0,15 a	0,16 a
225	0,09 b	**0,11 a**	0,15 a	0,18 a	0,15 a	0,17 b
Médias	**0,08 a**	**0,09 a**	**0, 17 a**	**0,18 a**	**0,16 b**	**0,18 a**
	Média geral= 0,09; CV (%) = 19,77; DMS = 0,02		Média geral=0,18; CV(%)=15,53; DMS = 0,05.		Média geral= 0,17; CV(%)=3,93; DMS = 0,01	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

No entanto, na fase 3, em geral, ocorreram valores de macroporos considerados restritivos ao desenvolvimento vegetal. Apesar de não significativo, na área com pastejo verificou-se os menores valores de macroporos variando de 0,07 a 0,09 m^3 m^{-3}, considerado limitante ao desenvolvimento das culturas, segundo REINERT et al. (2006). Os macroporos estão relacionados com processos vitais para as plantas, devendo ser superiores a 0,10 m^3 m^{-3} para permitir as trocas gasosas e o crescimento de raízes da maioria das culturas. No entanto na integração lavoura-pecuária principalmente no período de inverno, quando a umidade geralmente é elevada, pode ocorrer com o pisoteio animal alterações na densidade do solo e no volume de macroporos.

Já na fase 5 a macroporosidade observada nos diferentes tratamentos foi igual ou superior ao limite mínimo de 0,10 m^3 m^{-3}, ideal para que ocorra a adequada difusão de oxigênio no solo, para o bom desenvolvimento das plantas (GRABLE; SIEMER, 1968).

A compactação imposta pelo pisoteio animal reduziu os macroporos inicialmente (Fase 3). No entanto, percebeu-se que o volume de macroporos aumentou consideravelmente após o pastejo e após a colheita do milho (fase 4 e 5). Isto está de acordo com ALBUQUERQUE et al. (2001), os quais relatam que o sistema radicular de gramíneas possibilita uma melhora na estrutura física do solo, pelo aumento da porosidade total e pelo acréscimo de matéria orgânica ao solo, melhorando a estrutura e a estabilidade dos agregados, principalmente da superfície do solo.

De acordo com ANDREOLA et al. (2000), uma das mais prováveis razões para o aumento de macroporos é o efeito das raízes da cultura do milho, assim como as das pastagens. As raízes do milho, ao penetrarem, comprimem as partículas do solo, e com a morte e decomposição formam os bioporos, que contribuem para o aumento da macroporosidade (DEXTER, 1991; SPERA et al., 2009) .

Microporosidade do solo (Micro)

Na Tabela 6, são apresentados os dados de microporosidade, para as fases 3, 4 e 5.

TABELA 6 – Microporosidade (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0–5, 5–10 e 10–15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2008, Guarapuava, PR.

TABLE 6 – Microporosity (m^3 m^{-3}) in the layers, 0-5, 5-10 and 10-15 cm, in the experiment phases, responses in the conditions with and ungrazed, 2008, Guarapuava, PR.

Tratament0s Doses de N (kg. ha^{-1})	Fase 3 Após colheita do feijão		Fase 4 Pastoreio		Fase 5 Após colheita do milho	
	Camada de 0-5 cm					
	Com Pastejo	**Sem Pastejo**	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**
0	0,52 a	0,50 a	0,44 a	0,44 a	0,47 a	0,48 a
75	0,48 a	0,51 a	0,47 a	0,47 a	0,44 a	0,48 a
150	0,46 a	0,50 a	0,43 a	0,45 a	0,41 a	0,48 a
225	0,49 a	0,46 a	0,44 a	0,44 a	0,40 a	0,48 a
Médias	**0,49 a**	**0,49 a**	**0,44 a**	**0,45 a**	**0,43 b**	**0,48 a**
	Média geral= 0,49; CV(%)=4,36; DMS = 0,03		Média geral= 0,45; CV (%) = 5,59; DMS = 0,04		Média geral= 0,46; CV %)= 7,85; DMS =0,05	
	Camada de 5-10 cm					
0	0,48 a	0,52 a	0,43 a	0,42 a	0,45 a	0,48 a
75	0,49 a	0,47 a	0,42 a	0,44 a	0,45 a	0,45 a
150	0,48 a	0,40 b	0,43 a	0,42 a	0,51 a	0,32 **b**
225	0,48 a	0,50 a	0,42 a	0,42 a	0,44 a	0,46 a
Médias	**0,48 a**	**0,47 a**	**0,42 a**	**0,43 a**	**0,46 a**	**0,44 a**
	Média geral= 0,48; CV(%)=4,13; DMS = 0,02		Média geral=0,43; CV (%) =3,32; DMS = 0,03		Média geral=0,45; CV(%)=27,11; DMS =0,02	
	Camada de 10 -15 cm					
0	0,43 b	0,48 a	0,43 a	0,43 a	0,46 a	0,46 a
75	0,51 a	0,52 a	0,42 a	0,44 a	0,48 a	0,44 a
150	0,48 a	0,48 a	0,43 a	0,41 a	0,47 a	0,47 a
225	0,48 a	0,47 a	0,42 a	0,42 a	0,50a	0,46 a
Médias	**0,48 a**	**0,49 a**	**0,42 a**	**0,42 a**	**0,48 a**	**0,46 a**
	Média geral= 0,48; CV(%)=2,97; DMS = 0,04		Média geral=0,43; CV (%)= 3,03; DMS =0,02		Média geral=0,47; CV (%) =7,23; DMS = 0,04	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Nas camadas de 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 15 cm, em todas as fases estudadas, os valores médios de microporos não diferiram nas áreas com e sem pastejo e frente as diferentes doses de N.

Porém, comparando-se as fases 3 e 4, nota-se que a qualidade do solo foi melhorada na fase 4, o que provavelmente deveu-se a redução dos valores de microporos com o respectivo aumento de macroporos (Tabela 5), devido provavelmente ao aporte de material

orgânico através de resíduos vegetais e animais, além da ação benéfica das raízes das plantas e proteção oferecida à superfície do solo (BAYER et al., 2004), favorecendo a reestruturação do mesmo (SPERA et al., 2009).

Segundo SILVA e MIELNICZUK (1997) e SOUTO (2006), os efeitos benéficos das gramíneas na formação e estabilização dos agregados do solo são devido à alta densidade de raízes, que promove a aproximação das partículas pela constante absorção de água do perfil do solo, às periódicas renovações do sistema radicular e à uniforme distribuição de exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos atuam na formação e estabilização dos agregados

Porosidade total do solo (Pt)

Na Tabela 7, são apresentados os valores de Porosidade total do solo (Pt).

Na fase 3, na camada de 10 - 15 cm ocorreu diferença entre as áreas com pastejo e sem pastejo, sendo observada essa diferença no tratamento sem N.

Na fase 4, em todas as camadas estudadas, não ocorreu diferença dos tratamentos nas médias de porosidade total.

Na fase 5, na camada de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados nos valores de porosidade total. Entretanto para a camada de 10 – 15 cm observou-se que a área com pastejo apresentou porosidade total significativamente menor que na área sem pastejo.

Pelos resultados observados, verifica-se que a porosidade total não sofre alterações significativas por parte do pastejo em diferentes doses de N, o que está de acordo com SPERA et al. (2004), que estudando pastagens sob plantio direto, concluiram não haver evidências de que o pisoteio tenha interferido negativamente nos atributos físicos do solo.

TABELA 7 – Porosidade total (m^3 m^{-3}) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, nas fases experimentais, em respostas as condições com e sem pastejo, 2008, Guarapuava, PR.

TABLE 7 - Total porosity (m^3 m^{-3}) in the layers, 0-5, 5-10 and 10-15 cm, in the experiment phases, responses in the conditions with and ungrazed, 2008, Guarapuava, PR.

Tratament0s Doses de N (kg. ha-1	Fase 3 Após colheita do feijão		Fase 4 Pastoreio		Fase 5 Após colheita do milho	
	Camada de 0-5 cm					
	Com Pastejo	**Sem Pastejo**	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**	**Com Pastejo**	**Sem Pastejo**
0	0,61 a	0,62 a	0,61 a	0,56 a	0,68 a	0,66 a
75	0,56 a	0,58 a	0,61 a	0,62 a	0,62 a	0,67 a
150	0,57 b	0,61 a	0,58 a	0,61 a	0,62 a	0,64a
225	0,58 a	0,54 b	0,62 a	0,58 a	0,61 a	0,63a
Médias	**0,58 a**	**0,59 a**	**0,60 a**	**0,59 a**	**0,63 a**	**0,65 a**
	Média geral= 0,58; CV (%) = 3,48; DMS = 0,02		Média geral= 0,60; CV (%) = 5,55, DMS = 0,05		Média geral= 0,64; CV (%) =5,54; DMS =0,05,	
	Camada de 5-10 cm					
0	0,59 b	0,63 a	0,63 a	0,62 a	0,63 a	0,64 a
75	0,56 b	0,59 a	0,57 a	0,61 a	0,61 a	0,63 a
150	0,56 a	0,48 b	0,58 a	0,50 b	0,68 a	0,50 b
225	0,57 b	0,60 a	0,60[a]	0,61 a	0,61 a	0,63 a
Médias	**0,57 a**	**0,57 a**	**0,59 a**	**0,58 a**	**0,63 a**	**0,61 a**
	Média geral= 0,57; CV (%) = 2,08; DMS = 0,02		Média geral= 0,58; CV (%) = 4,90; DMS =0,04		Média geral= 0,62; CV (%) =15,13; DMS = 0,15	
	Camada de 10 -15 cm					
0	0,53 b	0,59 a	0,61 a	0,62 a	0,65 a	0,66 a
75	0,59 a	0,58 a	0,62 a	0,66 a	0,64 a	0,62 a
150	0,56 a	0,56 a	0,58 a	0,55 a	0,62 a	0,63 a
225	0,57 a	0,58 a	0,57 a	0,60 a	0,65 a	0,63 a
Médias	**0,56 b**	**0,58 a**	**0,60 a**	**0,61 a**	**0,64 a**	**0,63 a**
	Média geral= 0,57; CV (%) = 3,21; DMS = 0,04		Média geral= 0,60; CV (%) = 2,99; DMS =0,04		Média geral=0,64; CV (%) =, 3,50; DMS =0,03	

Nota: Para cada fase, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Estes resultados estão de acordo com LUNARDI et al. (2008) que relatam que o impacto negativo sobre os atributos na maioria das vezes é superficial e desta forma as raízes das culturas subseqüentes conseguem melhorar a qualidade do solo, mesmo tendo o pisoteio animal.

Produtividade do Milho

A produtividade de grãos de milho foi afetada positivamente, com resposta quadrática (Figura 4).

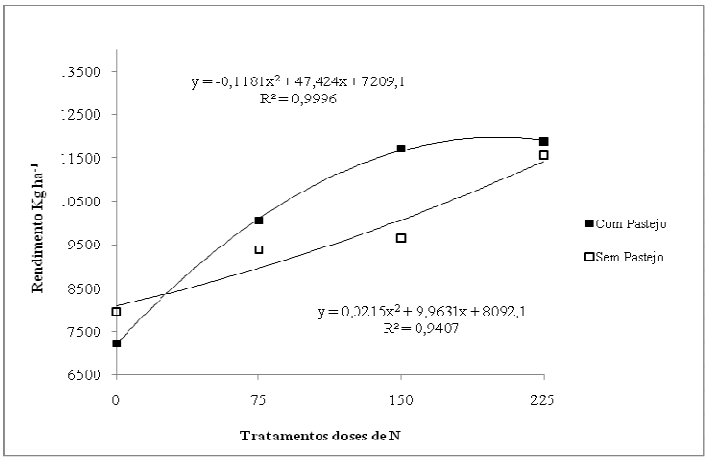


FIGURA 4 - Produtividade de grãos do milho (kg ha^{-1}), na presença e ausência de pastejo, frente às doses de aplicação de N na pastagem, Guarapuava, PR, 2008

FIGURE 4 - Yield of corns grains (kg ha^{-1}), in the presence and absence of grazing, front to the doses of nitrogen application in the pasture, Guarapuava, PR, 2008

Os valores médios encontrados de produtividades do milho na área com pastejo foi de 10.220 kg ha^{-1} e na área sem pastejo de 9.636 kg ha^{-1}, demonstrando que houve efeito residual do N aplicado na pastagem em função do comportamento da cultura do milho.

Pode ser observado a elevada produtividade do milho na área que recebeu pastejo, apesar de que a menor produtividade de grãos foi obtida em áreas com pastejo sem a aplicação de N. Resultados semelhantes foram obtidos por ASSMANN et al. (2003), que observaram efeito residual do N aplicado na pastagem sobre a cultura do milho. À medida que aumenta as doses de N aplicada no inverno ocorre um crescente aumento da produtividade de grãos na área pastejada, sendo superiores as áreas sem pastejo.

Este fato pode ser atribuído a imobilização de N que possivelmente ocorreu por conseqüência da alta relação C/N que as gramíneas apresentam e pela maior quantidade de fitomassa presente nas áreas não pastejadas. A imobilização de N por gramíneas antecessoras a cultura do milho foi relatada por vários autores (DIECKOW et al., 2006; SILVA et al., 2006; SILVA et al., 2007; STRIEDER et al., 2006).

O pastejo parece ter favorecido a ciclagem mais rápida do N aplicado, estimulando a absorção de N pelas plantas, possibilitando, desta forma, maior aproveitamento do nutriente aplicado, quando comparado às áreas que não receberam pastejo (ASSMANN et al., 2003) e mesmo o fato de se ter animais na área pastejando não ocasionou efeito suficiente de compactação superficial que pudesse limitar o desenvolvimento das plantas.

CONCLUSÕES

- O pastejo com ovinos, em sistema de lotação contínua, com controle da taxa de lotação animal e manutenção da massa de forragem consorciada com aveia e azevém, adubado com nitrogênio, não compromete a qualidade física do Latossolo Bruno nos atributos avaliados (densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total) e na produtividade da cultura do milho, em um sistema de integração lavoura-pecuária;

- A adubação nitrogenada da pastagem de inverno, igual ou superior a 150 kg N ha $^{-1}$, garante elevada produtividade da cultura do milho na ausência da aplicação de N.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEVSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. R. Bras. Ci. Solo, 24:857-865, 2000.

ARCHER, S.; SMEINS, F. E. Ecosystem-level processes. In: HEITSCHIMIDT, R. K.; STUTH, J. W., eds. Grazing management: an ecological perspective. Portland, Timber Press, 1991. p.109-139.

ASSMANN, T. S.; RONZELLI JÚNIOR, P; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. R. Bras. Ci. Solo, 27:675-683, 2003.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al.. Integração lavoura-pecuária: intensificação do uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**. **In press**, 2009.

BASSANI, H. J. Propriedades físicas induzidas pelo plantio direto e convencional em área pastejada e não-pastejada. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1996. 90p. (Dissertação de Mestrado).

BAUER, A.; COLE, C. V.; BLACK, A. L. Soil property comparisons in virgin rassland between grazed and nongrazed management systems. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:176-182, 1987.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de Carbono em frações lábeis na matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 39:677-683, 2004.

BETTERIDGE, K.; MACKAY, A. D.; SHEPHERD, T. G.; BARKER, D. J.; BUDDING, P. J.; DEVANTIER, B. P.; COSTALL, D. A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. Aust. J. Soil Res., 37:743-760, 1999.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. A. D.; REINERT, D. J.; SEQUINATO, L.; KAISER, D. R. Relações entre a quantidade de palha existente sobre o solo e a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE ANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15, Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CDROM.

CARVALHO, P. C. F.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; POLI, C. H. E. C. Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. In: PEDREIRA, C. G. S e DA SILVA, S. C. (Ed) A Produção Animal na Visão dos Brasileiros, Piracicaba: FEALQ, p. 853-871, 2001.

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

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. Pesq. Agropec. Bras., 30:107-114, 1995.

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. Soil Till. Res., 20:87-100, 1991.

DIECKOW, J.; MUERER, E. J.; SALET, R. L. Nitrogen application timing and soil inorganic nitrogen dynamics under no-till oat/maize sequential cropping. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.30, p.707-714, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Humberto Gonçalves dos Santos, 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 412 p.

FERREIRA, D. F. Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas. Lavras: UFLA, 2000. 63 p.

FLORES, J. P. C. Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário em superfície. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 74p. (Dissertação de Mestrado).

FREITAS, T. M. S. de. Dinâmica da produção de forragem, comportamento ingestivo e produção de ovelhas Ile de France em pastagem de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) em resposta a doses de nitrogênio. 2003. 114f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

GARCIA, R.; ROCHA, F. C.; BERNARDINO, F. S.; GOBBI, K. F. Forrageira utilizadas no sistema integrado agricultura-pecuária. In: ZAMBOLIM, L; SILVA, A. A. da; AGNES, E. L. (eds.). **Manejo integrado: integração agricultura-pecuária.** Viçosa-MG: UFV, p. 331- 352, 2004.

GRABLE A. R; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. Soil Sci Soc Am Proc 32:180-186, 1968.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. Cartas climáticas do estado do Paraná 1994. Londrina: IAPAR, 1994. 49p.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. R. Bras. Ci. Solo, 28:415-423, 2004.

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. R. Bras. Ci. Solo, 31:1131-1140, 2007.

LUNARDI, R.; CARVALHO, P. C. F.; TREIN, C. R.; COSTA, J. A.; CAUDURO, G. F.; BARBOSA, C. M. P.; AGUINAGA, A. A. Q. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. Ciência Rural, v.38, n.3, mai-jun, 2008.

MAAK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Estado do Paraná. 1968. 350p.

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

MOOT, G. O; LUCAS, H. L. The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS. 6. Poceedings Pensylvania: State College, p.1380-1395, 1952.

MORAES, A.; LUSTOSA, S. B. C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, 1997, Maringá. Anais. Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 1997. p.129-149.

NICOLOSO, R. S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 149p. (Tese de Mestrado).

REICHERT, J. M; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. A Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Revista Ciência Ambiental, 27:29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. V.; SUZUKI, L. E. A. S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 16, Aracaju. Palestras. Aracaju, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. CD-ROM.

ROLIM, G. S. et al. Planilhas no ambiente EXCEL TM para cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, 1998. p.133-137.

SILVA, I. de F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** campinas, v.21, n.1, p.113-117, 1997.

SILVA, D. A. et al. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.75-88, 2006.

SILVA, A. A. et al. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v.37, n.4, jul-ago, 2007.

SINGH, R. S.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, J.S. Nitrogen mineralization in dry tropical savanna: Effects of burning and grazing. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, p. 269-273, 1991.

SIQUEIRA JR., L. A. de. **Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira.** Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, 2005.

SOUTO, M. S. **Pastagem de aveia e azevém na integração lavoura pecuaria: produção de leite e caracteristicas do solo**. Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, 2006. 80p.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuaria e os atributos fisicos do solo manejado sob sistema plantio direto. . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:129-136, 2009

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004.

STRIEDER, M. L. et al. Época de aplicação da primeira dose de nitrogênio em cobertura em milho e espécies antecessoras de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n.5, p.879-890, 2006.

THORNTHWAITE, C. W.; MATEHR, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 104p. 1955.

TREIN, C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. R. Bras. Ci. Solo, 15:105-111, 1991.

7. CONSIDERAÇOES FINAIS

O manejo da pastagem constitui-se em fator-chave para o sucesso do sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). A pressão do casco dos animais sobre o solo pode comprometer a qualidade física na camada superficial, em razão do aumento da densidade do solo e da redução da porosidade. No entanto, o pastejo não trouxe prejuízo para as culturas sucessoras, o que corrobora para a desmistificação de que a presença de animais em áreas de lavoura é prejudicial à cultura subseqüente. Contudo, enfatiza-se que o manejo da pastagem deve seguir preceitos que evitem a compactação superficial do solo e mantenha adequada cobertura do solo com palha, já que estes fatores estão ligados à sustentabilidade do sistema de plantio direto empregado no sistema de ILP.

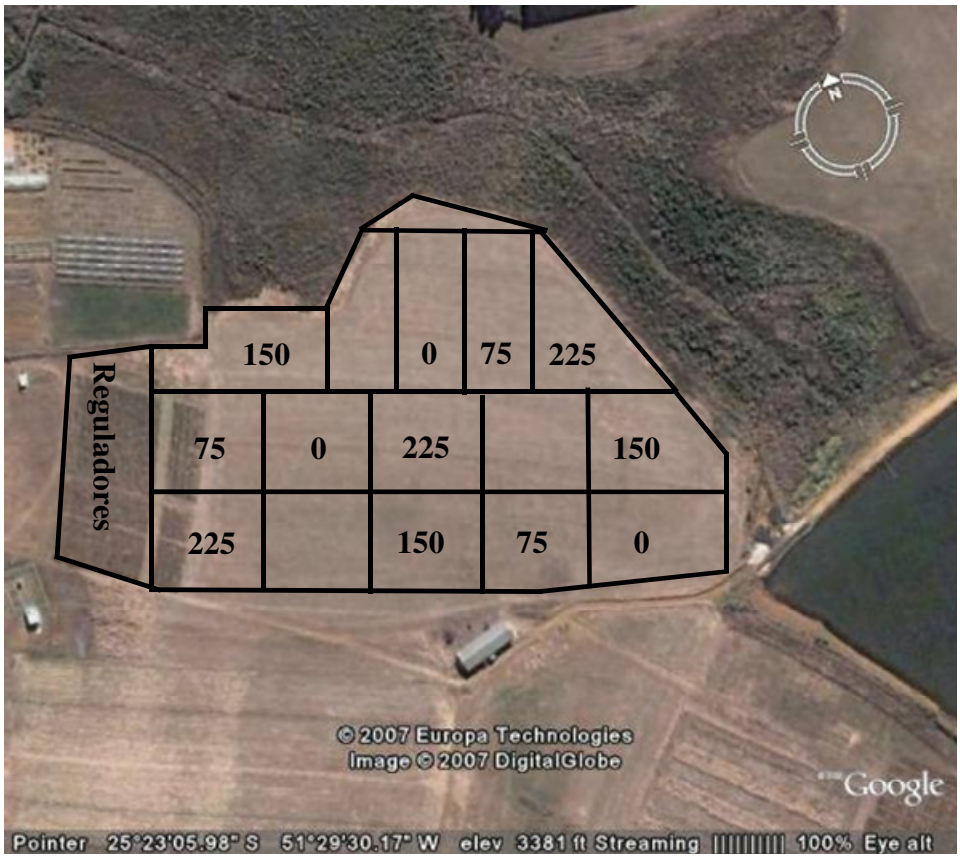
A densidade e a porosidade do solo são as propriedades físicas mais amplamente utilizadas na quantificação da qualidade física do solo, em pastagem sob pastejo, a qual é mais afetada nos primeiros 10 cm de profundidade, conforme observado no presente trabalho.

Os resultados observados nestes 3 anos de trabalho ainda deixam muitas dúvidas no que diz respeito aos efeitos negativos do casco animal sobre os atributos físicos do solo. Em primeiro lugar o solo no qual os experimentos foram conduzidos, trata-se de Latossolo Bruno distroférrico, o qual é teoricamente mais suscetível a compactação. Apesar disso, resta a duvida de como se daria estes efeitos em outros tipos de solo, já que outros fatores tais como tipo de cobertura vegetal ou pastagem, precipitação pluviométrica, temperatura, tipo de animal em pastejo, etc, promovem ou podem promover resultados contraditórios.

Embora os resultados sejam auspiciosos é prematuro afirmar que o pastejo compromete ou não os atributos físicos do solo. Assim, necessário se faz a realização dessas avaliações em diferentes localidades que representem diferentes solos e diferentes condições climáticas.

Assim, há necessidade de continuidade dos experimentos, contemplando as culturas de soja e feijão, que são importantes em vários sistemas de produção utilizados no Sul do Brasil, para verificar o efeito do pastejo e da fertilização nitrogenada sobre as variáveis físico-químicas e biológicas do solo ao longo do tempo.

APÊNDICE 2 - CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL (UNICENTRO – GUARAPUAVA – PR)



APÊNDICE 3 – ARTIGO 1

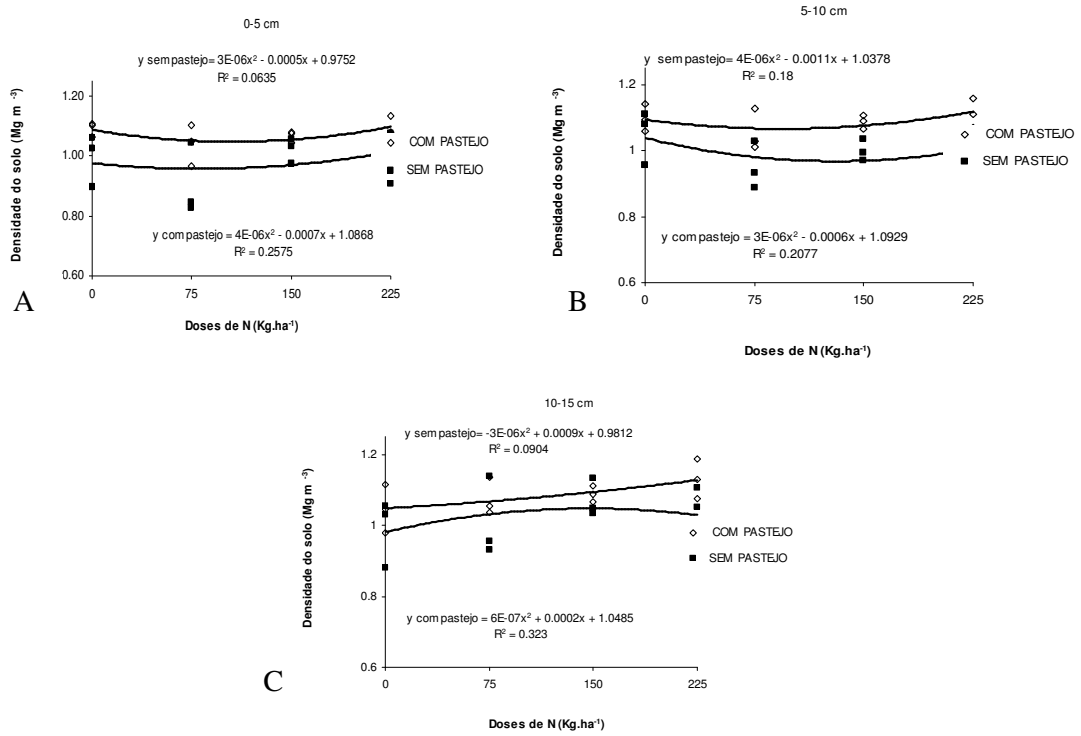


FIGURA 1 – Densidade do solo (Mg m-3), na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 1ª fase (Início do experimento - Pré plantio da pastagem), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

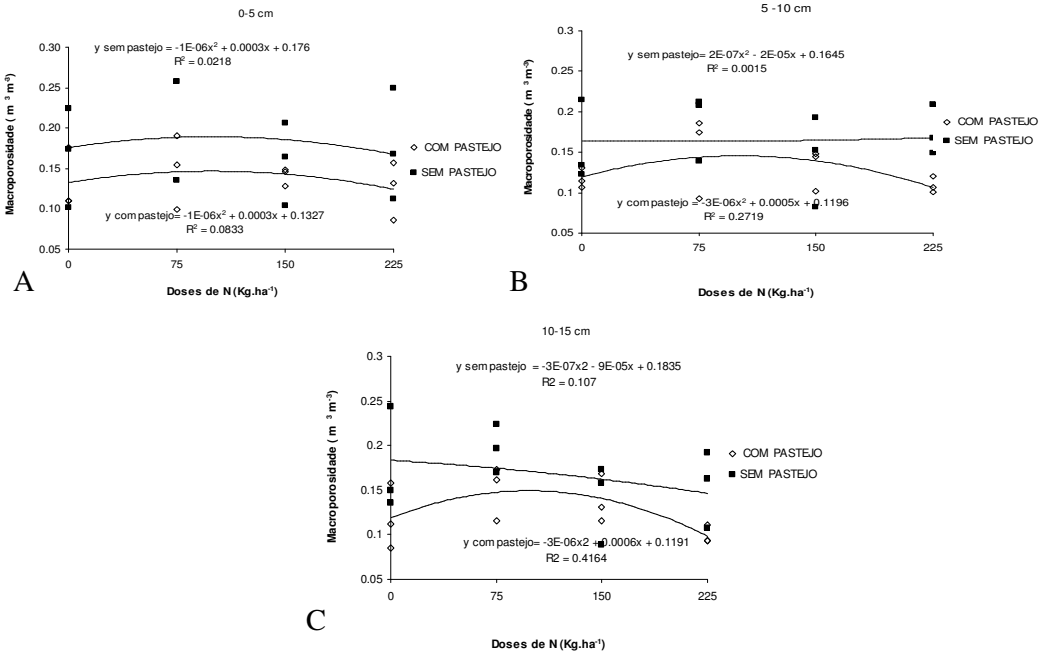


FIGURA 2 – Macroporosidade do solo (m^3 m^{-3}) na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 1ª fase (Início do experimento - Pré plantio da pastagem), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

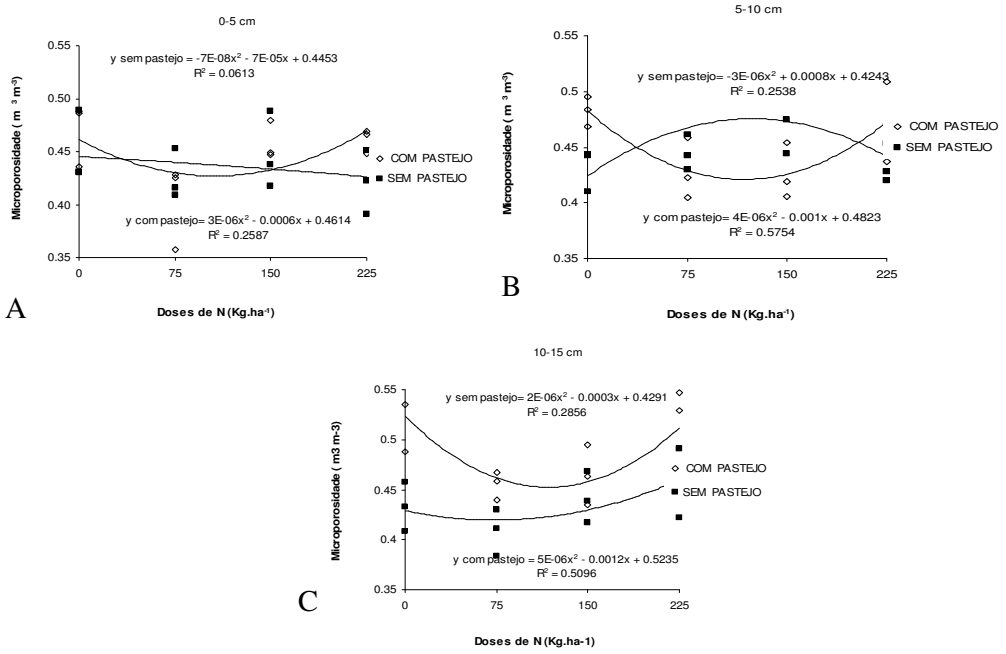


FIGURA 3 – Microporosidade do solo ($m^3\ m^{-3}$) na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 1ª fase (Início do experimento - Pré plantio da pastagem), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

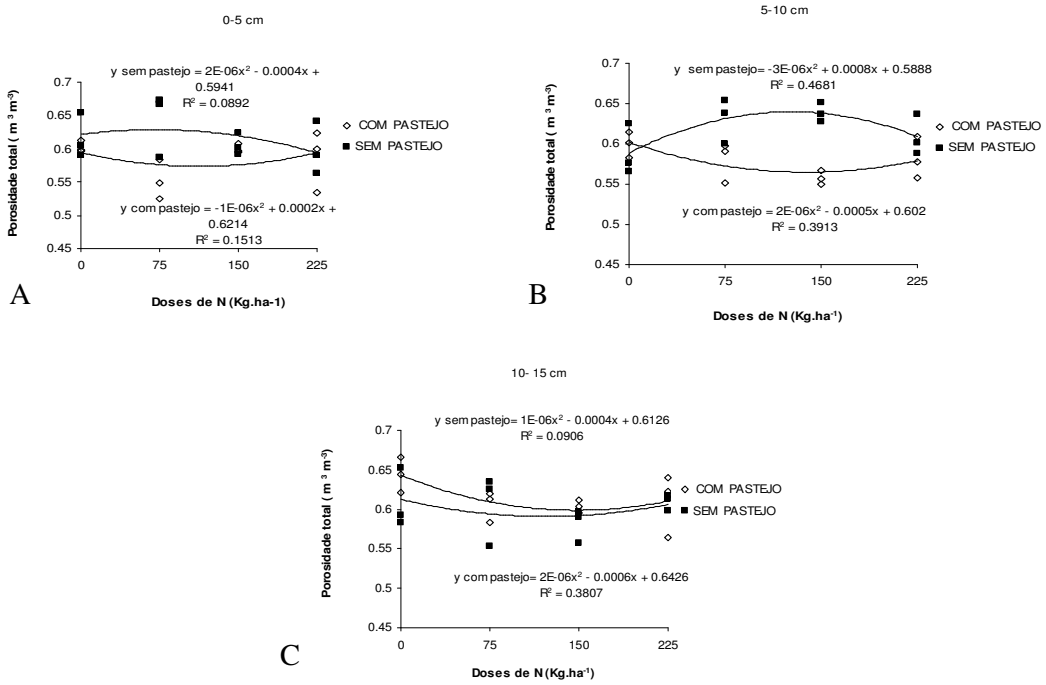


FIGURA 4 – Porosidade total do solo ($m^3\ m^{-3}$) na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 1ª fase (Início do experimento - Pré plantio da pastagem), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

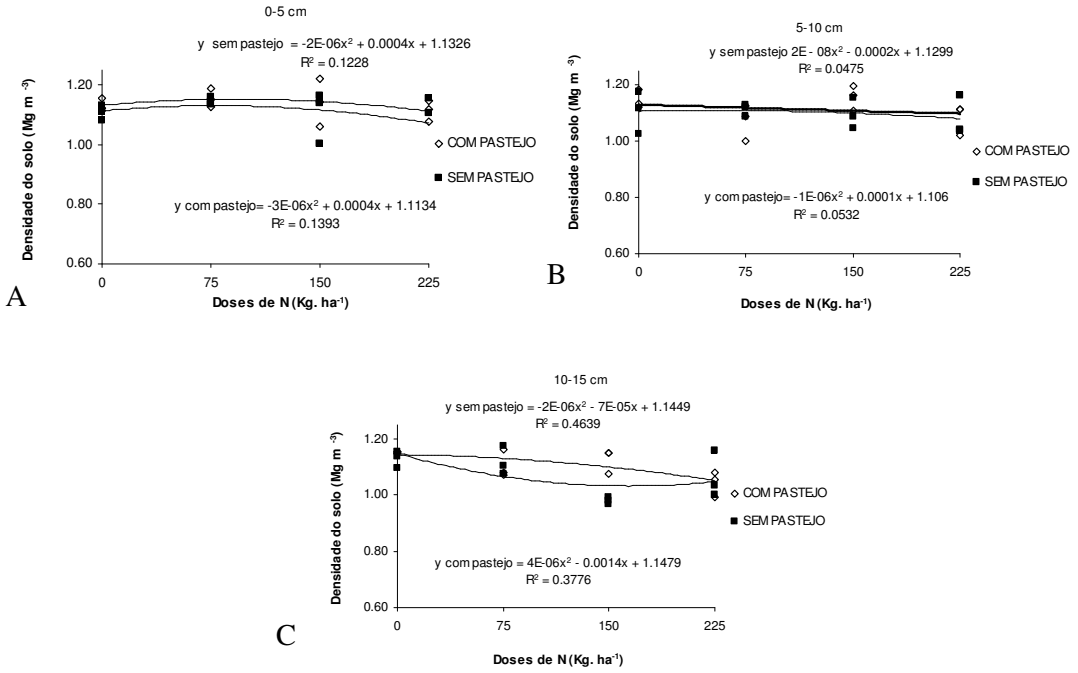


FIGURA 5 – Densidade do solo (Mg m-3), na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 2ª fase do experimento (após pastoreio), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

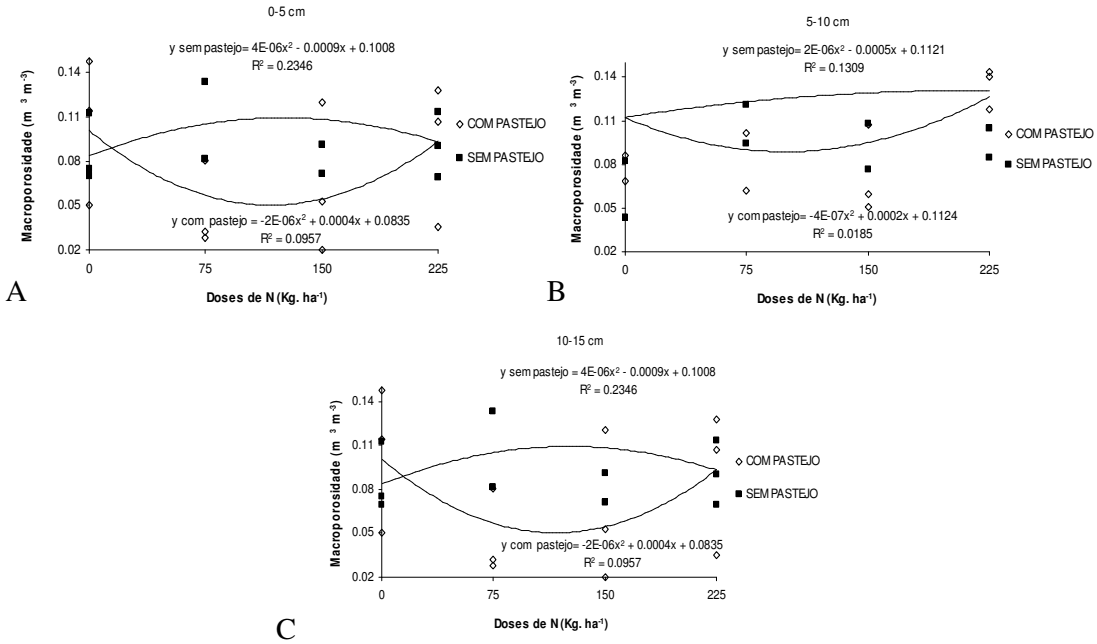


FIGURA 6 – Macroporosidade do solo (m^3 m^{-3}) na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 2ª fase do experimento (após pastoreio), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

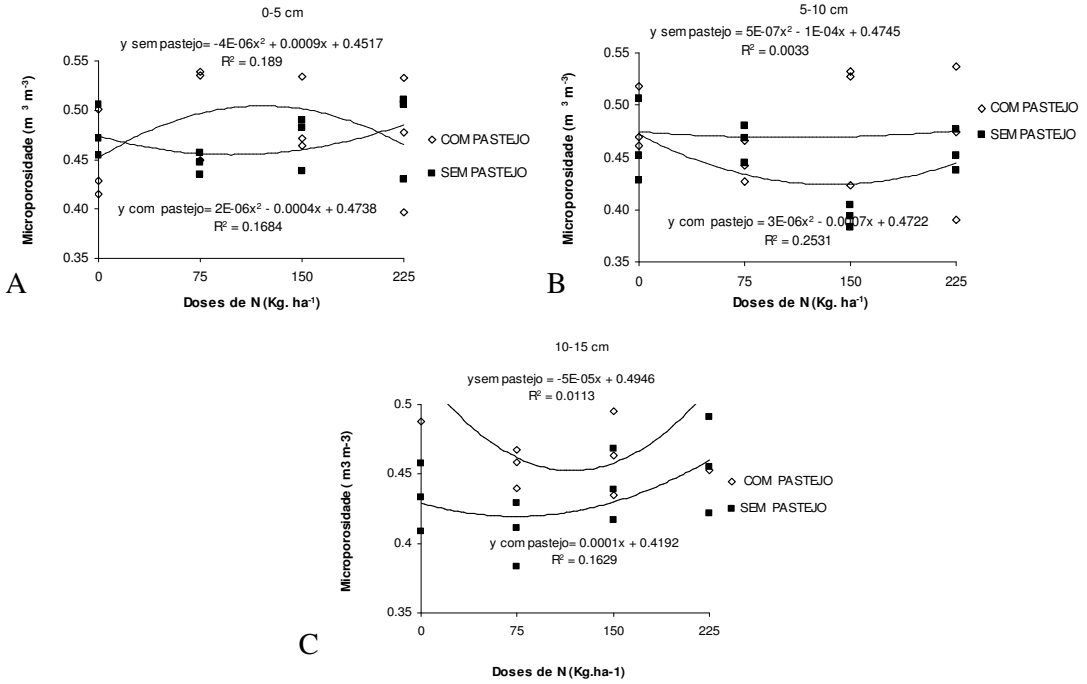


FIGURA 7 – Microporosidade do solo ($m^3\ m^{-3}$) na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 2ª fase do experimento (após pastoreio), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

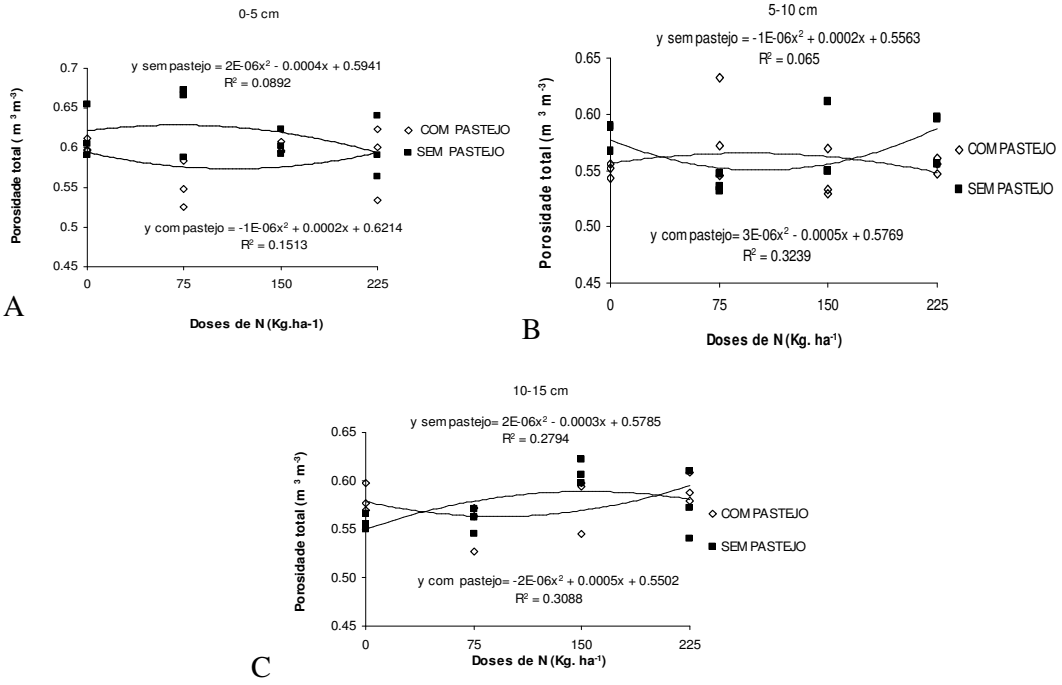


FIGURA 8 – Porosidade total do solo ($m^3\ m^{-3}$) na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 2ª fase do experimento (após pastoreio), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

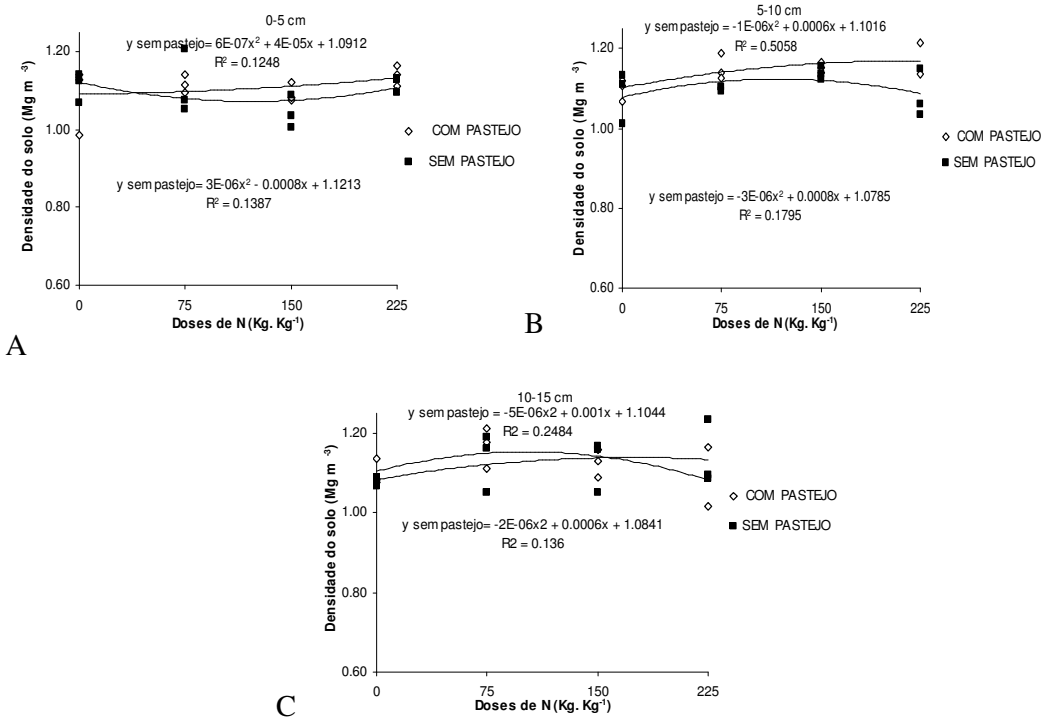


FIGURA 9 – Densidade do solo (Mg m-3), na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita do feijoeiro), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

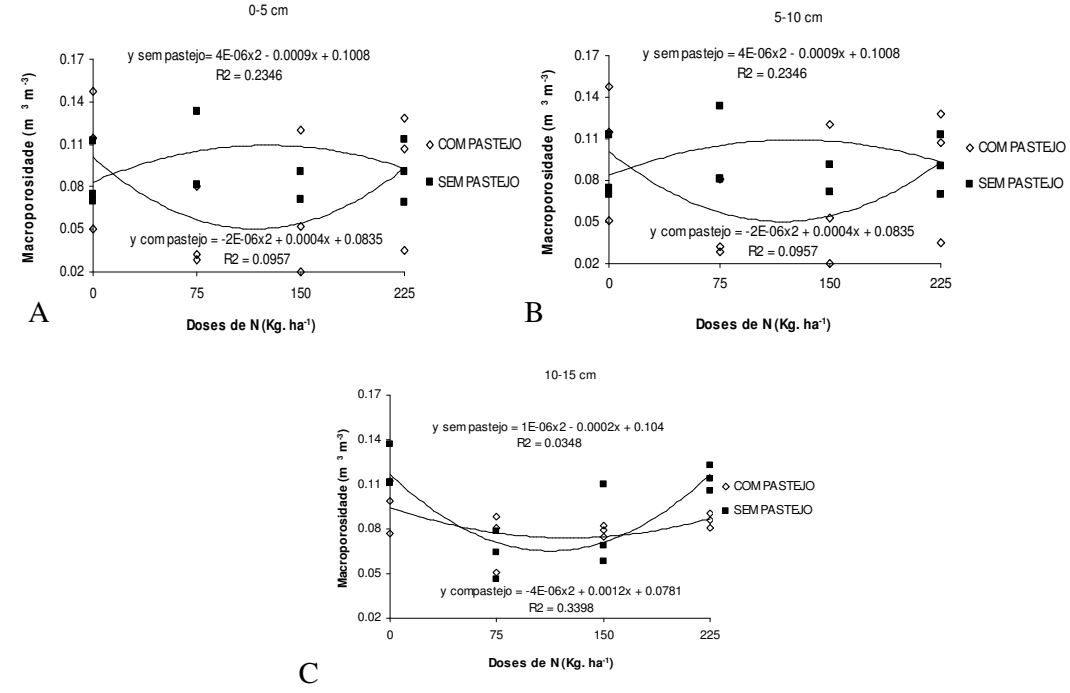


FIGURA 10 – Macroporosidade do solo (m^3 m^{-3}) na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita do feijoeiro), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

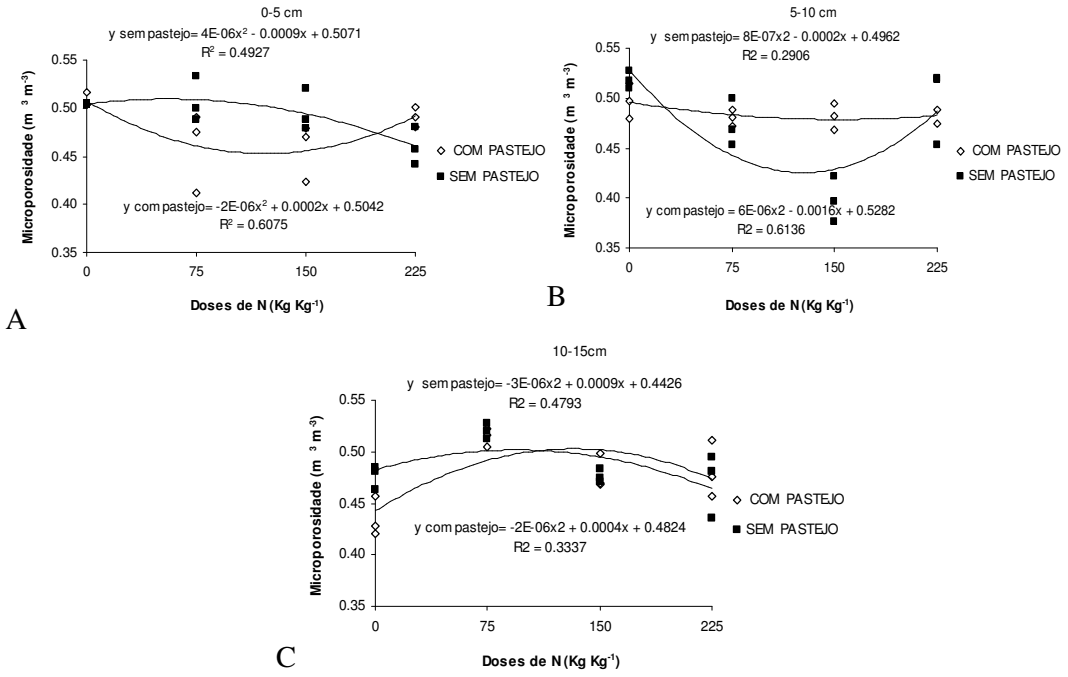


FIGURA 11 – Microporosidade do solo (m^3 m^{-3}) na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita do feijoeiro), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

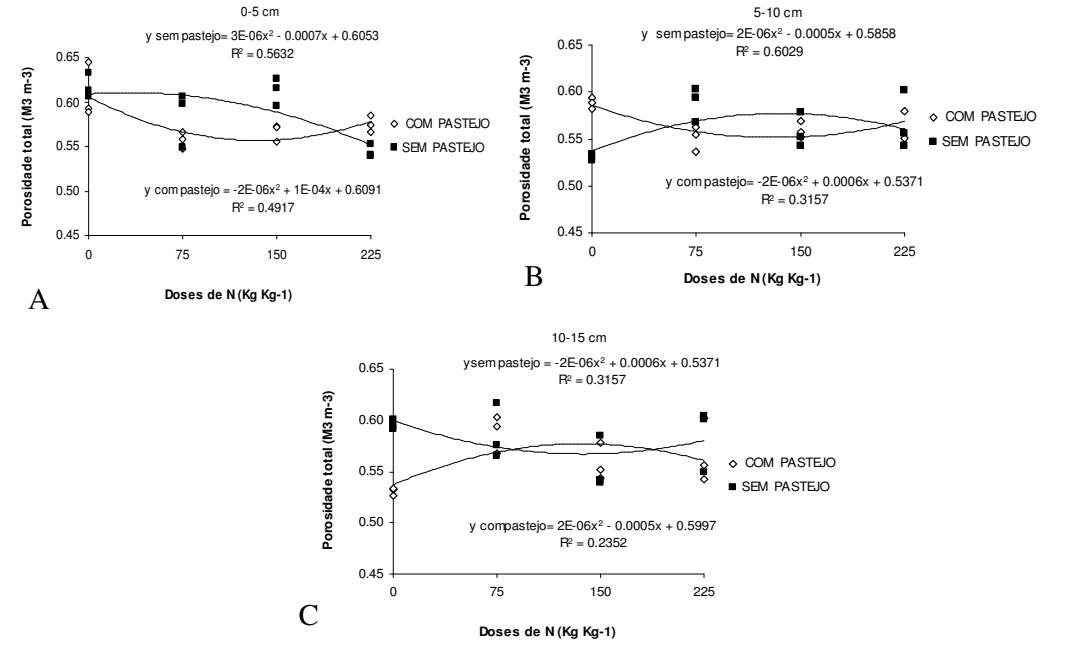


FIGURA 12 – Porosidade Total do solo (m^3 m^{-3}) na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, na 3ª fase do experimento (após colheita do feijoeiro), na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem.

APÊNDICE 4 – ARTIGO 2

FIGURA 1 - Penetrógrafo utilizado para determinação da resistência do solo à penetração

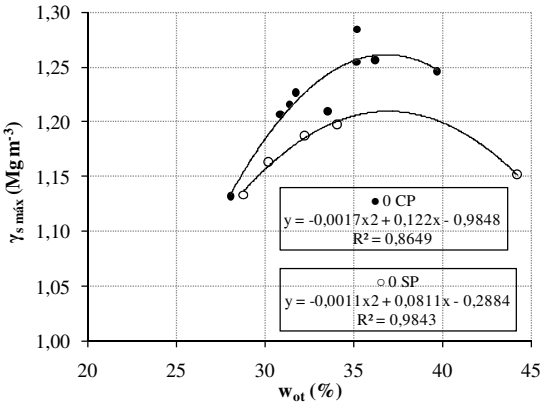


FIGURA 2 - Curva de compactação no ensaio de Proctor, na Fase 1, sem pastejo (SP) e Fase 2, com pastejo (CP), com 0 kg de N ha^{-1}

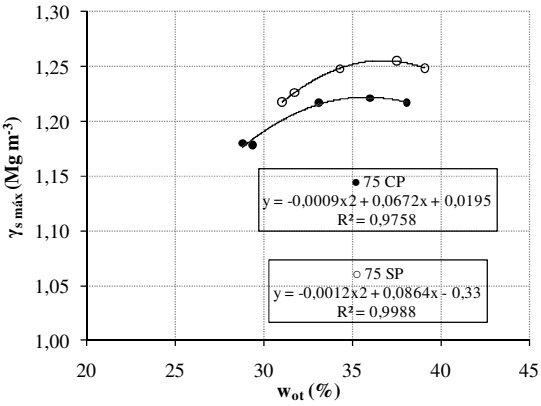


FIGURA 3 - Curva de compactação no ensaio de Proctor, na Fase 1, sem pastejo (SP) e Fase 2, com pastejo (CP), com 75 kg de N ha^{-1}

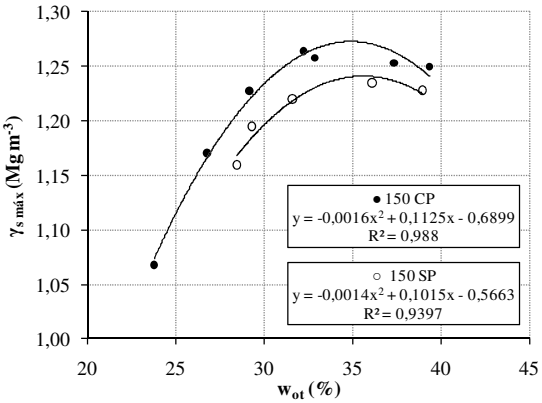


FIGURA 4 - Curva de compactação no ensaio de Proctor, na Fase 1, sem pastejo (SP) e Fase 2, com pastejo (CP) com 150 kg de N ha^{-1}.

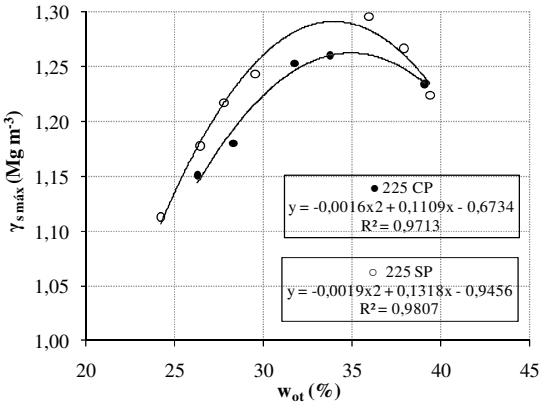


FIGURA 5 - Curva de compactação no ensaio de Proctor, na Fase 1, sem pastejo (SP) e Fase 2, com pastejo (CP), com 225 kg de N ha^{-1}

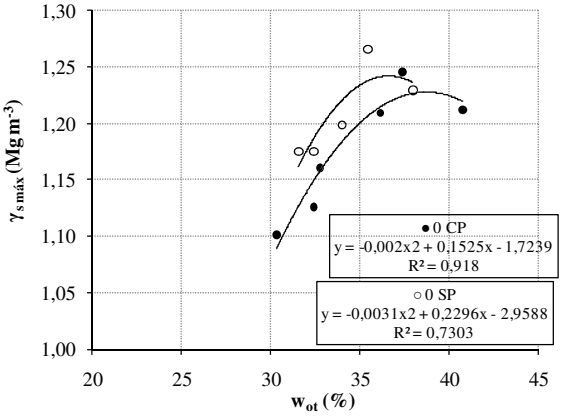


FIGURA 6 - Curva de compactação no ensaio de Proctor, na Fase 3, sem pastejo (SP) e com pastejo (CP), com 0 kg de N ha^{-1}

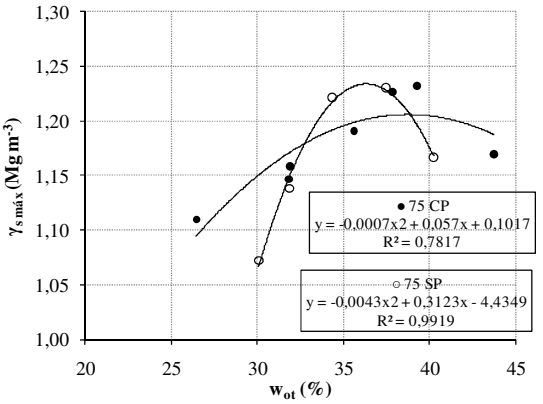


FIGURA 7 - Curva de compactação no ensaio de Proctor, na Fase 3, sem pastejo (SP) e com pastejo (CP), com 75 kg de N ha^{-1}

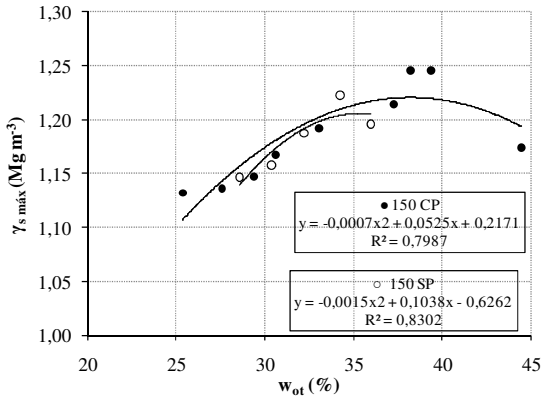


FIGURA 8- Curva de compactação no ensaio de Proctor, na Fase 3, sem pastejo (SP) e com pastejo (CP), com 150 kg de N ha^{-1}

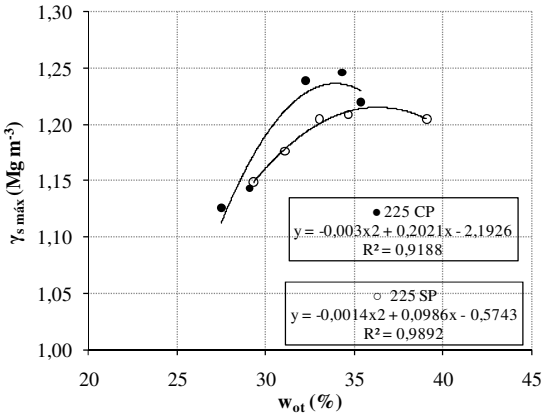


FIGURA 9 - Curva de compactação no ensaio de Proctor, na Fase 3, sem pastejo (SP) e com pastejo (CP), com 225 kg de N ha^{-1}

APÊNDICE 5 – ARTIGO 3

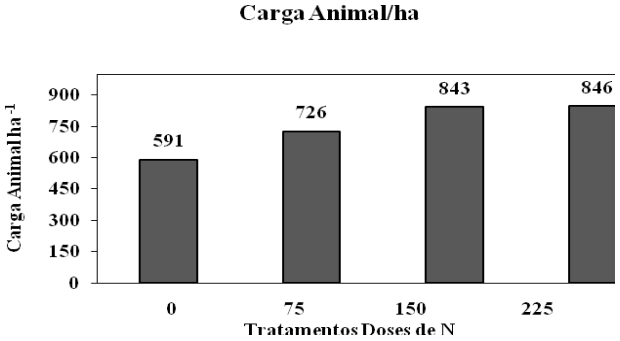


FIGURA 1 – Carga animal ha^{-1} em relação às doses de N, na área experimental de Guarapuava – Pr, no período de 2007/2008, na pastagem de inverno.

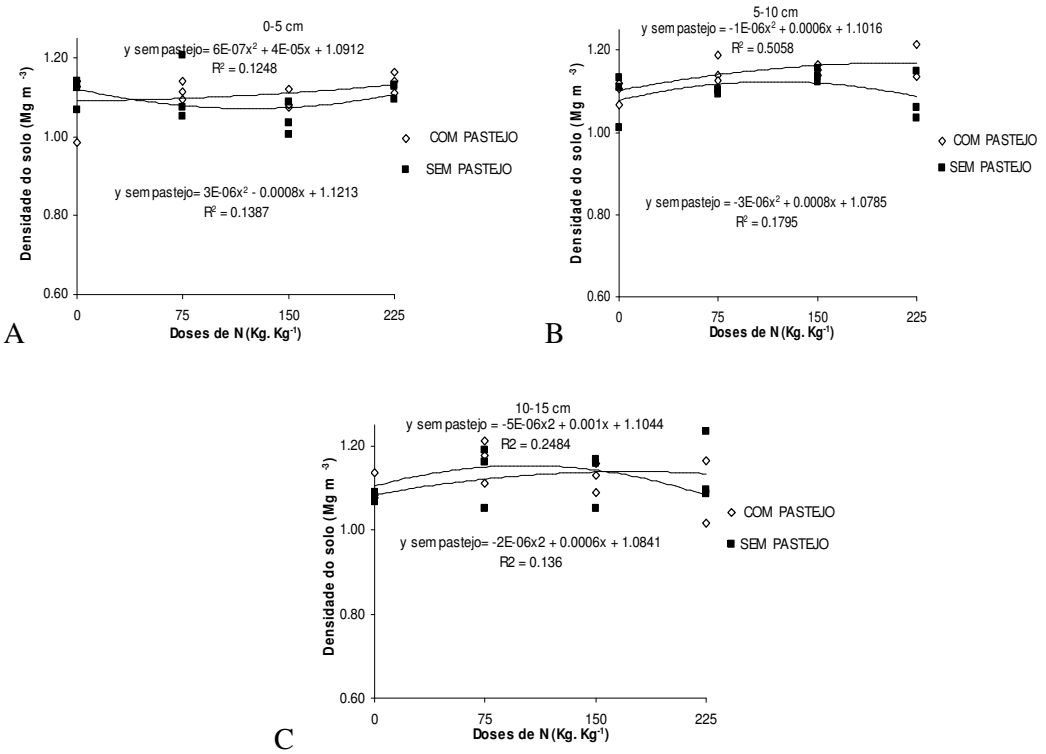


FIGURA 2 – Densidade absoluta do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos colheita do feijão na profundidade de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

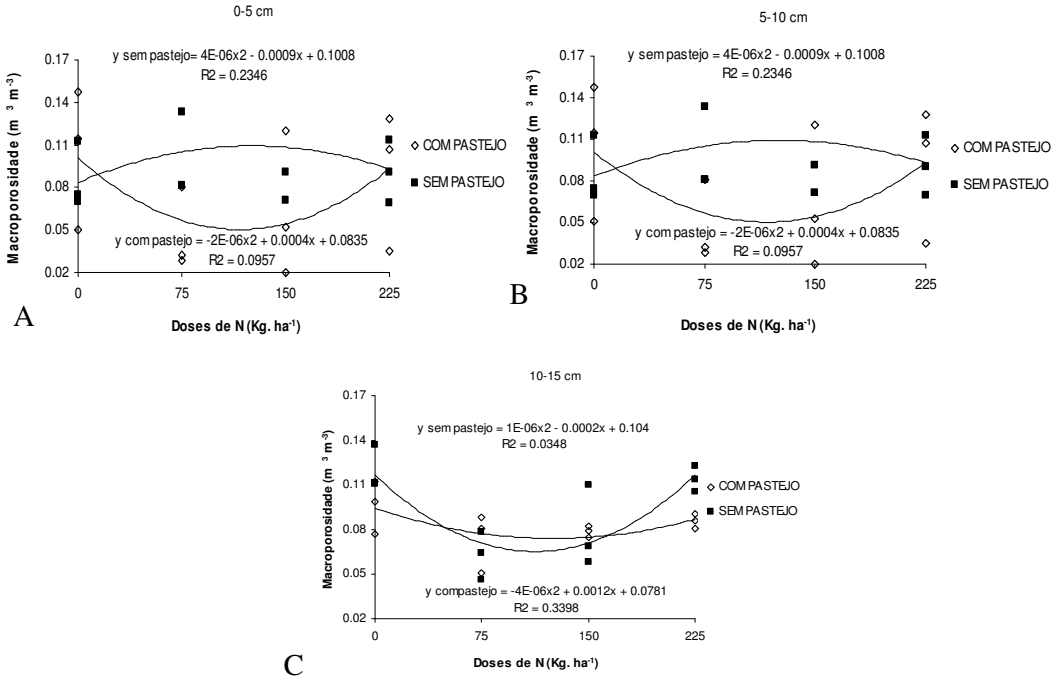


FIGURA 3 – Macroporosidade do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos colheita do feijão profundidade de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

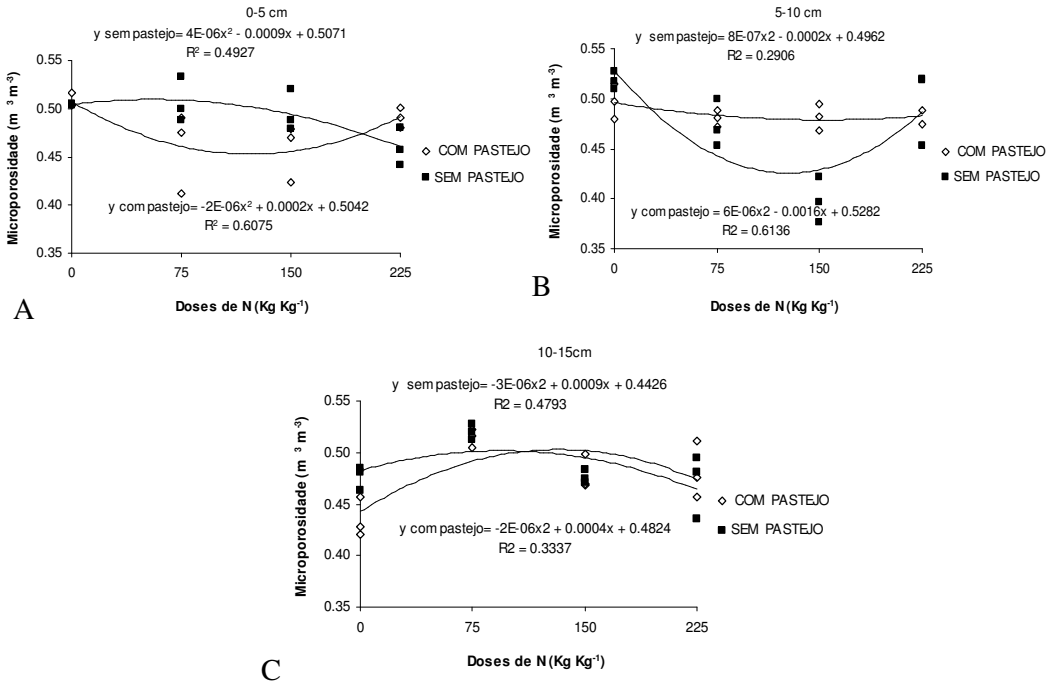


FIGURA 4 – Microporosidade do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos colheita do feijão profundidade de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

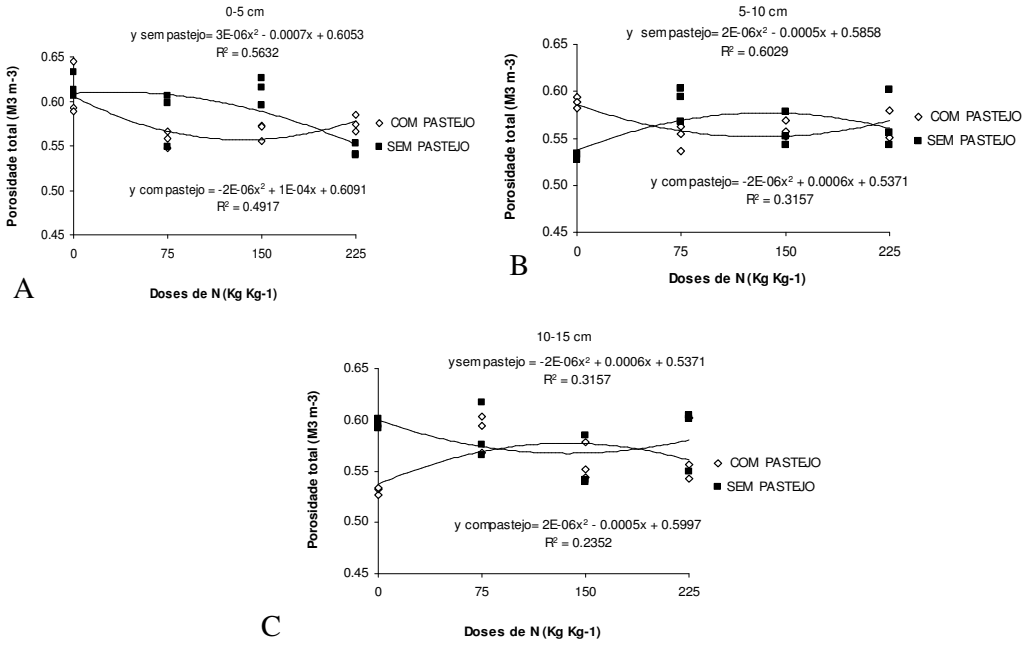


FIGURA 5 – Porosidade total do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos colheita do feijão profundidade de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

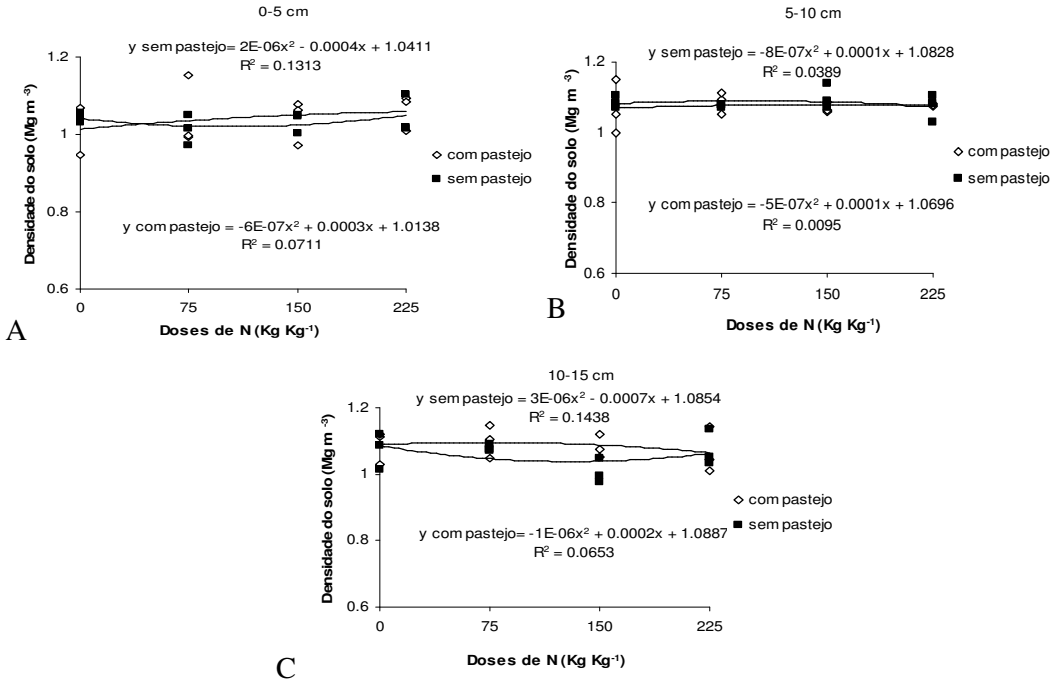


FIGURA 6 – Densidade absoluta do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos pastoreio na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

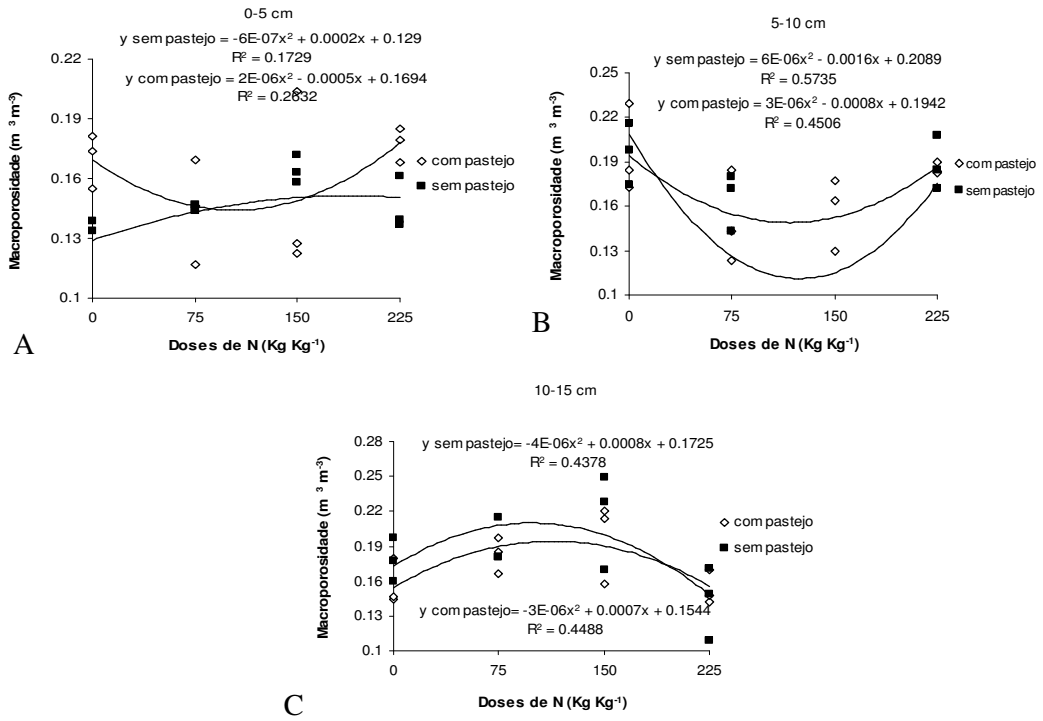


FIGURA 7 – Macroporosidade do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos pastoreio na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

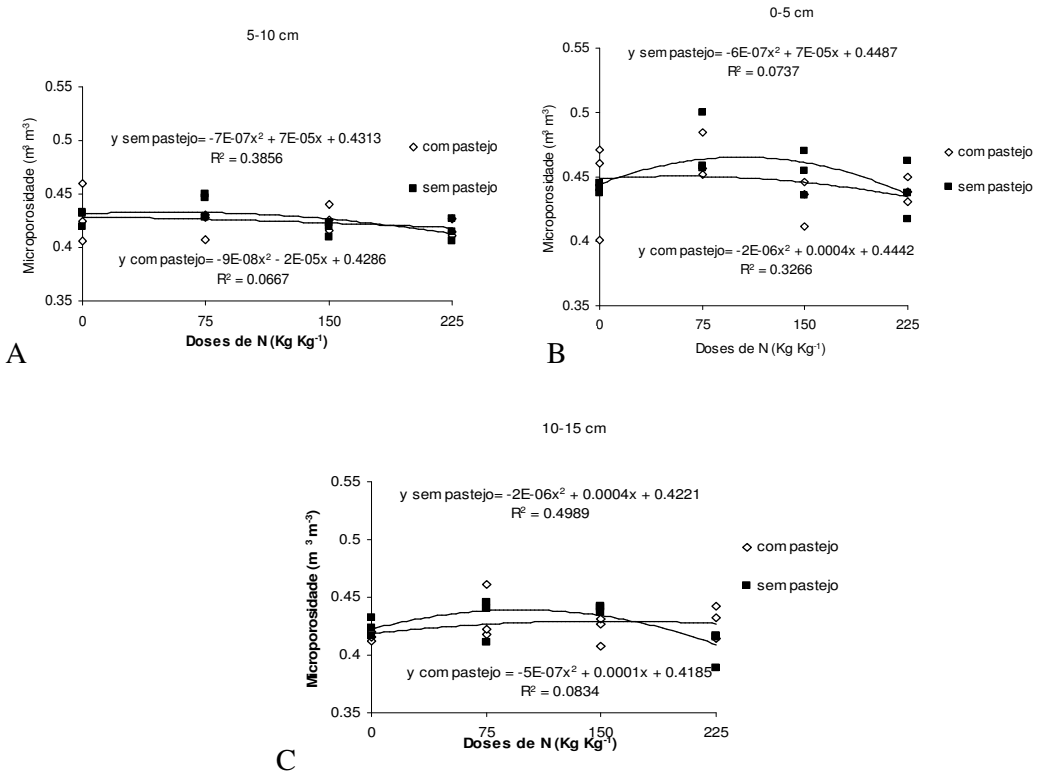


FIGURA 8 – Microporosidade do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos pastoreio na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

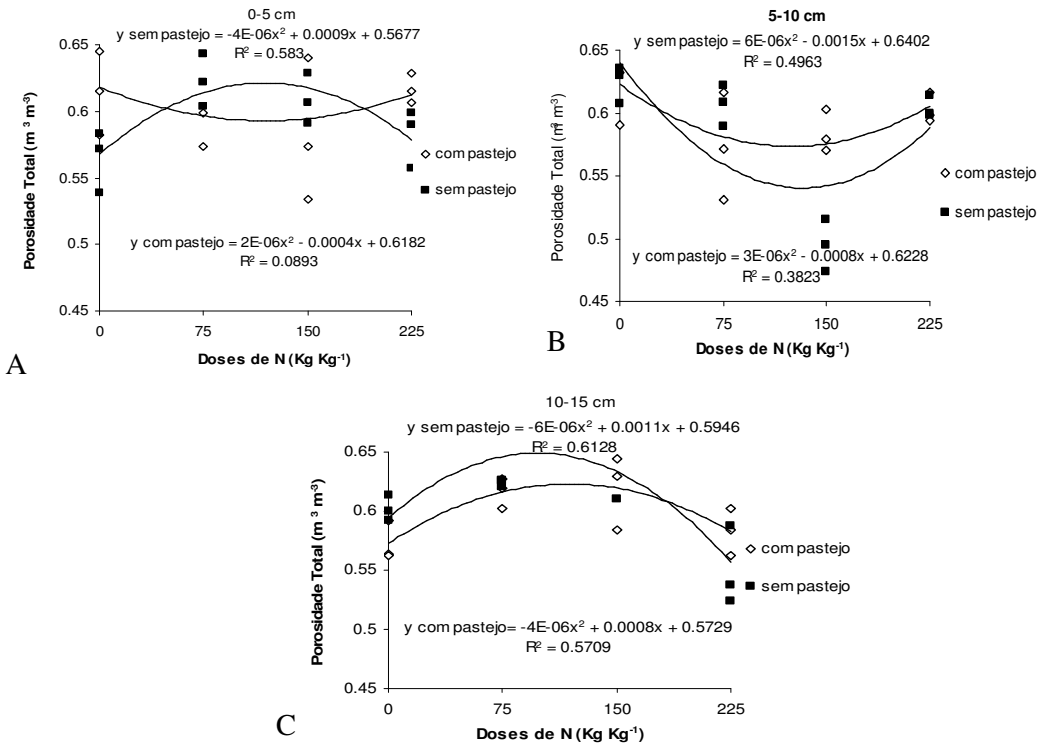


FIGURA 9 – Porosidade total do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, após pastoreio na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

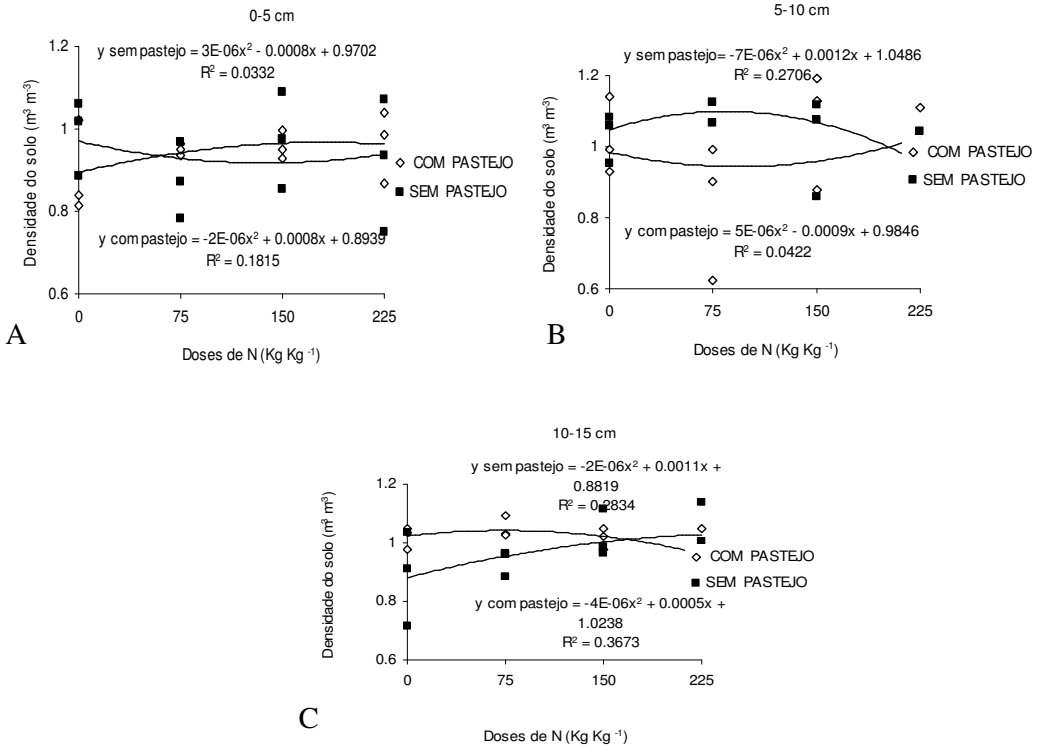


FIGURA 10 – Densidade absoluta do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos colheita do milho na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

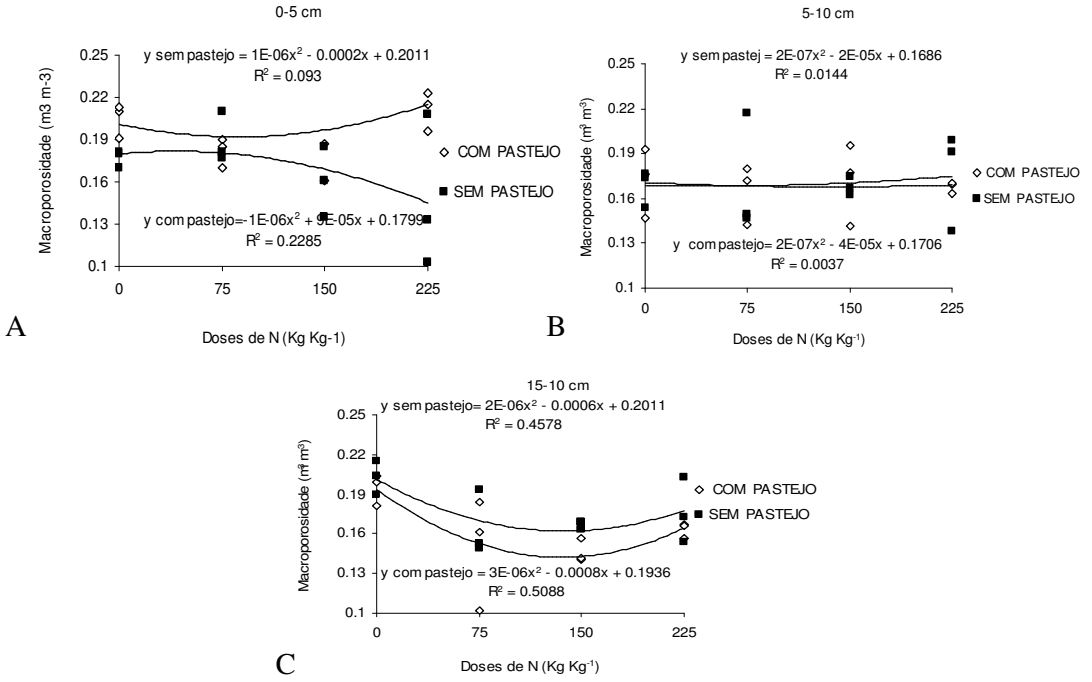


FIGURA 11 – Macroporosidade do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos colheita do milho na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

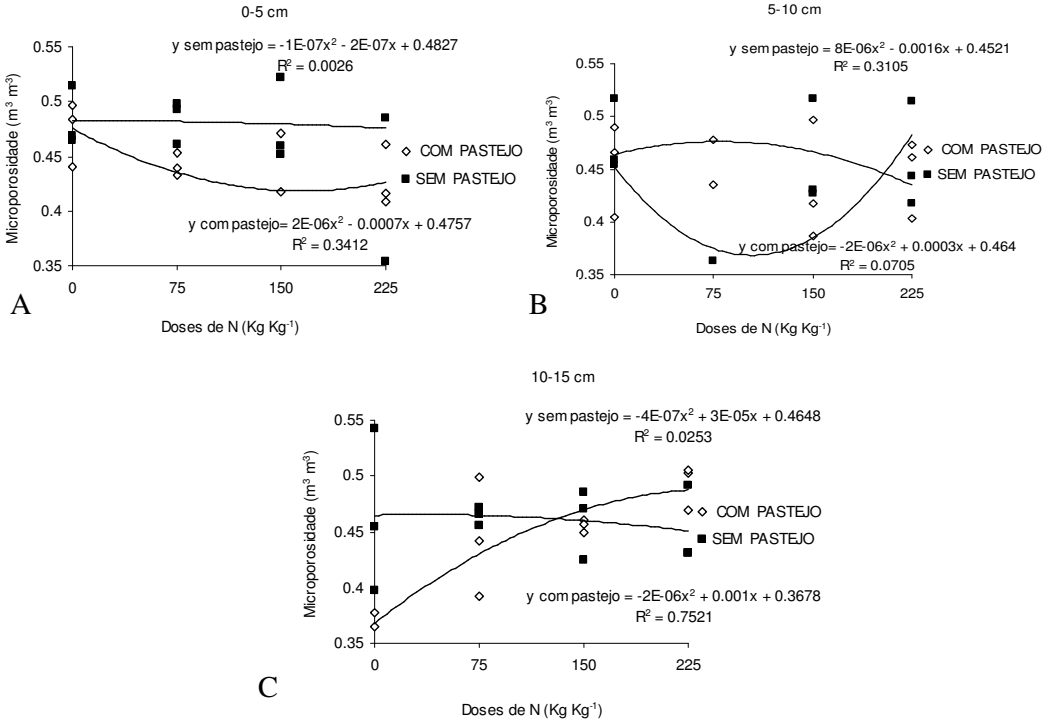


FIGURA 12 – Microporosidade do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos colheita do milho na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

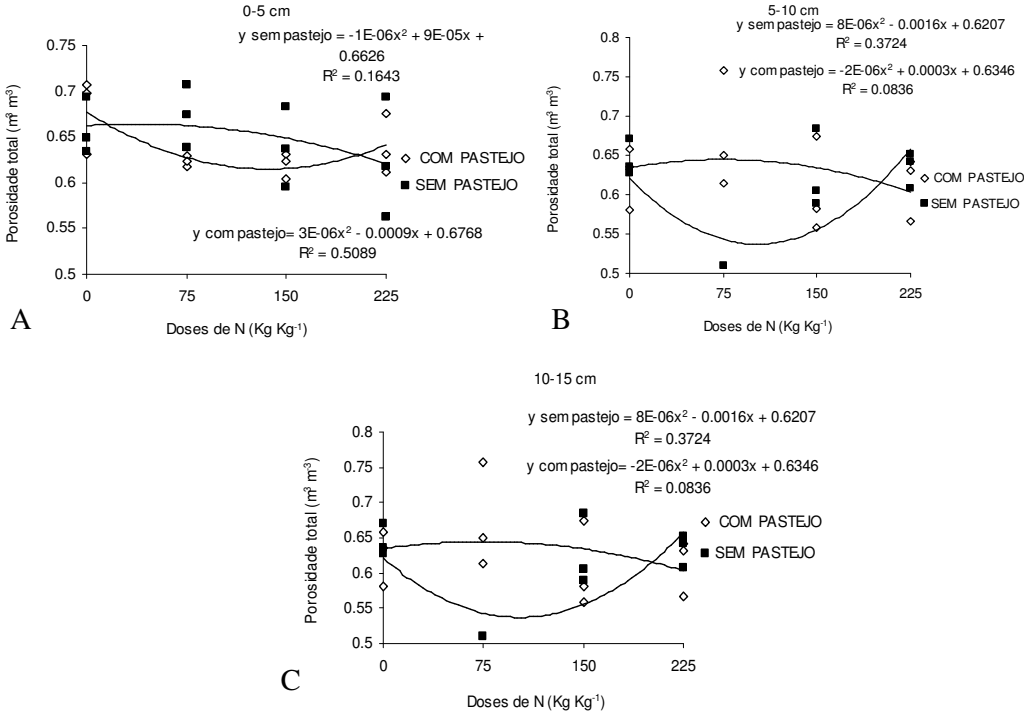


FIGURA 13 – Porosidade total do solo na presença e ausência de pastejo, nas doses de nitrogênio na pastagem, apos colheita do milho na camada de 0-5, 5-10 e 10-15 cm

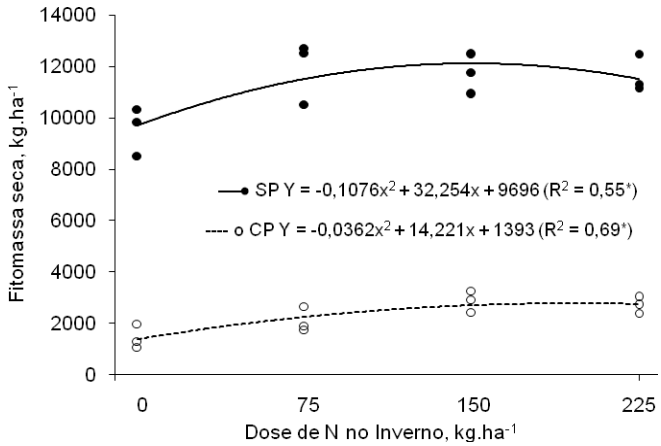


FIGURA 14 - Produção de fitomassa seca de aveia branca e azevém de acordo com as doses de N aplicadas no inverno. Guarapuava, PR, 2009.

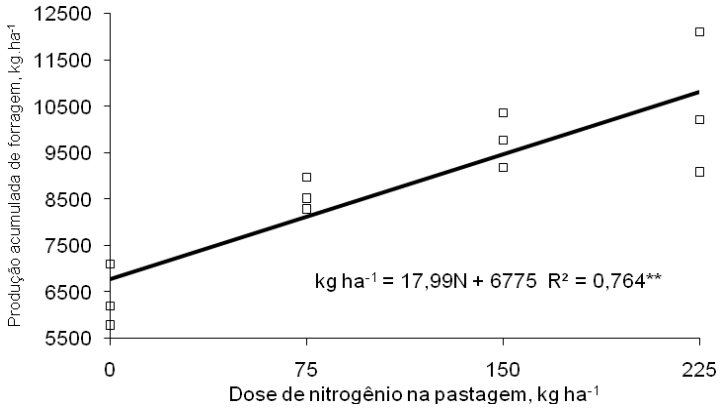


FIGURA 15 - Produção média acumulada de forragem (kg ha^{-1}) de aveia branca (*Avena sativa* L.*)* e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) em função das doses de nitrogênio (kg ha^{-1}). Guarapuava, PR, 2009.

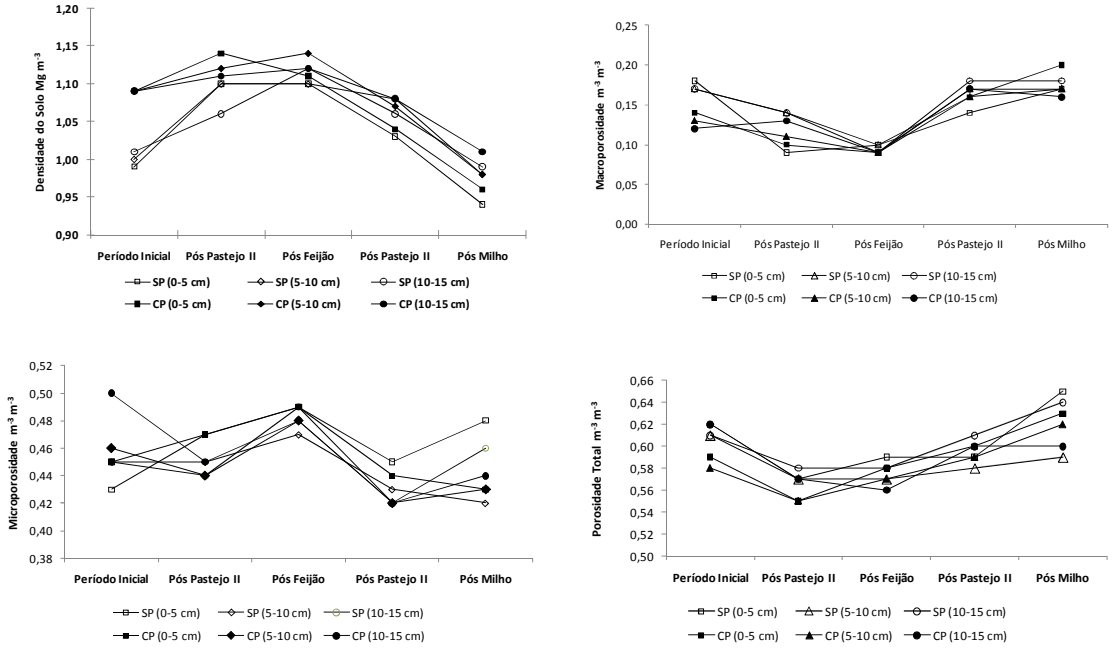


FIGURA 16 - Análise Conjunta do Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (2006/2007/2008).