

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS**

BARBARA ELIS SANTOS RUTHES

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-
PECUÁRIA EM ONZE ANOS DE PROTOCOLO EXPERIMENTAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DOIS VIZINHOS

2019

BARBARA ELIS SANTOS RUTHES

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-
PECUÁRIA EM ONZE ANOS DE PROTOCOLO EXPERIMENTAL**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas do Programa de PósGraduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor

DOIS VIZINHOS

2019

R974a Ruthes, Barbara Elis Santos.

Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em onze anos de protocolo experimental. / Barbara Elis Santos Ruthes – Dois Vizinhos, 2019.

135 f.:il.

Orientador: Prof^o Dr. Laércio Ricardo Sartor.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em
Agroecossistemas, Dois Vizinhos, 2019.
Bibliografia p.116-138.

1. Solos - Qualidade. 2. Produtividade agrícola. 3. Solos - Produtividade.
I.Sartor, Laércio Ricardo, orient. II.Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois
Vizinhos. III. Título

CDD: 631.42

Ficha catalográfica elaborada por Keli Rodrigues do Amaral Benin CRB: 9/1559
Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº XXX

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA EM ONZE ANOS DE PROTOCOLO EXPERIMENTAL

por

BARBARA ELIS SANTOS RUTHES

Dissertação apresentada às 13 horas 30 min. do dia 20 de fevereiro de 2019 como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGROECOSSISTEMAS, Linha de Pesquisa – Sistemas Integrados de Produção e Solos, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de Concentração: Agroecossistemas) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Tangriani Simioni
Assmann**

UTFPR

**Prof. Dr. Veruschka R. M.
Andreolla**

Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor

UTFPR

Orientador

Prof. Dr. Michele Potrich

Coordenador do PPGSIS

“O Termo de Aprovação, devidamente assinado, encontra-se arquivado na Coordenação do Programa”

Aos meus pais, Sidnei e Marciani.

Dedico, este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e saúde.

Ao professor Dr. Laércio Ricardo Sartor pela orientação, paciência e aprendizado.

Ao programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), onde o trabalho foi desenvolvido, especialmente ao professor Dr. Itacir Eloi Sandini.

As minhas amigas Daiane e Mycheli, que durante este período dividiram comigo momento únicos, os quais levarei para sempre em minha memória.

Aos professores Edgar Vismara, Fabiani Miranda, Lucas Domingues, Solon Jonas Lonhi e Veruschka R. M. Andreolla pela ajuda e paciência.

À CAPES e a UTFPR pela bolsa concedida.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Consagre ao Senhor tudo que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos.

Provérbios, 16:3.

Não há vergonha em não saber. A vergonha está em não descobrir.

Provérbio assírio.

RESUMO

RUTHES, Barbara Elis Santos. Atributos Físicos Do Solo Em Sistema De Integração Lavoura Pecuária em Onze Anos De Protocolo Experimental. 147f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2019.

Nos últimos anos houve aumento no número de áreas agrícolas que adotaram o sistema de Integração Lavoura-Pecuária devido aos seus inúmeros benefícios. Contudo, ainda há necessidade de pesquisa quanto ao efeito deste sistema na qualidade física do solo, principalmente aqueles que comprometem a produtividade, como a compactação do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos do solo após onze anos de protocolo experimental. O delineamento foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas com 3 repetições. As parcelas de inverno foram constituídas pelas doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹ em pastagem de azevém, aveia ou centeio. E no verão, pelas culturas do feijão ou milho. As subparcelas foram com e sem pastejo. O pastejo com ovinos, foi em sistema de lotação contínua e carga variável. Nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010, 2017 e 2018, após a colheita das culturas de grãos e o pastejo dos animais, foram retiradas amostras indeformadas das camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, para a avaliação dos atributos físicos do solo. Foram realizadas duas repetições para as áreas com pastejo (CP) e uma repetição para sem pastejo (SP). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, a porosidade total (PT), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) foram determinadas pelos métodos da mesa de tensão. A determinação da resistência do solo à penetração foi realizada juntamente com a avaliação dos atributos físicos do solo, com o auxílio do penetrômetro, até a profundidade de 60 cm. Como análise complementar foi realizada a técnica multivariada, por meio da análise de componentes principais (ACP). Não foram observados valores limitantes para o desenvolvimento das culturas. Não há diferença significativa nos atributos físicos do solo avaliados após o pastejo, entre as áreas CP e SP, independente da dose de N utilizada. As culturas de verão atuaram positivamente sobre a resistência mecânica à penetração e nos atributos físicos do solo, favorecendo a menor RP em superfície. O sistema Integração Lavoura-Pecuária após onze anos de experimento propiciou aumento da macroporosidade do solo em todas as camadas avaliadas.

Palavras chave: sistemas integrados de produção agropecuária, compactação, nitrogênio, qualidade física do solo.

ABSTRACT

RUTHES, Barbara Elis Santos. Physical Attributes Soil In Integrated Crop - Livestock Systems in Eleven Years of Experimental Protocol. 147f. Dissertation (Master in Agroecosystem) – Graduate Program in Agroecosystem. Federal University of Technology Paraná. Dois Vizinhos, 2019.

In recent years there has been an increase in the number of agricultural areas that have adopted the integrated crop-livestock system due to its numerous benefits. However, there is still a need for research on the effect of this system on soil physical quality, especially those that compromise productivity, such as soil compaction. The objective of this work was to evaluate soil physical attributes after 11 years of experimental protocol. The design was of randomized blocks with subdivided plots with 3 replicates. The winter plots were composed of nitrogen, 0, 75, 150 and 225 kg ha⁻¹, in ryegrass, oats and rye pastures. In the summer, by bean and corn cultivation. The subplots were with and without grazing. The grazing with sheep was in a continuous stocking system with variable load. In the years 2006, 2007, 2009, 2010, 2017 and 2018, after the grain crops were collected and the grazing of the animals, undisturbed samples were taken from the 0-5, 5-10 and 10-15 cm layers for the assessment of soil physical attributes. The analysis used two replicates for grazing areas (CP) e one replicate for areas without grazing (SP). Soil density was determined by the volumetric ring method; total porosity (Pt), macroporosity (Ma) and microporosity (Mi) were determined by the voltage table methods. The determination of soil penetration resistance was carried out together with the evaluation of the soil physical attributes, with the aid of the penetrometer, to the depth of 60 cm. As a complementary analysis, the multivariate technique was performed through principal component analysis (PCA). No limiting values were observed for the development of the cultures. There was no significant difference in the physical attributes of the soil evaluated after grazing, between CP and SP, regardless of the dose of N used. Summer crops had a positive effect on the mechanical resistance to penetration and soil physical attributes, favoring the lowest Surface RP. The crop-livestock integration system, after eleven years of experiment, increased soil macroporosity in all strata evaluated.

Key words: integrated crop-livestock systems, compaction, nitrogen, soil physical quality

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1:

- Figura 1:** Densidade do solo (Ds) após a cultura do feijão (2011) nas camadas de 0-5 cm (Figura 1A) e 5-10 cm (Figura 1B), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP). 37
- Figura 2:** Microporosidade do solo (Mi), após a cultura do feijão (2011) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio, na camada de 10-15 cm. 39
- Figura 3:** Cluster hierárquico em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N, 150N e 225N kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo(SP), após pastejo (P) em pastagem de aveia consorciada com azevém (2010) e cultura do feijão (F) (2011). Guarapuava, PR. 40
- Figura 4:** Análise dos Componentes Principais (ACP) para os atributos físicos do solo em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N 150N e 225N kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo(SP), após pastejo (P) (2010) e cultura do feijão (F) (2011), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Ds = densidade do solo, Ma= macroporosidade, Mi= microporosidade, Pt= porosidade total. Guarapuava, PR. 42
- Figura 5:** Densidade do solo (Ds) após a cultura do feijão (2017) na camada de 5-10 cm, com pastejo (CP) e sem pastejo (SP). 44
- Figura 6:** Porosidade total do solo (Pt), após a cultura do feijão (2017), no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio, na camada de 5-10 cm, com pastejo (CP) e sem pastejo (SP). 45
- Figura 7:** Macroporosidade do solo (Ma), após a cultura do feijão (2017) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio, na camada de 5-10 cm. 45
- Figura 8:** Microporosidade do solo (Mi), após a cultura do feijão (2017) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio, na camada de 5-10 cm. 46
- Figura 9:** Densidade do solo (Ds), após a cultura do milho (2018) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio e pastejo, na camada de 0-5 cm. 47
- Figura 10:** Microporosidade do solo (Mi), após a cultura do milho (2018) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio e pastejo, na camada de 0-5 cm. 48
- Figura 11:** Densidade do solo (Ds) (A) e Porosidade Total (Pt) (B), após a cultura do milho (2018) no sistema integração lavoura-pecuária em função do pastejo, na camada de 5-10 cm. 49
- Figura 12:** Densidade do solo (A), Porosidade total (B), Microporosidade do solo (C) e Macroporosidade do solo (D) após a cultura do milho (2018) no sistema integração lavoura-pecuária em função do pastejo, na camada de 10-15 cm. 49
- Figura 13:** Cluster hierárquico em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N, 150N e 225N kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo(SP), após pastejo (P) em pastagem de aveia consorciada com azevém (2017) e cultura cultura do feijão (F) (2017) e após a cultura do milho (M) (2018), Guarapuava, PR. 51
- Figura 14:** Análise dos Componentes Principais (ACP) para os atributos físicos do solo em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), após

cultura do feijão (F) e após cultura do milho (M), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Ds = densidade do solo, Ma= macroporosidade, Mi= microporosidade, Pt= porosidade total. Guarapuava, PR. 53

CAPITULO 2:

- Figura 15:** Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após cultivo do milho em 28/05/2010. Guarapuava, PR. 62
- Figura 16:** Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após pastejo com ovinos em 29/11/2010. Guarapuava, PR. 63
- Figura 17:** Resistência à penetração do solo, na camada de 15-20 cm após o pastejo no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio no ano de 2010. 64
- Figura 18:** Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após feijão em 21/04/2011. Guarapuava, PR. 65
- Figura 19:** Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após feijão em 29/04/2017. Guarapuava, PR. 66
- Figura 20:** Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após pastejo em 02/11/2017. Guarapuava, PR. 67
- Figura 21:** Interação presença do pastejo e doses de N após pastejo do centeio na camada de 0-5 cm no sistema integração lavoura-pecuária. Guarapuava-PR. 68
- Figura 22:** Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após milho em 09/06/2018. Guarapuava, PR. 69
- Figura 23:** Resistência à penetração do solo na camada de 15-20 cm após a cultura do milho, no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio no ano de 2018. 70
- Figura 24:** Resistencia à penetração do solo (MPa) após a) cultura do milho no ano de 2010; b) pastagem de aveia e azevém no ano de 2010; c) cultura do feijão no ano de 2011; d) cultura do feijão no ano de 2017; e) pastagem de centeio no ano de 2017 e f) cultura do milho no ano de 2018 na camada de 0-5 cm. Guarapuava, PR. 71
- Figura 25:** Resistencia à penetração do solo (MPa) após a) cultura do milho no ano de 2010; b) pastagem de aveia e azevém no ano de 2010; c) cultura do feijão no ano 2011; d) cultura do feijão no ano de 2017; e) pastagem de centeio no ano de 2017 e f) cultura do milho no ano de 2018 na camada de 5-10 cm. Guarapuava, PR. 73
- Figura 26:** Cluster hierárquico em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N, 150N e 225N kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e

sem pastejo(SP), após cultura do milho (2010), após pastejo (P) em pastagem de aveia consorciada com azevém (2010), cultura do feijão (F) (2011), após cultura do feijão (2017), após pastejo em pastagem de centeio (2017) e após a cultura do milho (M) (2018). Guarapuava, PR 75

Figura 27: Análise dos Componentes Principais (ACP) para resistência a penetração do solo em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), após cultura do feijão (F) e após cultura do milho (M), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm nos anos de 2010, 2011, 2017 e 2018. Guarapuava, PR 77

CAPITULO 3:

Figura 28: Densidade do solo (Ds) na camada de 0-5 cm em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). 86

Figura 29: Densidade do solo (Ds) na camada de 5-10 cm em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). 88

Figura 30: Densidade do solo (Ds) na camada de 10-15 cm em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). 89

Figura 31: Macroporosidade (Ma) na camada de 0-5 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). 90

Figura 32: Macroporosidade (Ma) na camada de 5-10 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). 91

Figura 33: Macroporosidade (Ma) na camada de 10-15 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). 92

Figura 34: Microporosidade (Mi) na camada de 0-5 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). 93

Figura 35: Microporosidade (Mi) na camada de 5-10 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). 94

Figura 36: Microporosidade (Mi) na camada de 10-15 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). 95

Figura 37: Porosidade total (Pt) na camada de 0-5 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-

| | |
|--|-----|
| pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). | 96 |
| Figura 38: Porosidade total (Pt)na camada de 5-10 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). | 97 |
| Figura 39: Porosidade total (Pt)na camada de 10-15 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP). | 98 |
| Figura 40: Cluster hierárquico em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N, 150N e 225N kg ha ⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo(SP), após pastejo (P) em pastagem de aveia consorciada com azevém (2010 e 2017) e após a cultura do feijão (F) (2011 e 2017). Guarapuava, PR. | 99 |
| Figura 41: Análise dos Componentes Principais (ACP) para os atributos físicos do solo em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha ⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P) e após cultura do feijão (F), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Ds = densidade do solo, Ma= macroporosidade, Mi= microporosidade, Pt= porosidade total. Guarapuava, PR. | 101 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|------|
| Tabela 1. Resumo da análise da variância com valores do quadrado médio de Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade total para os anos de 2010 após o pastejo e 2011 após a cultura do feijão. | 127 |
| Tabela 2. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas para os atributos físicos do solo observados em 2010 e 2011, em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha ⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P) e cultura do feijão (F). | 128 |
| Tabela 3. Resumo da análise da variância com valores do quadrado médio de Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade total para o ano de 2017 após o pastejo e cultura do feijão. | 129 |
| Tabela 4. Resumo da análise da variância com valores do quadrado médio de Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade total para o ano de 2018 após a cultura do milho. | 130 |
| Tabela 5. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas para os atributos físicos do solo observados em 2017 e 2018, em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha ⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), cultura do feijão (F) e cultura do milho (M). | 131 |
| Tabela 6. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas para a resistência do solo à penetração, observados em 2010, 2011, 2017 e 2018, em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha ⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), cultura do feijão (F) e cultura do milho (M). | 1322 |
| Tabela 7. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas para os atributos físicos do solo observados em onze anos de protocolo experimental, em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha ⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), cultura do feijão (F) e cultura do milho (M). | 134 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-----|---|
| ILP | Integração Lavoura-Pecuária |
| CP | Com Pastejo |
| SP | Sem Pastejo |
| N | Nitrogênio |
| Ds | Densidade do solo |
| Ma | Macroporosidade do solo |
| Mi | Microporosidade do solo |
| Pt | Porosidade do solo |
| Cfb | Clima temperado úmido com verão temperado |
| MOS | Matéria orgânica do solo |
| RP | Resistência a penetração |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------|-------------------|
| ha | Hectare |
| cm | Centímetro |
| mm | Milimetro |
| cm ³ | Centímetro cúbico |
| g | Gramma |
| Kg | Quilograma |
| °C | Graus celsius |
| % | Porcentagem |
| hPa | Hectopascal |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 18 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 20 |
| 2.1 SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA | 20 |
| 2.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO | 23 |
| 2.2.1 Densidade do solo | 23 |
| 2.2.2. Porosidade do solo | 25 |
| 2.2.3. Resistência a penetração..... | 27 |
| 2.3 NITROGÊNIO | 28 |
| CAPITULO 1: Pastejo e Adubação Nitrogenada nos atributos físicos do solo em um Sistema de Integração Lavoura –Pecuária | 31 |
| 1 INTRODUÇÃO | 32 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 33 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 36 |
| 3. CONCLUSÕES | 55 |
| CAPÍTULO 2: Resistência à penetração do solo em um Sistema de Integração Lavoura –Pecuária com diferentes Doses de Nitrogênio | 56 |
| 1 INTRODUÇÃO | 57 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 58 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 61 |
| 4 CONCLUSÕES | 78 |
| CAPITULO 3: Pastejo e Adubação Nitrogenada nos atributos físicos do solo em um Sistema de Integração Lavoura –Pecuária após onze anos de experimento | 79 |
| 1 INTRODUÇÃO | 80 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 81 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 85 |
| 4 CONCLUSÕES | 102 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 103 |
| REFERENCIAS..... | 104 |
| ANEXOS | 126 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

A integração lavoura-pecuária (ILP), é um sistema de produção que proporciona a integração de diferentes atividades na mesma área agrícola, onde ocorre a produção de grãos no período estival e do pastejo na entressafra (FLORES et al. 2007). Este tipo de sistema busca maximizar a produção da propriedade rural, diminuindo a utilização de insumos e melhorando a eficiência do uso da terra, estruturas e mão de obra, minimizando assim a sazonalidade de renda na propriedade (CARVALHO et al. 2010; MORAES et al. 2007).

Nos últimos anos houve aumento no número de áreas agrícolas que adotaram este sistema, devido aos seus inúmeros benefícios (MACEDO, 2009), contudo ainda há diversas dúvidas sobre o efeito deste sistema na qualidade física do solo (FLORES et al 2007), principalmente aqueles que comprometem a produtividade, como a compactação do solo.

A compactação do solo do solo é resultado da ação mecânica por meio da qual se impõe ao solo uma redução do seu índice de vazios (TRINDADE et al. 2008). Este processo é resultado de forças mecânicas externas, podendo ser relacionado ao tráfego intenso de máquinas e pisoteio animal. Em um solo em estado de compactação há redução na absorção dos nutrientes pelas plantas, dificuldade na infiltração de água e aumento da resistência mecânica do solo à penetração, condição que limita o crescimento radicular das plantas e, como resultado, reduz a produtividade das culturas.

Em sistema ILP a degradação física do solo pode acontecer devido ao pisoteio animal, quando em carga excessiva, sobre o solo molhado, causando o adensamento e selamento superficial (MELLO, 2002). Contudo, as alterações na física do solo devido ao pisoteio animal são de baixa magnitude, podendo ser revertidas por processos naturais (CONTE et al. 2011), através do crescimento de radical das plantas e atividade da fauna do solo (MORAES et al. 2002). Também, estas alterações ocorrem nas camadas superficiais do solo, favorecendo as atividades de reestabelecimento da condição prévia do solo, seja por agentes naturais ou por meio de operações como semeadura (SPERA et al. 2009).

Diversos manejos e critérios foram estabelecidos para minimizar o impacto do pisoteio de animais ruminantes em sistema ILP, dentre eles o controle da carga animal aliada à utilização de fertilizantes nitrogenados e uso do sistema de plantio direto são as mais utilizadas. Com a inserção da adubação nitrogenada ocorre o incremento na produção de biomassa vegetal, que proporciona manutenção e/ou aumento no teor da matéria orgânica do solo, maior desenvolvimento radicular fasciculado e agressivo das forrageiras, que auxiliam na estruturação do solo (PETEAN et al. 2010; ROZANE et al. 2010) e reduzem o risco de compactação do solo, devido a maior estabilidade dos agregados (SILVEIRA et al. 2012). Alguns estudos (ASSMANN et al. 2004; MENEGATTI et al. 2002) avaliando a adubação nitrogenada em ILP verificaram que o aumento das doses de nitrogênio na pastagem de inverno, houve maior acúmulo e produção de matéria seca, e, conseqüentemente aumento da carga animal. Segundo Alvarenga et al. (2007) este aporte de resíduos vegetais auxilia na melhoria da qualidade física do solo devido a proteção mecânica que estes resíduos proporcionam.

Contudo as modificações causadas ao solo em sistema ILP, tem revelado resultados muito variados. Moreira et al. (2014) encontrou redução da qualidade física do solo, após sete anos de ILP no sistema mais intensivo de pastejo, na profundidade de 0 – 7,5 cm. Flores et al. (2007) não encontrou alterações na densidade e porosidade do solo após o pastejo em diferentes alturas de pastagem de aveia preta e azevém. Esta diversidade de resultados se deve às diferentes condições de cada local, e ao manejo de ILP adotado, tais como a espécie animal, tipo de pastagem, espécies vegetais de lavoura, carga animal, adubação, período de pastejo, tipo de solo, teor de argila, clima e precipitação.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade física do solo após onze anos de experimento sob sistema de integração lavoura-pecuária, e os possíveis efeitos causados nos atributos físicos do solo (densidade, microporosidade, macroporosidade, porosidade total e resistência a penetração) pelo pisoteio animal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

A sustentabilidade de produção é um tema que tem ganhado espaço, quando se discute o desenvolvimento agropecuário no Brasil, que experimentou um salto no desenvolvimento tecnológico na agropecuária. Contudo, alguns aspectos atraem a atenção quando o tema é a sustentabilidade na produção agrícola, pois ainda são adotadas práticas de preparo contínuo do solo aliadas a monocultura, e em áreas estritamente pecuárias, ocorre a degradação de pastagens (MACEDO, 2009).

O manejo inadequado, o uso intensivo de máquinas agrícolas, aliado ao uso do preparo convencional, foram decisivos no processo de degradação do solo. Os solos destas áreas agrícolas, demonstraram graves problemas de compactação e erosão (GONÇALVES & FRANCHINI, 2007). Contudo, a reversão destes casos de manejo inadequado e queda na sustentabilidade, têm sido observadas a partir do uso de sistemas de produção que permitem o uso dos recursos naturais de maneira intensiva, mas com sustentabilidade (BALBINOT JUNIOR et al. 2009). Neste contexto, o sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) têm se mostrado como principal manejo para alcançar este objetivo, uma vez que este tipo de sistema de produção agropecuária tem como fundamentos básicos o uso do sistema de plantio direto (SPD), correção da acidez e fertilidade do solo, rotação de culturas, uso de genótipos de vegetais e animais melhorados e manejo da pastagem. Assim, a ILP pode ser definida como um sistema produtivo, que diversifica, rotaciona e consorcia na mesma área diversas atividades de agricultura e pecuária, visando maximizar a utilização de ciclos biológicos das plantas, animais e seus resíduos, minimizando a utilização de agroquímicos, e como consequência, diminuindo o impacto ao meio ambiente (ALVARENGA & NOCE, 2005).

Com a crescente necessidade de aumentar a produção agrícola dentro dos princípios da sustentabilidade, os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), foram reconhecidos pela FAO em 2010 como a melhor opção para intensificar a produção de forma sustentável. Este tipo de sistema

promove a ciclagem de nutrientes, faz uso mais eficiente dos recursos naturais e reduz o impacto das atividades nos ecossistemas (CARVALHO et al. 2014). Ainda reduzem a emissão de gases para atmosfera, constrói um sistema mais estruturado, resultando em um habitat mais diversificado e reduz o risco econômico das atividades, devido a diversificação do sistema (LEMAIRE et al. 2014).

No Brasil os sistemas de ILP são diferentes, sendo baseados principalmente nos objetivos e características de cara área (CARVALHO et al. 2006). Zimmer et al. 2004 destaca que na região central do país a ILP é usada como uma estratégia na recuperação dos solos e das pastagens degradadas do Cerrado brasileiro, com utilização principalmente de braquiária (*Brachiaria bizantina*), capim-mombaça (*Panicum maximum*) e sorgo (*Sorghum bicolor*). Já nos subtropicais brasileiros o ILP tem como objetivo a rotação de culturas anuais de verão com forrageiras de inverno, dentre eles milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*), aveia preta e branca (*Avena sativa/strigosa*) e azévem (*Lolium multiflorum*) (CARVALHO et al. 2006). No sul do Brasil, as gramíneas, como a aveia combinada com o azevém têm sido utilizadas, pois proporcionam diferentes períodos de utilização, devido a velocidade de estabelecimento e o ciclo de vida da planta (CARVALHO et al. 2005).

Ainda, a rotação de culturas em sistema ILP, aumenta a produtividade das áreas, devido, as melhorias na estrutura e fertilidade do solo, controle de plantas daninhas e a quebra de ciclos de pragas e doenças (HUMPHREYS, 1994; MOHAMED SALLEN & FISHER, 1993; MACKENZIE et al. 1999). Segundo Assmann et al. (2002), a interação mais importante da rotação de culturas está relacionada com o acúmulo e remoção de nitrogênio do solo. Estudos como de Bona Filho (2002) avaliando o desempenho da cultura do feijoeiro sistema ILP, concluiu que é viável a aplicação de altas doses de N na pastagem, sendo sua aplicação dispensável na cultura sucessora. Assmann (2001) também avaliando o efeitos de doses de N sobre as pastagens de inverno com e sem trevo, sobre a resposta da cultura do milho, concluiu que a adubação nitrogenada do milho pode ser excluída, quando a cultura que antecessora for bem adubada. Estes resultados demonstram que a rotação de culturas em ILP é uma das principais estratégias na promoção de sistemas de produção menos intensivos de insumos, contudo, mais sustentáveis (ASSMANN, 2002).

Mesmo sendo raros, alguns experimentos de longa duração no Brasil, permitem avaliar as diferentes formas de preparo do solo e intensidade de pastejo sobre as características físicas e químicas do solo. Do ponto de vista das propriedades químicas do solo, o pastejo têm a capacidade de melhorar a fertilidade, devido ao maior acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS). Assmann et al. (2007) afirmou que os animais em pastejo são componentes essenciais no agroecossistema, e que influenciam diretamente o processo de mineralização/imobilização de nitrogênio (N), além de aumentar as taxas de reciclagem de N, decorrente da deposição de urina e placa fecais (MONTEIRO; WERNER, 1997).

Ferreira et al. (2009) e Flores et al. (2008) também visualizaram variação nos teores de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) devido a presença do animal na pastagem. A alteração nos teores destes nutrientes interferiu diretamente na acidez potencial do solo, por meio da liberação dos ácidos orgânicos da decomposição dos resíduos animais (FRANCHINI et al. 2000).

Vilela et al. (2008) concluíram que pastagens bem manejadas em comparação com sistemas convencionais de plantio, e até SPD, têm demonstrado capacidade de aumentar o teor de MOS. Resultados semelhantes foram obtidos por Studdert et al. (1997) que em um experimento de longa duração, observou redução nos teores da MOS com plantio de culturas anuais em preparo convencional do solo, sendo recuperada pela pastagem estabelecida após o ciclo da lavoura de grãos.

Contudo, o pastejo mal conduzido pode acelerar o processo de compactação do solo. O pastejo excessivo pode provocar diminuição do volume de poros do solo, acelerando as perdas de nitrogênio pela desnitrificação e volatilização da amônia (DOUGLAS; CRAWFORD, 1998). Assim práticas que favorecem o crescimento das raízes e da parte aérea das forrageiras, podem reduzir os efeitos negativos do pisoteio animal. Dentre as práticas adotadas, a adubação nitrogenada é a técnica mais utilizada para aumentar a produção da forragem.

Do ponto de vista de qualidade física do solo, o sistema ILP têm proporcionado solos bem estruturados, que favorecem maior taxa de infiltração de água, redução do escoamento superficial, facilitando a penetração das raízes

no solo e eficiência do uso de nutrientes (VILELA et al. 2008). Petean et al. (2010) e Rozane et al. (2010) concluíram que em sistema ILP ocorre maior desenvolvimento do sistema radicular das forrageiras, que auxiliam na estruturação do solo, e possibilitam maior disponibilidade de nutrientes, além do incremento da MOS, gerando maior estabilidade do sistema, mantendo o solo produtivo.

Ainda segundo Anghinoni et al. (2011) a associação de ILP com plantio direto permite ao sistema suportar maior estoque de carbono orgânico e nitrogênio nas camadas superficiais do solo (0-20 cm). Isto ocorre principalmente, devido ao aporte diferenciado dos resíduos vegetais e do pastejo, que influenciam diretamente o solo tanto em superfície quanto em profundidade devido as raízes. Além disso, a diversificação das espécies vegetais proporcionada pelo sistema ILP, promove maior diversidade dos grupos da macrofauna do solo (SILVA et al. 2006). Estes invertebrados do solo desempenham papel-chave nos diferentes níveis tróficos do solo, sendo responsáveis pelo processo de mineralização e umidificação da MOS, disponibilizando os nutrientes para as plantas (DECAËNS et al. 2003).

Neste sentido, os sistemas de ILP, tem se mostrado promissores, atendendo as dificuldades da pecuária, sendo uma alternativa na recuperação de pastagens e auxiliando na melhoria das propriedades do solo.

2.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

2.2.1 Densidade do solo

A densidade (ρ) do solo representa a relação entre a massa de solo seco em estufa e o seu volume, que inclui os espaços ocupados pela água e pelo ar. Este atributo reflete o arranjo das partículas do solo, que consequentemente definem as características do sistema poroso do solo (Ferreira, 2010), além de ser um importante indicativo do manejo do solo, pois quanto maior a densidade do solo, maior é a limitação ao crescimento e desenvolvimento das plantas (FONSECA et al. 2007).

Entretanto, na literatura há divergência no conceito de compactação. Para Hakansson & Voorhees (1998) a compactação do solo ocorre quando a sua

densidade encontra-se em níveis superiores ao seu estado natural, por outro lado, para Mello (2002) um solo compactado apresenta redução no volume total de poros, refletindo-se negativamente no crescimento das raízes das plantas. Do ponto de vista agrônomo, a segunda definição é a mais aceita, pois relaciona a compactação à produção das culturas (BALBINOT JUNIOR et al. 2009), assim, os valores críticos de densidade além de serem restritivos ao crescimento das plantas, também afetam diretamente a taxa de infiltração e transporte de água, e às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera (FONSECA et al. 2007).

Corsini & Ferraudo (1999) concluiu que a densidade restritiva ao crescimento radicular está entre 1,27 e 1,57 Mg cm³. Em solos argilosos, Argenton et al. (2005) concluiu que os valores limitantes de densidade para o desenvolvimento das plantas é de aproximadamente 1,30 Mg m³ em solos do tipo Latossolo Vermelho argiloso, Reichert et al. (2003) por outro lado, propuseram valores de densidade crítica ao desenvolvimento das plantas, sendo: 1,30 Mg cm³ a 1,40 Mg m³ para solos argilosos; 1,40 Mg cm³ a 1,50 Mg cm³ para solos franco-argilosos e 1,70 Mg cm³ a 1,80 Mg cm³ para solos de classe textura franco-arenosos.

De maneira geral, diversos autores concluíram que o valor aceito como limite crítico é de 1,40 Mg cm³, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (SOUZA et al. 2005). Estes relatos comprovam que não existe nível crítico da densidade do solo (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004)

Em sistemas ILP, a compactação do solo devido a presença dos animais ocorre principalmente na camada de 0– 10 cm (MAPFUMO et al. 1999), uma vez que, a pressão exercida ao solo é proporcional a sua área de contato (SOEHNE, 1958) e diretamente ligada a taxa de cobertura do solo, fatores que afetam diretamente o grau de compactação do solo, pois, quanto maior for a disponibilidade de forragem, menor será o efeito do pisoteio. Alves & Fidalski (2015) avaliaram a influência do pastejo de braquiária e a carga animal em sistema ILP, e encontraram o menor valor de densidade na camada de 0-10 cm para a altura de pastejo de 31 cm com 72% da carga animal máxima.

Bortolini et al. (2013) em experimento com papuã com diferentes alturas de manejo e pastejo contínuo com lotação variável, não observaram compactação do solo nas camadas superficiais ou alterações na porosidade total, macroporos e microporos. Este resultado foi atribuído aos altos valores de

matéria orgânica, que contribuem para reduzir os valores de densidade do solo. Por outro lado Trein et al. (1991) aplicando elevada carga animal (200 an/ha) durante 40 horas em Argissolo Vermelho sob pastagem de aveia preta, verificaram compactação do solo na camada superficial. O aumento antes e depois do pastejo, passou de 1,39 Mg cm³ para 1,56 Mg cm³, respectivamente. Segundo Balbinot Junior et al. (2009) estes resultados distintos devido ao pisoteio animal sobre o solo, são facilmente explicados pelas diferenças de manejo empregadas no sistema ILP.

Contudo, estudos como de Costa et al. (2009) e Fidalski et al. (2008) não observaram comprometimento da qualidade física do solo, quando o sistema de ILP é bem manejado, com controle da taxa de lotação animal e oferta de forragem. Segundo Mello (2002) estes resultados devem-se as forrageiras, que quando manejadas corretamente possuem efeito de agregação, que possibilitam o reequilíbrio da porosidade e redução da densidade do solo, devido a ação agressiva do sistema radicular e do aporte de matéria orgânica sobre o solo.

2.2.2. Porosidade do solo

As alterações causadas na porosidade do solo, além de alterar as taxas gasosas, alteram a disponibilidade de água para as plantas (FERREIRA et al. 2010). Quando ocorre degradação na estrutura do solo, há modificação no tamanho dos poros, principalmente dos macroporos, o que altera o fluxo de água, alterando o processo de infiltração (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007).

Quando ocorre a redução da macroporosidade do solo, verifica-se aumento na densidade do solo e alteração na porosidade total (FERREIRA et al. 2010). Klein & Libardi (2002) considerando que as raízes das plantas crescem com a macroporosidade acima de 10%, concluíram que o solo ideal é aquele que apresenta a proporção 2:1 de macro:microporos, o que garante as trocas gasosas, infiltração e armazenamento de água.

Estudando o efeito do tempo das pastagens sobre o volume de macroporos após 10 anos de abandono e nove de recuperação, Tarrá et al. (2010), concluíram que há decréscimo no volume de macroporos conforme o aumento no tempo de uso das pastagens. Estes autores perceberam queda no volume de macroporos principalmente na camada de 0-5 cm, ou seja, este

atributo foi afetado diretamente pelo pisoteio animal. Estes resultados corroboram com os encontrados por Flores et al. (2007) que constatou maiores valores de macroporosidade e porosidade total em áreas sem pastejo, em relação às demais pressões de pastejo. Por outro lado, Costa et al. (2015) avaliando os atributos do solo em sistema ILP em sistema de plantio direto ao longo de três anos observaram efeito positivo de incremento da macroporosidade e porosidade total na profundidade de 0-20 cm.

Portugal et al. (2008) definiram os microporos como os responsáveis pelo armazenamento de água disponível. Sua diminuição prejudica o armazenamento de água no solo e, pode indicar compactação, quando associado a diminuição da macroporosidade (FONSECA et al. 2007). Contudo, Wendling et al. (2003) ressaltaram que valores muito elevados de microporos podem induzir a uma aeração deficiente, dificultando a atividade microbiana e a respiração celular das plantas.

Bertol et al. (2006) encontraram aumento na densidade do solo e no volume de microporos, na camada superficial do solo após o aumento da lotação animal em um Cambissolo álico. Estes resultados corroboram com os encontrados por Sarmiento et al. (2008) que concluíram que a camada do solo mais alterada pelo pastejo é a superficial.

Avaliando o efeitos de sistemas de manejo (semeadura direta sem pastejo (SD/SP), semeadura direta com pastejo (SD/CP) e escarificação (ESC/CP)) com pisoteio animal, Kunz et al. (2013) não encontraram diferença no volume de microporos em SD/CP e SD/SP. Estes resultados confirmam os encontrados por Flores et al. (2007) que observaram que a microporosidade permaneceu inalterada após o pastejo em um Latossolo Vermelho distroférico.

Spera et al. (2010) estudando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico em seis sistemas de produção de grãos com pastagens de inverno e verão, não encontraram diferenças nos valores de microporosidade nas camadas avaliadas, contudo, constataram que a porosidade total foi menor na camada de 0-5 cm do que na camada de 10-15 cm. Os autores relacionaram estes valores ao acúmulo de resíduos culturais e a ação do sistema radicular das culturas na reestruturação do solo, restaurando a porosidade.

Conte et al. (2011) avaliando a evolução dos atributos físicos do solo em sistema ILP após sete anos de experimento não encontraram alterações significativas na porosidade do solo. Segundo alguns autores (SPERA et al. 2004; FLORES et al. 2007; LUNARDI et al. 2008) em áreas de ILP, são poucos os relatos sobre os reflexos negativos deste tipo de sistema, o que indica o potencial uso deste sistema.

2.2.3. Resistência a penetração

A resistência do solo a penetração (RP) é considerada o atributo do solo mais adequado para demonstrar o grau de compactação do solo, pois expressa a facilidade de penetração das raízes (SILVEIRA et al. 2010). Segundo alguns autores (STOLF et al. 1983; TORMENA & ROLOFF, 1996; PEREIRA et al. 2002; MARCANTE et al. 2003) a quantificação da RP indica a dinâmica do crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas.

Ley et al. (1993) correlacionaram a RP a outros atributos do solo como a textura, densidade, matéria orgânica e umidade no momento da determinação. O conteúdo de água pode variar consideravelmente, podendo mascarar as diferenças nos valores de resistência a penetração impostas pelo tratamento (BUSSCHER et al. 1997).

Avaliando a umidade ideal do solo, Pérez-Gomar et al. (2002) constataram que solos com umidade em torno de 0,24 cm³, apresentam resultados de RP acima de 2,0 Mpa, e a medida que a umidade é aumentada para valores próximos de 0,29 cm³, os valores de RP tem a tendência a diminuir. Assim muitos trabalhos que tem como objetivo avaliar a compactação do solo, utilizam a densidade do solo como atributo de referência (TORRES; SARAIVA, 1999; LAPEN et al. 2004; COLLARES et al. 2006).

Os níveis críticos de RP também podem variar de acordo com o tipo de solo e a espécie cultivada. Arschad et al. (1996) estabeleceram uma classificação para valores da RP, onde: i) extremamente baixa: $RP < 0,01$ Mpa; ii) muito baixa: $0,01 \leq RP < 0,1$ Mpa; iii) baixa: $0,1 \leq RP < 1,0$ Mpa; iv) moderada: $1,0 \leq RP < 2,0$ Mpa; v) alta: $2,0 \leq RP < 4,0$ Mpa; vi) muito alta: $4,0 \leq RP < 8,0$ Mpa e vii) extremamente alta: $RP \geq 8,0$ Mpa.

Taylor et al. (1996) por outro lado consideraram a faixa crítica de RP do solo entre 2 e 2,5 Mpa, onde ocorre redução do crescimento radicular, que pode variar com o tipo de solo e a espécie cultivada.

Alguns autores (CANARACHE, 1990; MEROTTO & MUNDSTOK, 1999) concluíram que um solo com resistência variando de 1 a 3,5 Mpa, pode restringir ou até mesmo impedir o desenvolvimento das raízes, além de afetar a produtividade e longevidade das plantas (CARVALHO et al. 2001). Pauletto et al. (1989) concluíram que as camadas consideradas compactadas seriam aquelas com valores de RP superiores a 1,72 Mpa, onde apenas valores acima de 2,32 Mpa seriam capazes de interferir no desenvolvimento das plantas em estudo.

Lanzanova et al. (2007) trabalhando com pastagem em ILP perceberam aumento da RP após diminuição do intervalo de pastejo, de 28 para 14 dias, onde os valores encontrados foram de 2,49 e 2,61 Mpa respectivamente. Clark et al. (2004) também trabalhando com pisoteio animal em intervalo de 28 dias, verificaram aumento de aproximadamente 44% no valores de RP, em comparação as áreas não pastejadas.

Por outro lado, em um estudo de longa duração no Cerrado, Marchão et al. (2007) avaliando a qualidade física do solo em ILP em comparação com sistemas de plantio direto, convencional, pastagem contínua e lavoura contínua, verificaram aumento na resistência à penetração do solo por causa do pisoteio animal, mas sem limitação para a produção dos cultivos subsequentes.

2.3 NITROGÊNIO

A eficiência do nitrogênio é afetada pela dinâmica do solo, que envolve reações de imobilização, mineralização, nitrificação, desnitrificação, lixiviação, volatilização, adsorção, sorção e outros, resultantes da interação entre os microorganismos e solo (CANTARELLA & DUARTE, 2004). Assim o sincronismo entre a liberação de N da palhada e a exigência das plantas se torna fundamental (GIACOMINI & AITA, 2007).

O uso de espécies forrageiras, especialmente as gramíneas também têm mostrado potencial na manutenção de N, uma vez que a baixa relação C/N e lignina/N total aceleram a decomposição dos resíduos orgânicos, sendo este

uma das variáveis mais importantes na ciclagem de nutrientes (HENTZ et al. 2014). Segundo Floss, (2000) quanto maior a velocidade de decomposição do material orgânico, maior será a liberação dos nutrientes, e lignina e relação C/N mais lenta será a decomposição quanto mais alto conteúdo de.

Em comparação com as culturas anuais, as pastagens estabelecem um agroecossistema único, devido à complexidade dos ciclos e sub-ciclos do nitrogênio (WHITEHEAD, 1995). Desta forma, o conhecimento dos ciclos de entrada e saídas deste nutriente, têm se mostrado como fator básico para a definição da rotação mais adequada, uma vez que nos últimos anos o incremento adubação nitrogenada em sistemas integrados, têm permitido aumentar a produtividade das áreas pastejadas, e conseqüentemente, aumentar a carga animal (ASSMANN et al. 2002).

Em sistema ILP a disponibilidade dos nutrientes é condicionada pela resposta das plantas ao pastejo (ASSMANN et al. 2002), pois a presença dos animais pode influenciar os processos de mineralização/imobilização de N, além de facilitar a decomposição dos substratos e reciclagem de N decorrente da deposição de fezes e urina (SINGH et al. 1991; BAUER et al. 1987).

Entretanto, o pastejo mal conduzido pode dar início a um ciclo de degradação do solo, principalmente a compactação, que altera principalmente a porosidade total do solo (MELLO, 2002). Esta redução da aeração do solo, modifica o balanço do nitrogênio, e contribui para a perda por desnitrificação (CABRAL et al. 2012), conforme o observado por Whisler et al. (1965), que observou diminuição de até quatro vezes do teor de N mineralizado, com o aumento da densidade de um solo com textura franco-argilosa. A compactação do solo também altera o perfilhamento das plantas, conforme o visualizado por Gross et al. (2003) que observaram redução 32,9% do perfilhamento de braquiárias, em relação ao resultado obtido ao nível zero de compactação. Costa (2010) em estudo de consórcio de milho com forrageiras verificaram que as doses crescentes de N aplicadas a forrageira após o consórcio influenciaram os teores de N foliar.

Além disso, em áreas de ILP, o pastejo também pode aumentar a disponibilidade de outros nutrientes, através da manutenção na superfície do solo, tornando os nutrientes mais acessíveis às plantas e microorganismos (ARCHER & SMEINS, 1991), uma vez que a taxa de cobertura, atenua o grau

de compactação do solo, diminui o efeito do pisoteio, favorece o rebrote e crescimento da pastagem, auxilia na ciclagem de nutrientes e influência no processo de mineralização/imobilização de N (MELLO, 2002; SILVA et al. 2000; ASSMANN et al. 2002).

CAPITULO 1: Pastejo e Adubação Nitrogenada nos atributos físicos do solo em um Sistema de Integração Lavoura –Pecuária

1 INTRODUÇÃO

A presença dos animais em áreas destinadas à produção agrícola ainda é um assunto controverso, e que gera certa preocupação dos produtores devido a possível compactação do solo. Se por um lado alguns trabalhos (FIDALSKI & TORMENA, 2007; CHIODEROLI et al., 2012; MENDONÇA et al., 2013) demonstram que a presença das gramíneas no sistema permitem a melhoria na qualidade física dos solo, por outro lado, trabalhos como de Azevedo & Sverzut (2007), Du Toit et al. (2009) e Queiroga et al. (2009) demonstram que o pisoteio animal favorece a compactação da camada superficial do solo, redução da macroporosidade, aumento da resistência à penetração e predispõe o solo a erosão.

Os estudos sobre a qualidade física do solo têm evoluído significativamente, devido a necessidade do entendimento dos atributos físicos em áreas sob integração lavoura-pecuária (LANZANOVA et al., 2007; FIDALSKI et al., 2008; SPERA et al., 2009; SALES et al., 2010). Dentre os atributos físicos mais utilizados para esta avaliação, a densidade, porosidade do solo (FLORES et al. 2007; LANZANOVA et al. 2007) e a resistência à penetração (ALBUQUERQUE et al. 2001; TORMENA et al. 2002) têm sido os mais utilizados, visto que em áreas sob ILP, a compactação ocorre principalmente nas camadas superficiais (BEUTLER & CENTURION, 2004; MELLO, 2002).

A baixa cobertura do solo permite o contato direto do casco do animal ao solo, que em lotações excessivas aceleram o processo de selamento superficial, fatores estes que diminuem a capacidade vegetativa das plantas, e iniciam o processo de erosão (MELLO, 2002). Além disso, a compactação superficial reduz a infiltração (LANZANOVA et al. 2007) e reduz o armazenamento de água no solo, além de contribuir para o escoamento superficial (KUNZ et al. 2013). Por outro lado, a taxa de cobertura adequada ameniza o grau de compactação do solo, devido ao menor efeito do pisoteio animal (MELLO, 2002), favorecendo o rebrote e crescimento da pastagem (SILVA et al. 2000).

Diante do exposto, pressupõe-se a hipótese de que as áreas submetidas ao pastejo, apresentem maiores valores de densidade e menores de porosidade total, especialmente a macroporosidade, do que às áreas sem pastejo. Este capítulo tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio com

e sem pastejo sobre a qualidade física do solo, especialmente a densidade, porosidade total, macro e microporosidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi iniciado em junho de 2006 área experimental do campus da Universidade Estadual do Centro-Oeste, localizada no município de Guarapuava- PR, com coordenadas geográficas são 25°33' latitude Sul e 51°29' longitude Oeste e de 1095 m. O solo da região é classificado como Latossolo Bruno álico, de relevo suave ondulado e substrato de rochas basálticas (Embrapa, 2006) de textura argilosa. O Clima da região é do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen (Alvares et al. 2013), com temperatura no mês mais frio abaixo de 18°C e no mês mais quente abaixo de 22°C. A precipitação anual varia entre 1400 a 1800 mm.

Antes da implantação do sistema de integração lavoura-pecuária em abril de 2006, a área experimental era utilizada em sistema de plantio direto, com produção de milho para silagem após o pousio no inverno. Desde de 2006, a área vem sendo utilizada com cultivo de aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta comum (*Avena strigosa*), Azévem comum (*Lolium multiflorum*) e Centeio (*Secale cereale*) no inverno e rotação de milho e feijão para produção de grãos. No Quadro 2 são apresentadas as sucessões de culturas realizadas entre os anos de 2010/2018.

Quadro 2: Sucessão de cultura realizadas entre 2010 e 2018.

| <i>Estação</i> | <i>Culturas</i> |
|---------------------|-----------------|
| <i>Inverno 2010</i> | Aveia e Azevém |
| <i>Verão 10/11</i> | Feijão |
| <i>Verão 16/17</i> | Feijão |
| <i>Inverno 2017</i> | Centeio |
| <i>Verão 17/18</i> | Milho |

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal foi constituída pelas doses de

nitrogênio (N), sendo 0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹, utilizando a ureia como fonte de N. Nas subparcelas casualizou-se o fator pastejo, com e sem. Em cada parcela principal isolou-se um área de aproximadamente 96 m² que permaneceu sem pastejo, enquanto o restante da área foi pastejada com ovinos, com lotação contínua, taxa de lotação variável, onde mantinha-se a altura média de pastagem de 14 centímetros (cm) (Figura 2).

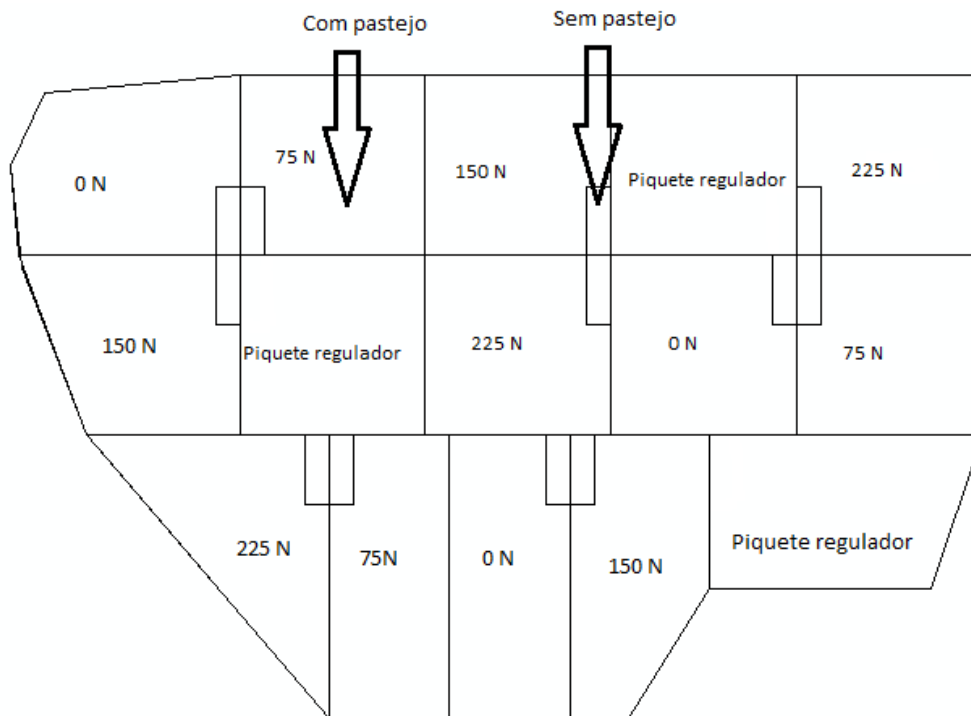


Figura 2: Croqui da área experimental com ILP no município de Guarapuava, PR. 0N: sem nitrogênio; 75N: 75 kg ha⁻¹ de N; 150N: 150 kg ha⁻¹ de N; 225N: 225 kg ha⁻¹ de N. Fonte: O autor, 2019.

No ano de 2006 assim como os demais anos de experimento, a semeadura da pastagem foi efetuada em sistema de plantio direto. A adubação foi realizada conforme recomendações técnicas. Após 35 dias após a semeadura (DAS), foi realizada a aplicação da ureia em cobertura, de acordo com os tratamentos.

O pastejo no ano de 2010 durou 90 dias, e no ano de 2017 120 dias. Foram utilizados ovinos, que foram distribuídos aleatoriamente em doze lotes de seis cordeiros nas parcelas e mantidos na pastagem, em sistema de lotação contínua e carga variável, afim de manter a altura da pastagem entre 14 e 15 cm de altura.

Cerca de 20 a 30 dias antes da semeadura da cultura do feijão ou milho, os animais era retirados da área, com posterior dessecação da pastagem com 2,5 L ha¹ de *glyphosate*. Após este período a semeadura das culturas (milho e feijão, conforme o ano de cultivo) era realizada, e a adubação e o controle de plantas daninhas era realizada conforme recomendação técnica.

Nos anos de 2010 após o pastejo da aveia+azevém, 2011 após a cultura do feijão, 2017 após a cultura do feijão e após pastejo do centeio, e, 2018 após a cultura do milho, foram retiradas amostradas indeformadas das camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, para a avaliação dos atributos físicos do solo. Foram realizadas duas repetições para as áreas com pastejo (CP) e uma repetição para sem pastejo (SP).

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

Os resultados foram submetidos a análises de variância pelo teste F a um nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico R-Bio® (BHERING, L.L. 2017) e, caso apresentassem significância, era realizado o estudo de regressão. Como análise complementar foi realizada a técnica multivariada cluster hierárquico realizado a partir da distância euclidiana entre os acessos para o conjunto das 12 variáveis, juntamente com o uso do algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. Com esta análise, buscou-se verificar as similaridades entre as variáveis analisadas e os tratamentos estudados a partir de agrupamentos homogêneos representados em um dendrograma de similaridade. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma ou cluster hierárquico) que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos, no qual os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, onde se encontram as maiores distâncias em que os grupos foram formados.

A análise de Componentes Principais (ACP) também foi realizada com o objetivo de reduzir a complexidade das inter-relações de um número grande de variáveis observadas a um número relativamente pequeno de combinações lineares com essas variáveis, que são os componentes principais e, assim, facilitam a interpretação da importância das variáveis na análise. Para a ACP foram geradas matrizes de dados, onde os tratamentos foram divididos conforme

a época de coleta, dose de N e com/sem pastejo, constituída de 16 linhas e 12 colunas para o 1º ciclo, onde 0NSP-F, 75NSP-F, 150NSP-F e 225NSP-F compreenderam as doses de N, nas áreas sem pastejo (SP) após a cultura do feijão (F); 0NCP-F, 75NCP-F, 150NCP-F e 225NCP-F, doses de N, com pastejo (CP) após a cultura do feijão (F); 0NSP-P, 75NSP-P, 150NSP-P, 225NSP-P após o pastejo (P) nas áreas sem pastejo (SP), e 0NCP-P, 75NCP-P, 150NCP-P, 225NCP-P após pastejo (P) nas áreas com pastejo (CP). Para o 2º ciclo, a matriz foi constituída por 24 linhas e 12 colunas, onde novamente 0NCP-F, 75NCP-F, 150NCP-F e 225NCP-F, doses de N, com pastejo (CP) após a cultura do feijão (F); 0NSP-P, 75NSP-P, 150NSP-P, 225NSP-P após o pastejo (P) nas áreas sem pastejo (SP); 0NCP-P, 75NCP-P, 150NCP-P, 225NCP-P após pastejo (P) nas áreas com pastejo (CP); 0NSP-M, 75NSP-M, 150NSP-M e 225NSP-M após a cultura do milho (M) em áreas sem pastejo (SP) e 0NCP-M, 75NCP-M, 150NCP-M e 225NCP-M também após a cultura do milho (M) nas áreas com pastejo (CP). A análise foi realizada com a utilização do software PC-ORD® v.6 (MCCUNE & MEFFORD, 2011).

Afim de facilitar o entendimento das épocas avaliadas, este capítulo é dividido em duas épocas, onde o 1º ciclo compreende as coletas realizadas nos anos de 2010 (pós-pastejo) e 2011 (pós-feijão), e o 2º ciclo, onde foram avaliados os anos de 2017-1(pós-feijão), 2017-2 (pós-pastejo) e 2018 (pós-milho).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

1º Ciclo de coletas 2010/2011

Após ciclo de pastejo no ano de 2010 (**Tabela 1**) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, as médias de densidade do solo (Ds) das áreas com (CP) e sem pastejo (SP) não apresentaram diferença significativa (1,14 Mg cm⁻³ e 1,18 Mg cm⁻³, respectivamente), não atingindo o valor considerado crítico (> 1,40 Mg m⁻³) para o desenvolvimento das plantas em Latossolos argilosos (REINERT et al. 2008). Também para Ds na camada de 10-15 cm não foram observadas diferenças para as doses de N e pastejo. Segundo Mello (2002) o processo de compactação devido ao pisoteio animal ocorre principalmente na camada de 0-10 cm, através

do adensamento e selamento superficial do solo, assim não é esperado alterações em maiores profundidades.

Após a cultura do feijão no ano de 2011 (**Tabela 1**), houve diferença entre as áreas CP e SP nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (**Figura 1A e 1B**). Em geral as áreas não pastejadas (SP) demonstraram maiores valores de Ds quando comparadas aquelas com ILP em SPD. Este resultado deve-se provavelmente à ação do sistema radicular das culturas no sistema ILP, que contribui para a diminuição da Ds devido ao maior desenvolvimento radicular.

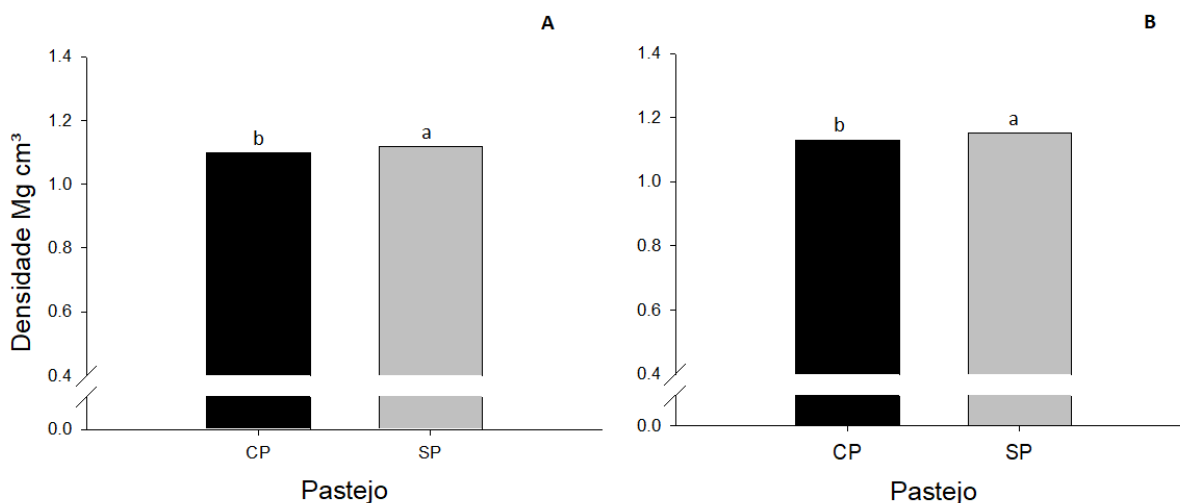


Figura 1: Densidade do solo (Ds) após a cultura do feijão (2011) nas camadas de 0-5 cm (Figura 1A) e 5-10 cm (Figura 1B), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP).

Estes resultados corroboram com os encontrados por Loss et al. (2012) que estudando a densidade do solo sob sistema ILP e SPD no Cerrado encontrou menores valores de Ds na camada de 0-10 cm quando comparado às demais áreas cultivadas. Também alguns estudos demonstram que o uso de PD em solos após pelo menos quatro anos eleva os valores de Ds, principalmente devido ao rearranjo natural das partículas do solo (VIEIRA, 1981; VIEIRA & MUZILLI, 1984; CORRÊA, 1985).

Em comparação com a época pós-pastejo, nota-se diminuição nos valores de Ds pós-feijão, principalmente nas áreas que foram pastejadas (CP), indicando que o aumento da Ds causada pelo impacto do animal no momento do pastejo, é revertida por processos naturais, neste caso, a formação de raízes. Estes resultados são similares aos encontrados por Bonetti et al. (2015) estudando a influência dos SIPA's no solo e na produtividade de soja e braquiária. A análise

da variância da Ds na camada de 10-15 (**Tabela 1**), não identificou interação e diferença significativa entre as doses de N e pastejo.

A macroporosidade do solo não foi alterada nas camadas e épocas estudadas (**Tabela 1**), independente da dose de N e presença do pastejo, estando acima do nível crítico estabelecido por Klein & Libardi (2002) de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Após o pastejo, na camada de 0-5 cm os valores de Ma para as áreas CP e SP não foram diferentes ($0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) o que demonstra que a presença do animal não alterou a Ma nas condições deste estudo. Segundo Andreolla et al. (2015) a atividade da fauna edáfica do solo pode contribuir para o incremento da Ma, pois durante o pastejo, ocorre estímulo na atividade destes organismos devido a deposição de dejetos ao solo.

Entretanto, após a cultura do feijão foi observado aumento da Ma, sendo este resultado decorrente do crescimento das raízes da cultura que se desenvolve principalmente pelos macroporos e conseqüentemente, melhoram a oxigenação do solo (MOREIRA et al. 2005; MELLO, 2002). Segundo Vilhordo et al. (1988) o sistema radicular do feijão se desenvolve preferencialmente nos primeiros 10 cm de profundidade, cerca de 87% do total.

A porosidade total assim como a macroporosidade, não foi influenciada pelo pisoteio animal e doses de N nas camadas e ciclos avaliados, estando também acima do mínimo considerado satisfatório para o desenvolvimento das plantas estabelecido por Kiehl (1979), de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Este resultado evidencia que a presença do pastejo não causou a compactação do solo, uma vez que, o processo de compactação é caracterizado por redução severa da porosidade total, refletida principalmente em redução dos macroporos (MELLO, 2002).

A microporosidade do solo (Mi) assim como os demais atributos, não foi alterada pela presença do pastejo e as doses de N nas camadas do solo após o pastejo. A falta de efeito do pastejo neste atributo, demonstra sua importância, pois reflete diretamente na absorção de nutrientes pelas raízes e na retenção de água (BONETTI et al. 2015). Após o feijão no entanto, foi visualizada diferença significativa na camada de 10-15 cm para as doses de N (**Figura 2**).

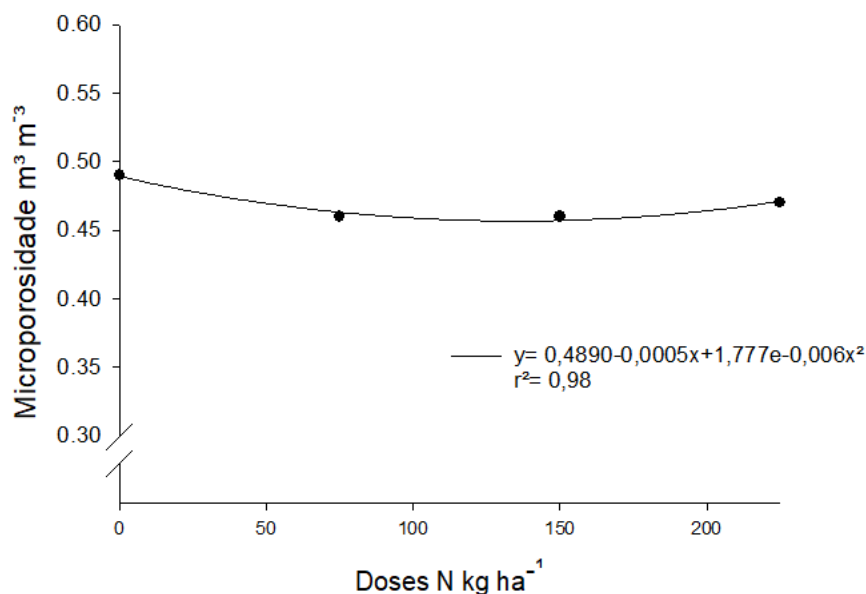


Figura 2: Microporosidade do solo (Mi), após a cultura do feijão (2011) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio, na camada de 10-15 cm.

Sem o uso de N foi observado o maior valor de Mi ($0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sendo observado nesta dose aumento dos valores de Ds e diminuição da Ma ($1,15 \text{ Mg cm}^{-3}$ e $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente) em relação as demais doses. Em relação ao pastejo, não houve diferença significativa quando comparados os valores das áreas CP e SP, com valores em $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Na análise de cluster hierárquico, os tratamentos foram agrupados com base no grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos mais ou menos homogêneos, assim, os ambientes pouco distanciados são mais semelhantes do que os amplamente distanciados. A faixa de corte foi feita em 70%, e observou-se a formação de cinco grupos (**Figura 3**), onde o primeiro grupo foi formado pelos tratamentos 75NSP-F, 0NSP-F e 225NCP-F, o segundo grupo foi composto por 0NCP-F, 15NCP-F, 150NSP-F, o terceiro por 225NSP-F, 150NCP-F e 75NSP-P, o quarto grupo por 75NCP-P, 150NSP-P e 225NSP-P e o quinto grupo por 150NCP-P, 0NSP-P, 225NCP-P e 0NCP-P.

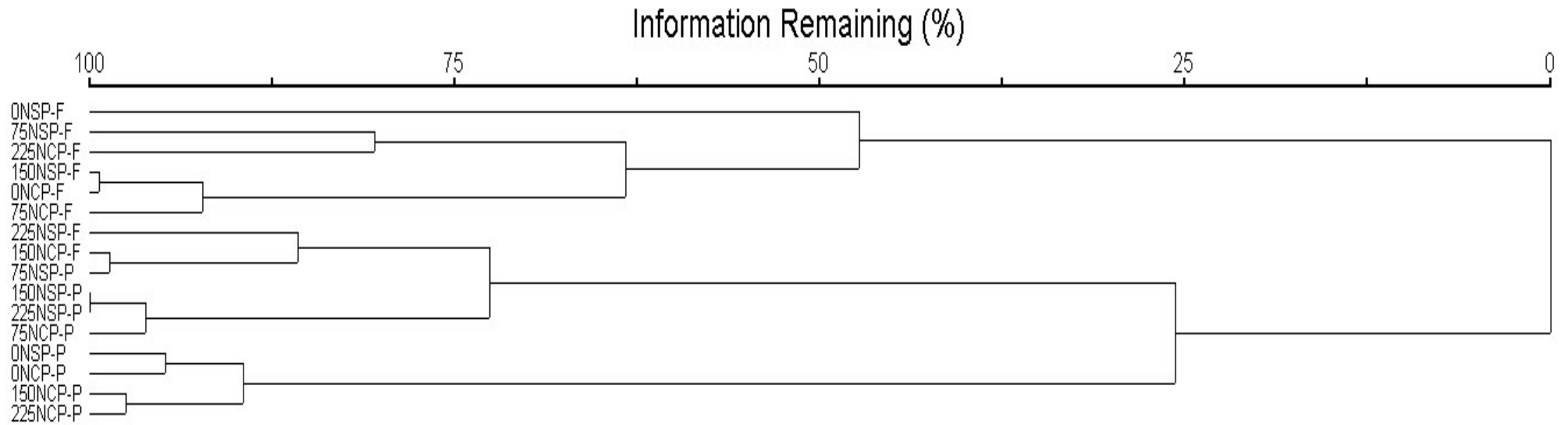


Figura 3: Cluster hierárquico em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N, 150N e 225N kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo(SP), após pastejo (P) em pastagem de aveia consorciada com azevém (2010) e cultura do feijão (F) (2011). Guarapuava, PR.

Na análise de componentes principais (ACP), **Figura 4**, os atributos do solo avaliados foram representados por autovetores, que indicam a direção do gradiente máximo, sendo que o comprimento do vetor tem correlação proporcional entre o atributo e o eixo, e sua importância na explicação da variância projetada em cada eixo (THEODORO et al. 2003). Ou seja, quanto maior for o comprimento de um autovetor, mais influente este será para a análise (BORCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011). Dessa forma, no eixo 2, as variáveis Pt 0-5, Mi 0-5, apresentam vetores positivos e Pt 5-10, Mi 5-10, Mi 10-15, Pt 10-15, Ma 5-10 e Ma 10-15, apresentaram autovetores negativos, sendo estas as variáveis que mais influenciaram no comportamento dos tratamentos (**Figura 4**). Quanto o percentual de variância explicado pelas CP's, verifica-se que em todas as profundidades analisadas, o primeiro e segundo componente foram responsáveis por 66,31% da variância total, sendo 34,91% na PC1 e 31,40% na PC2.

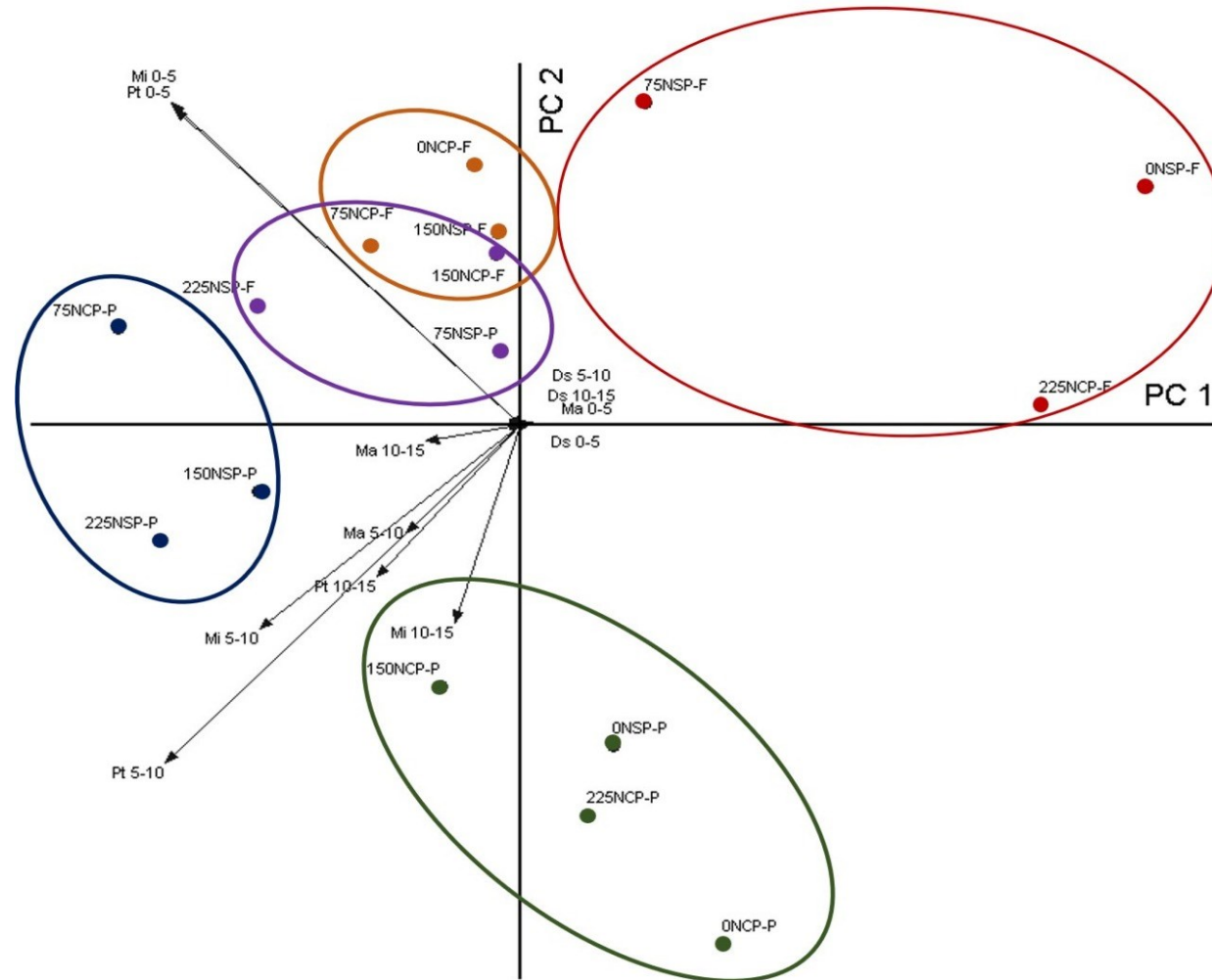


Figura 4: Análise dos Componentes Principais (ACP) para os atributos físicos do solo em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N 150N e 225N kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo(SP), após pastejo (P) (2010) e cultura do feijão (F) (2011), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Ds = densidade do solo, Ma= macroporosidade, Mi= microporosidade, Pt= porosidade total. Guarapuava, PR.

A ACP reafirmou os agrupamentos observados na análise de cluster hierárquico (**Figura 2**). A Ds em todas as camadas avaliadas e a Ma na camada de 0-5 cm não apresentaram relação com nenhum tratamento imposto em ambos os ciclos avaliados o que confirma que o pisoteio animal independente da dose de N não gera a compactação do solo, principalmente na camada superficial do solo.

Os tratamentos 75NSP-P; 75NCP-P; 75NSP-F e 225NSP-F; e 0NCP-F, 75NCP-F e 150NCP-F apresentaram forte influência nas variáveis microporosidade e porosidade total na camada de 0-5 cm. Na camada de 5-10 e 10-15 cm as variáveis a porosidade total, microporosidade e macroporosidade se relacionaram com os tratamentos 150NSP-P e 225NSP-P e 150NCP-P. Estes resultados demonstram que a maior cobertura vegetal promovida pelas doses de N podem ter amenizado o impacto do pisoteio animal e do tráfego de máquinas agrícolas, proporcionando efeitos positivos a estrutura do solo devido ao maior aporte de resíduos, que tem ação direta nos atributos físicos do solo, através da agregação, na distribuição dos tamanhos dos poros e na sua estabilidade (BRAIDA et al., 2011; PENTEADO, 2007; MORAIS et al., 2012).

2º Ciclo de coletas 2017/2018

No ano de 2017 após o feijão e após pastejo, novamente não houve alteração da Ds, na camada de 0-5 cm, independente da dose N ou presença de pastejo. Em comparação entre as duas épocas, na camada 0-5 cm ficou evidente a diminuição da densidade do solo após o pastejo. As áreas pastejadas passaram de 1,07 Mg cm⁻³ para 0,97 Mg cm⁻³ (pós-feijão e pós-pastejo, respectivamente), este resultado deve-se ao centeio utilizado durante o pastejo, que possui sistema radicular abundante e grande produção de forragem, que ameniza o impacto do casco dos animais ao solo (SILVA et al. 2000). Ainda segundo Moraes et al. (2002) a rotação de pastagens com cultivos agrícolas impõe um período de descanso ao solo, que tem efeito regenerador, e portanto reduzem o efeito do impacto animal ao solo.

Na camada de 5-10 cm após o feijão, observou-se diferença para todos os atributos avaliados. A Ds (**Figura 5**) e a Pt (**Figura 6B**) demonstram diferença

significativa para o pastejo, onde as áreas CP apresentaram incremento da Ds e diminuição da Pt em relação as áreas SP, sendo este resultado possível efeito da compactação do solo. Resultados são similares as encontrados por Lanza et al. (2007) e Souza et al. (2009), que encontraram menores taxas de Pt e maiores valores de Ds em áreas pastejadas sob diferentes manejo de pastagem em ILP em comparação às áreas somente com lavoura.

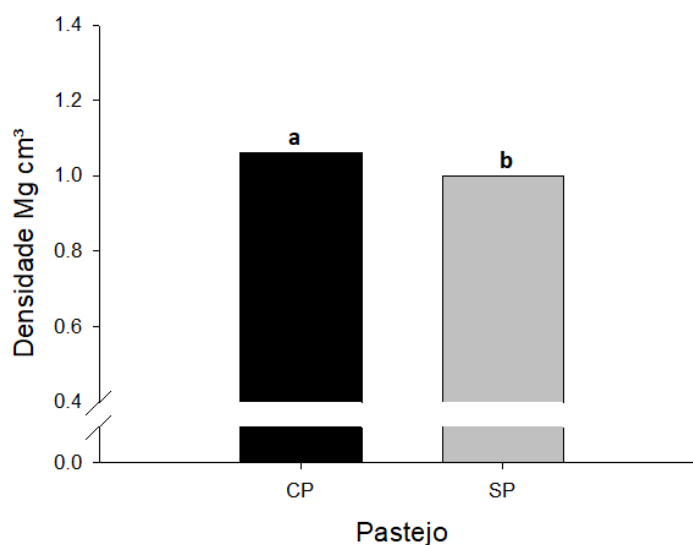


Figura 5: Densidade do solo (Ds) após a cultura do feijão (2017) na camada de 5-10 cm, com pastejo (CP) e sem pastejo (SP).

As doses de N aplicadas na pastagem de inverno, influenciaram na Pt (**Figura 6**). A dose de 150 kg de N ha⁻¹ proporcionou decréscimo neste atributo em relação às demais doses. Esta redução da Pt está diretamente relacionada com o redução da Ma (Figura 7) que também foi menor nesta dose de N.

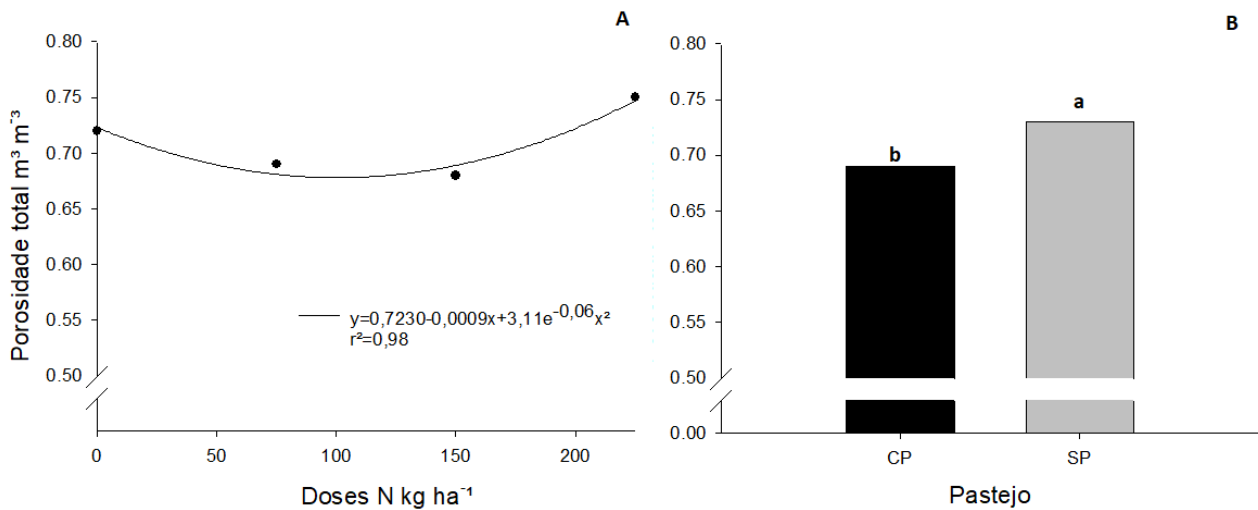


Figura 6: Porosidade total do solo (Pt), após a cultura do feijão (2017), no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio, na camada de 5-10 cm, com pastejo (CP) e sem pastejo (SP).

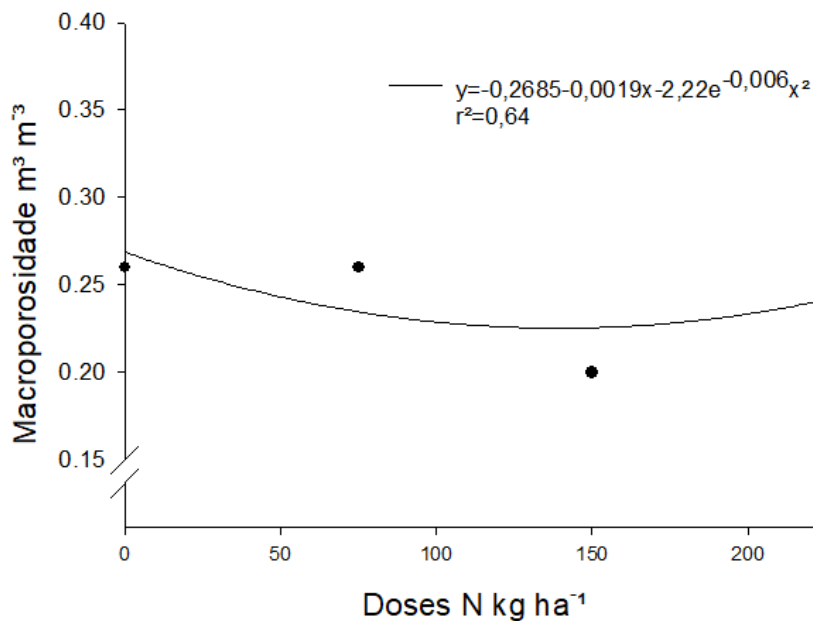


Figura 7: Macroporosidade do solo (Ma), após a cultura do feijão (2017) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio, na camada de 5-10 cm.

Apesar desta diminuição observada nos macroporos, estes valores provavelmente não foram limitantes para o desenvolvimento das plantas, não estando acima do limite estabelecido por Klein & Libardi (2002) de $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$. Este resultado corrobora com os encontrados por Pacentchuk (2016), que

avaliou neste mesmo trabalho a produtividade do feijão, e concluiu que a presença do pastejo não causou prejuízos para a produtividade do feijoeiro. Segundo Baver et al (1972) o volume de macroporos é diminuído quando ocorre o adensamento do solo causado pela pressão mecânica oriunda do tráfego de máquinas agrícolas ou pisoteio animal, que é refletido um aumento menos acentuado do volume de microporos (**Figura 8**) e em uma diminuição no volume total de poros.

A Microporosidade (**Figura 8**) desta camada aumentou em função das doses de N aplicadas, onde a dose de 225 kg de N ha⁻¹ apresentou um volume de 0,59 m³m⁻³. Este aumento na taxa de microporos é resultado do aumento da Ds onde ocorre transformação dos macro em microporos (Klein & Libardi, 2002). Contudo, Henklain et al. (1996) avaliando os atributos físicos do solos em diferentes sistemas de produção concluíram que o aumento da microporosidade em SPD não afetou o desenvolvimento das plantas, devido a qualidade dos poros, que mesmo menores, eram contínuos ao longo do perfil do solo.

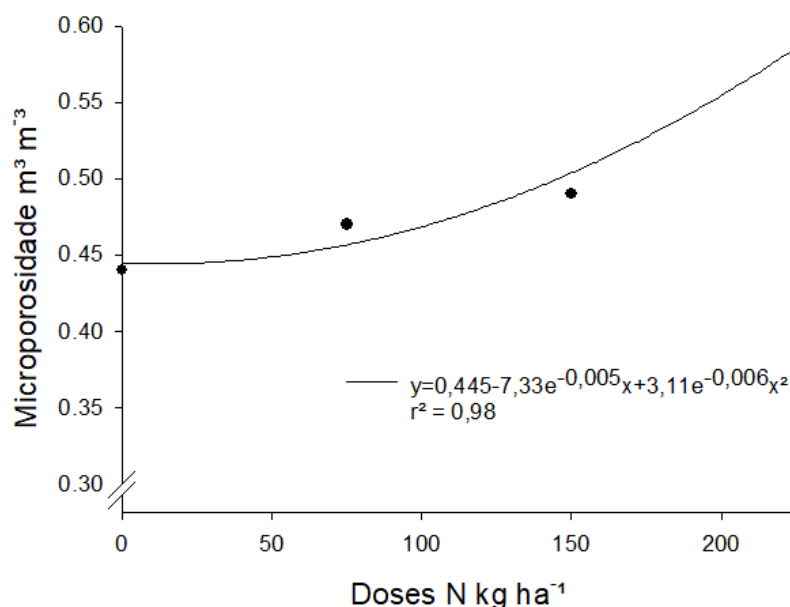


Figura 8: Microporosidade do solo (Mi), após a cultura do feijão (2017) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio, na camada de 5-10 cm.

Após o pastejo, entretanto, não foram observadas diferenças significativas para os atributos avaliados na camada de 5-10 cm, sendo o mesmo constatado na camada subsequente (10-15 cm), onde não houve diferença significativa para as doses de N, pastejo (com e sem), e, interação significativa entre os

tratamentos, o que reforça o fato de que a presença do animal não causa prejuízos a qualidade física do solo.

Após a cultura do milho no ano de 2018, foi observada aumento linear da densidade do solo na camada de 0-5 cm (**Figura 9**). A dose de 225 kg N ha⁻¹ apresentou Ds de 1,02 Mg cm⁻³ enquanto sem N apresentou a menor densidade, 0,87 Mg cm⁻³. Para a variável pastejo, as áreas que receberam apenas a lavoura apresentaram menores médias em comparação às áreas de ILP.

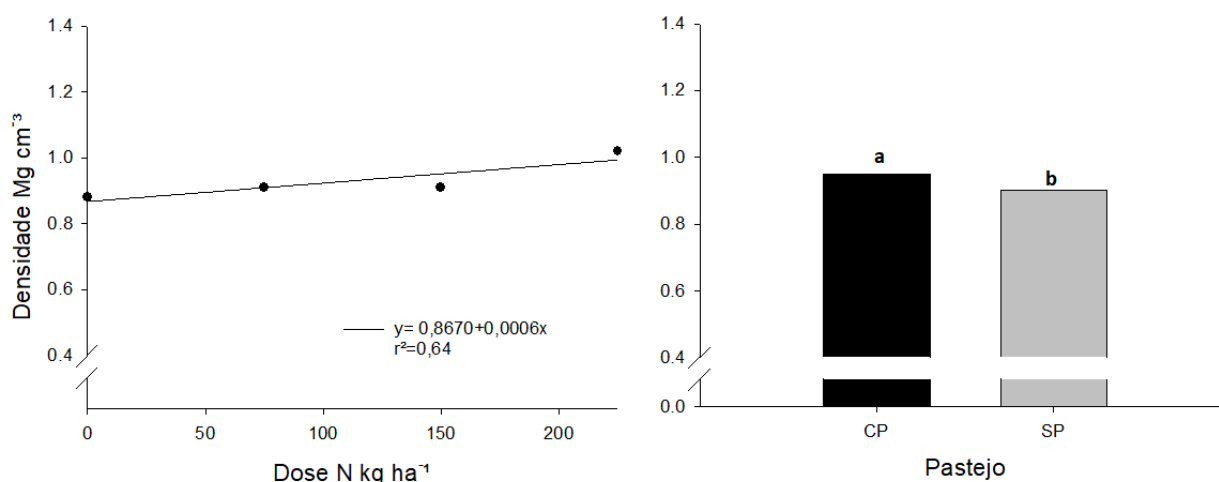


Figura 9: Densidade do solo (Ds), após a cultura do milho (2018) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio e pastejo, na camada de 0-5 cm.

Apesar deste incremento observado na Ds, Voorhess et al. (1989) estudando o aumento da Ds na produtividade do milho, concluiu que em situações de maior Ds podem não ser prejudiciais a cultura, e sim as condições climáticas.

A Microporosidade na camada superficial também sofreu alterações em função dos tratamentos, contudo, sem interação entre N e pastejo (**Figura 10**). Em relação as outras doses de N, o tratamento de 150 kg de N ha⁻¹ apresentou a menor taxa de Mi (0,37 m³m⁻³), sendo observado nesta dose aumento na quantidade de macroporos (0,36 m³m⁻³).

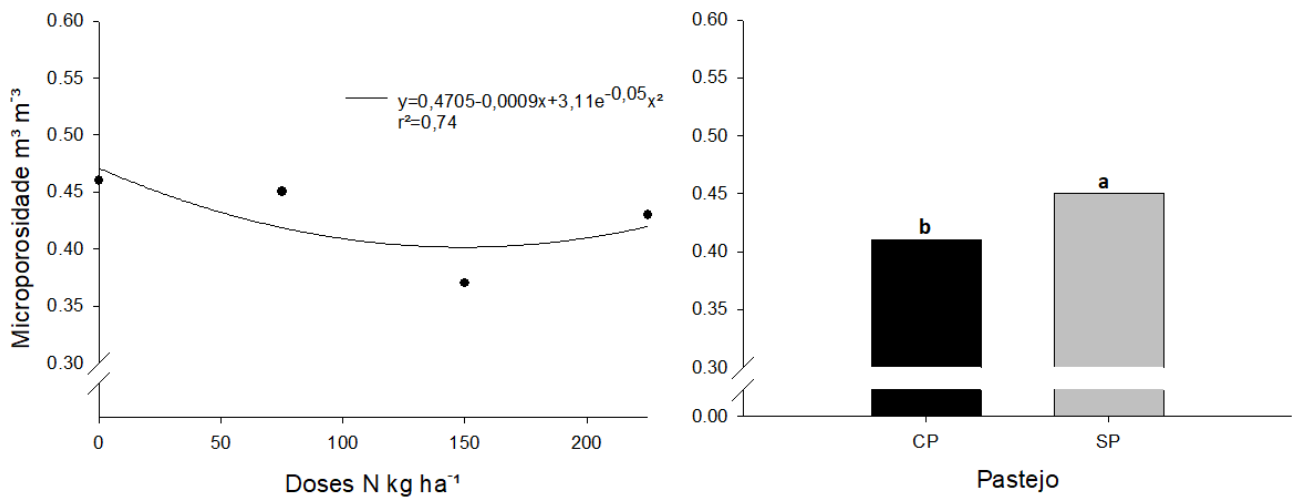


Figura 10: Microporosidade do solo (Mi), após a cultura do milho (2018) no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio e pastejo, na camada de 0-5 cm.

Este resultado pode ter colaborado para o aumento encontrado nas áreas SP que apresentaram maior média de Mi em relação àquelas que receberam a ILP (CP). Essa alteração na relação entre os macro e microporos deve-se ao aumento do volume de Ma, que é fortemente influenciada por alterações na Ds.

Na camada de 5-10 cm o pastejo influenciou a Ds (**Figura 11A**) e Pt (**Figura 11B**). Em comparação, as áreas CP apresentaram maior densidade e menor porosidade total do que as áreas SP. A menor porosidade total na área com pastejo pode ser atribuída ao efeito da compactação do solo, uma vez que a densidade foi maior nestas áreas. Resultados semelhantes foram encontrados por Lanzaova et al. (2007), ao avaliar diferentes sistemas de manejo de pastagem em ILP com bovinos em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

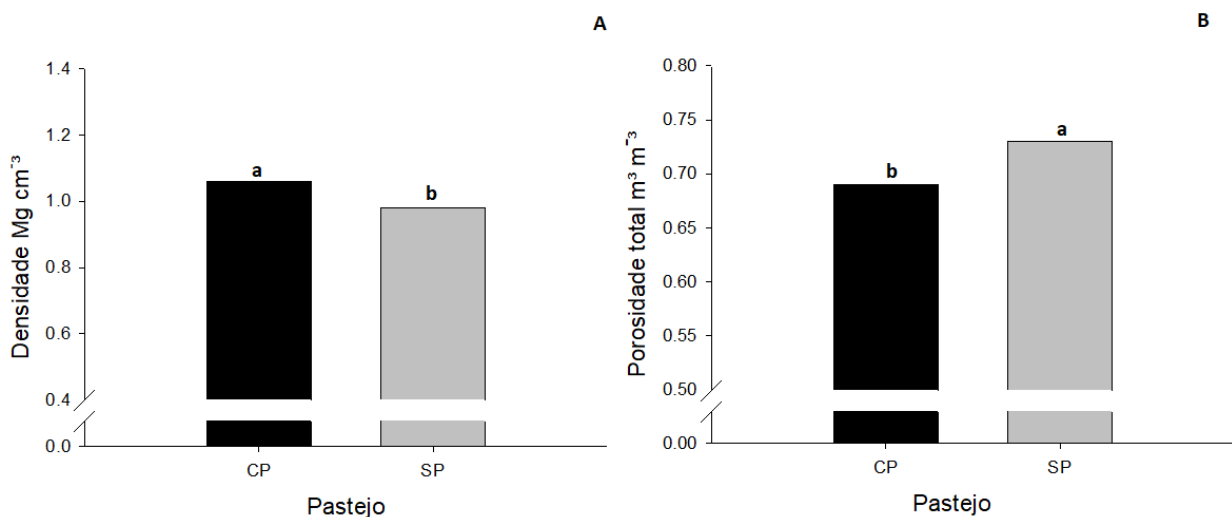


Figura 11: Densidade do solo (Ds) (A) e Porosidade Total (Pt) (B), após a cultura do milho (2018) no sistema integração lavoura-pecuária em função do pastejo, na camada de 5-10 cm

Na camada de 10-15 cm (**Figura 12**) todos os atributos avaliados demonstraram diferença significativa para o tratamento pastejo. As áreas CP apresentaram maiores valores de Ds e Mi e diminuição da Pt e Ma em comparação com as áreas SP.

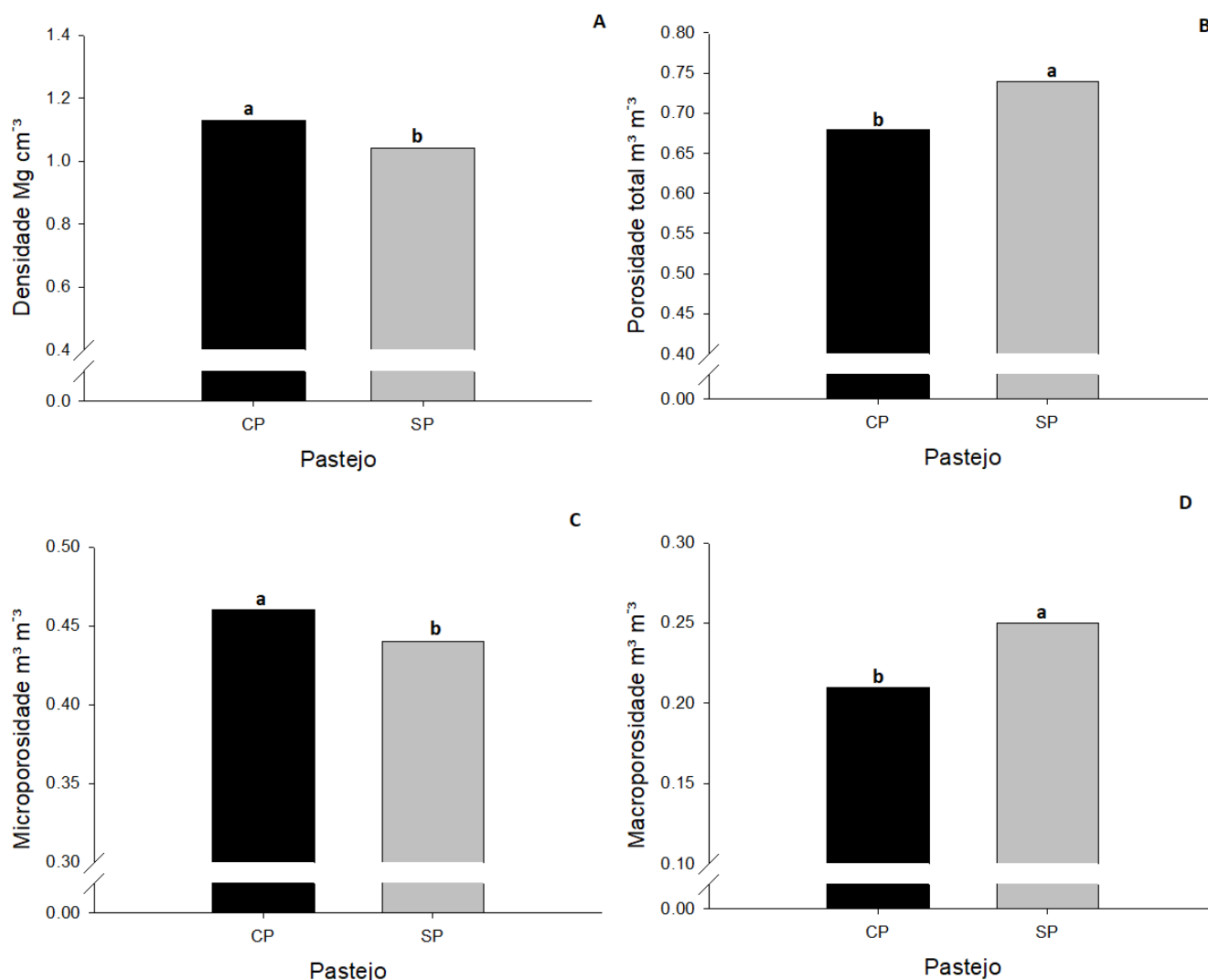


Figura 12: Densidade do solo (A), Porosidade total (B), Microporosidade do solo (C) e Macroporosidade do solo (D) após a cultura do milho (2018) no sistema integração lavoura-pecuária em função do pastejo, na camada de 10-15 cm.

Em comparação com a época pós-pastejo, percebe-se que não houve alteração no volume de macroporos, onde as médias para as áreas CP mantiveram-se em 0,21 m³m⁻³. Segundo Mello (2002) este comportamento de

aumento da densidade sem alteração na quantidade de macroporos, caracteriza apenas o adensamento da camada, condição em que não há prejuízo para o desenvolvimento das plantas.

Na análise de cluster hierárquico dos anos 2017/2018, pós-feijão, pós-pastejo e pós-milho, constatou-se a formação de três grupos, onde os tratamentos foram agrupados com base no grau de semelhança. A faixa de corte foi feita em 70% (**Figura 13**), onde o primeiro grupo foi formado pelos tratamentos 0, 75 e 225 NCP-F e de 75 e 150 NSP-F; o grupo 2 foi formado pelos tratamentos 0NSP-P, 75NSP-P, 150NSP-P, 225NSP-P, 0NCP-P, 75NCP-P, 150NCP-P, 225NCP-P, 0NSP-F, 150NCP-F, 225NSP-F, 0NCP-M e 75CM-P; os tratamentos nas doses de 0, 75, 150 e 225 NSP-M e de 150 e 225 NCP-M, formando o grupo 3.

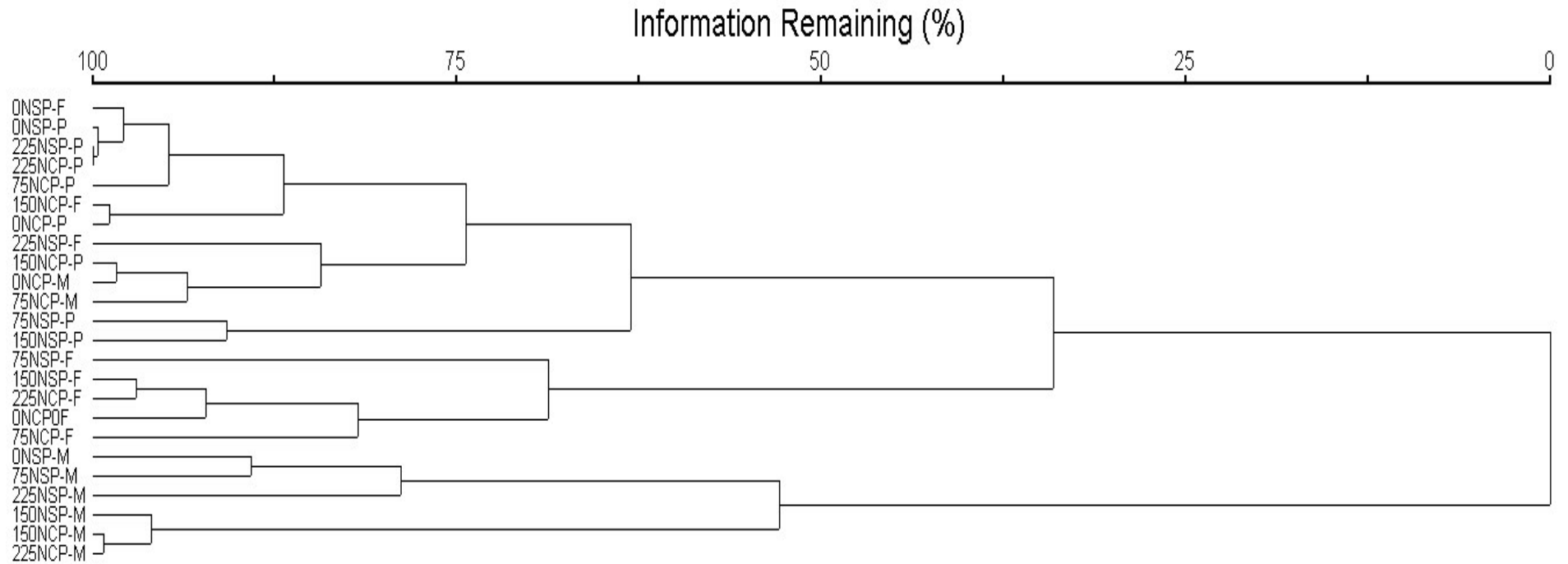


Figura 13: Cluster hierárquico em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N, 150N e 225N kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P) em pastagem de aveia consorciada com azevém (2017) e cultura cultura do feijão (F) (2017) e após a cultura do milho (M) (2018). Guarapuava, PR.

Na ACP o componente principal 1 (CP 1) representou 51,97% da variância total, o CP 2 15,37 %, totalizando a variância acumulada de 67,347%.

Os pesos entre as variáveis e os componentes principais permitiram, caracterizar as variáveis que mais discriminaram a adubação com N e o manejo adotado. No eixo 1, as variáveis Mi 10-15, Pt 5-10, Ma 5-10 e Pt 0-5 apresentaram autovetores positivos e Ma 0-5 e de 10-15, além de Pt 10-15, apresentaram autovetores negativos. Já no eixo 2, o autovetor de Mi 0-5 foi positivo e o Mi 5-10 foi negativo (Figura 14).

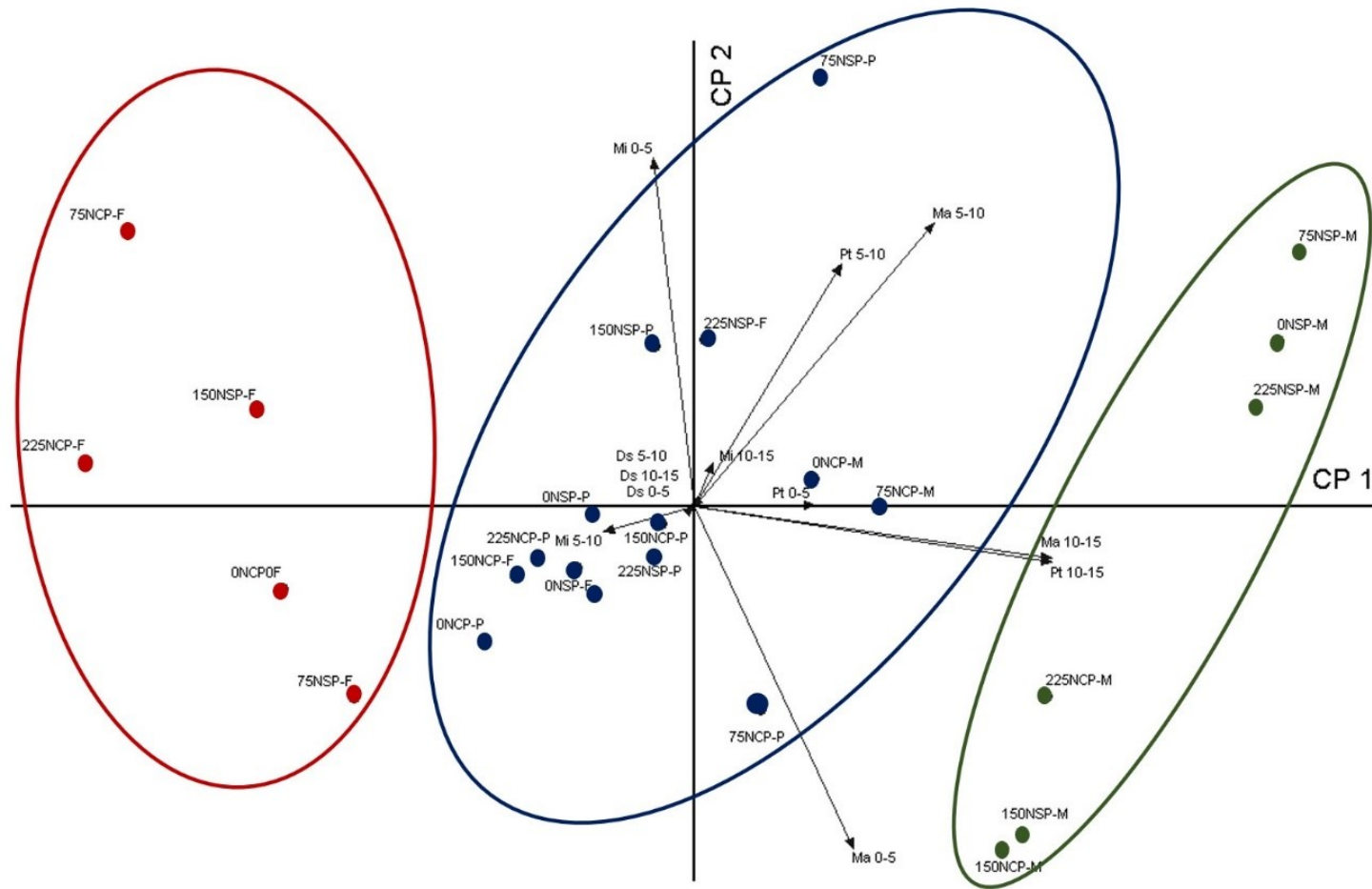


Figura 14: Análise dos Componentes Principais (ACP) para os atributos físicos do solo em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), após cultura do feijão (F) e após cultura do milho (M), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Ds = densidade do solo, Ma= macroporosidade, Mi= microporosidade, Pt= porosidade total. Guarapuava, PR.

A análise de componentes principais (**Figura 14**) reafirmou os agrupamentos observados no cluster hierárquico, com nítida separação de três grupos, onde o primeiro grupo foi formado por 0NCP-F, 75NCP-F, 75NSP-F, 150NSP-F E 225NCP-F, o segundo grupo foi constituído por 0NCP-P, 75NCP-P, 225NCP-P, 0NSP-P, 75NSP-, 150NSP-P, 225NSP-P, 0NSP-F, 150NCP-F, 225NSP-F, 0NCP-M e 75NCP-M, e o terceiro grupo composto por 0NSP-M, 75NSP-M, 150NPS-M, 150NCP-M e 225NSP-M. Assim como constatado no anos de 2010/2011, a Ds do solo nos anos de 2017/2018 nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm não apresentaram relação com nenhum tratamento nas três épocas de avaliação.

A cultura do feijão demonstrou pouca influência nos atributos físicos avaliados, apresentando uma relação de baixa magnitude dos tratamentos 150NCP-F e 0NSP-F sobre a Mi da camada de 5-10 cm. Foi visualizado também a falta de influência dos demais tratamentos (75NCP-F e 225NCP-F e de 75NSP-F e 150NSP-F) aos atributos do solo, que não se relacionaram com nenhum atributo, independente da camada avaliada. Este resultado evidencia, que apesar das diferenças estatísticas encontradas anteriormente, estas não foram suficientes para exercer alterações significativas nos atributos do solo, principalmente em alterações na Ds, provavelmente devido ao seu ciclo mais curto, mas que, no entanto, permite maior uso da pastagem.

Assim como na cultura do feijão, a época de pós-pastejo também não apresentou fortes relações com os atributos do solo, principalmente com a Ds e Ma, que são os atributos mais afetados quando há a compactação do solo devido ao pisoteio animal. Estes resultados são promissores, pois evidenciam que o animal no sistema, não proporciona compactação do solo.

Entretanto após a cultura do milho, os tratamentos 0NSP-M, 75NSP-M, 150NSP-M, 150NCP-M, 225CP-M e 225NSP-M apresentaram forte relação com a Ma da camada de 0-5 cm, e, Pt e Ma da camada de 10-15 cm. Estes resultados evidenciam apesar da presença do pastejo, a ação da cultura do milho sobre a macroporosidade da camada superficial, principalmente nas maiores doses de N (150 e 225 kg de N ha⁻¹). Outro fato a ser considerado é o crescimento vigoroso das raízes da cultura, que podem ter aproveitado os canais criados pela forragem utilizada durante o pastejo, e assim influenciado as demais variáveis.

Além disso, o uso da cultura do milho em sistema de plantio direto pode ter influenciado diretamente os resultados encontrados, uma vez que este manejo permite maior acúmulo dos resíduos vegetais na superfície do solo, promovendo aumento da matéria orgânica do solo (BAYER et al. 2000; AMADO et al. 2001). Da mesma forma, o uso de sistema rotacionado de culturas permite a alternância de sistemas radiculares, que exploram diferentes profundidades do solo e auxiliam na recuperação/manutenção das características físicas, químicas e biológicas do solo (CHIODEROLI et al. 2012; MENDONÇA et al. 2013), demonstrando a importância da cultura do milho em sistema ILP.

3. CONCLUSÕES

As propriedades físicas do solo, não apresentaram valores limitantes para o desenvolvimento das culturas, principalmente no que se refere a macroporosidade e densidade do solo. Este resultado, demonstra que a presença do animal no sistema, não causa compactação do solo até 15 cm de profundidade.

Independente da dose de nitrogênio utilizada, não foram constatadas diferenças significativas nos atributos físicos do solo após o pastejo nas áreas CP e SP.

O milho em sistema ILP auxilia no incremento da macroporosidade nas camadas superficiais, demonstrando a importância da rotação de culturas no sistema.

CAPÍTULO 2: Resistência à penetração do solo em um Sistema de Integração Lavoura –Pecuária com diferentes Doses de Nitrogênio

1 INTRODUÇÃO

A resistência do solo à penetração (RP) é um dos atributos físicos que está diretamente ligada com o crescimento e desenvolvimento das plantas (LETEY, 1985). Solos com valores excessivos de RP influenciam diretamente no crescimento, diâmetro das raízes e na direção do crescimento radicular (MEROTTO & MUNDSTOCK, 1999). Este atributo é considerado o mais adequado para a avaliação do crescimento das plantas, devido a fisiologia do crescimento das raízes, que se dá via divisão das células meristemáticas, que ao aumentar o turgor da célula proporciona o crescimento, aumentando a ponta da raiz, assim, se a resistência do solo for maior que a força do turgor da célula, o crescimento radicular é prejudicado (MELLO, 2002).

Alguns estudos (MASLE & PASSIOURA, 1987; MASLE & FARQUHAR, 1988) demonstraram que a RP também influencia diretamente no crescimento da parte aérea das plantas e na partição de carboidratos, uma vez que, com a redução do sistema radicular, a absorção da água e outros compostos orgânicos essenciais às plantas diminui, e torna a planta mais suscetível a déficits hídricos, além de diminuir a sustentação e restringir a exploração dos nutrientes a um pequeno volume do solo (MELLO, 2002).

A resistência a penetração, apesar de ser um importante atributo físico na avaliação da qualidade física do solo, varia de acordo com o tipo de solo e espécie cultivada e outros indicadores da compactação do solo (STEFANOSKI et al. 2013). Segundo Marchão et al. (2007) a umidade do solo no momento da avaliação exerce grande influência na RP, apresentando relação inversamente proporcional aos valores de resistência.

Em sistemas integrados, a maior preocupação está nos possíveis impactos negativos do pisoteio animal nas culturas sucessoras. Trabalhos como de Albuquerque, Sangoi e Ender (2001) apontaram a presença animal como principal causa do aumento da RP e causa da degradação do solo. Entretanto, para Cassol (2003) os efeitos do pisoteio animal é limitado as camadas superficiais, sendo temporário e reversível.

Assim, o presente capítulo tem como objetivo avaliar a evolução da resistência à penetração do solo em um sistema de integração lavoura-pecuária em um solo Latossolo Bruno álico em sistema ILP.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi iniciado em junho de 2006 área experimental do campus da Universidade Estadual do Centro-Oeste, localizada no município de Guarapuava- PR, com coordenadas geográficas são 25°33' latitude Sul e 51°29' longitude Oeste e de 1095 m. O solo da região é classificado como Latossolo Bruno álico, de relevo suave ondulado e substrato de rochas basálticas (Embrapa, 2006) de textura argilosa. O Clima da região é do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen (Alvares et al. 2013), com temperatura no mês mais frio abaixo de 18°C e no mês mais quente abaixo de 22°C. A precipitação anual varia entre 1400 a 1800 mm.

Antes da implantação do sistema de integração lavoura-pecuária em abril de 2006, a área experimental era utilizada em sistema de plantio direto, com produção de milho para silagem após o pousio no inverno. Desde de 2006, a área vem sendo utilizada com cultivo de aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta comum (*Avena strigosa*) e Azévem comum (*Lolium multiflorum*) no inverno e rotação de milho e feijão para produção de grãos. No Quadro I são apresentadas as sucessões de culturas realizadas até o verão 17/18.

Quadro 1: Sucessão de cultura realizadas entre 2006 e 2018.

| <i>Estação</i> | <i>Culturas</i> |
|----------------------|-----------------|
| <i>Inverno 2010</i> | Azevém e aveia |
| <i>Verão 2010/11</i> | Feijão |
| <i>Verão 16/17</i> | Feijão |
| <i>Inverno 2017</i> | Centeio |
| <i>Verão 17/18</i> | Milho |

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal foi constituída pelas dosagens de nitrogênio (N), sendo 0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹, utilizando a ureia como fonte de N. Nas subparcelas casualizou-se o fator pastejo, com e sem. Em cada parcela principal isolou-se um área de aproximadamente 96 m² que permaneceu sem pastejo, enquanto o restante da área foi pastejada com ovinos da raça Ile

de France, com lotação contínua, taxa de lotação variável, onde mantinha-se a altura média de pastagem de 14 centímetros (cm).

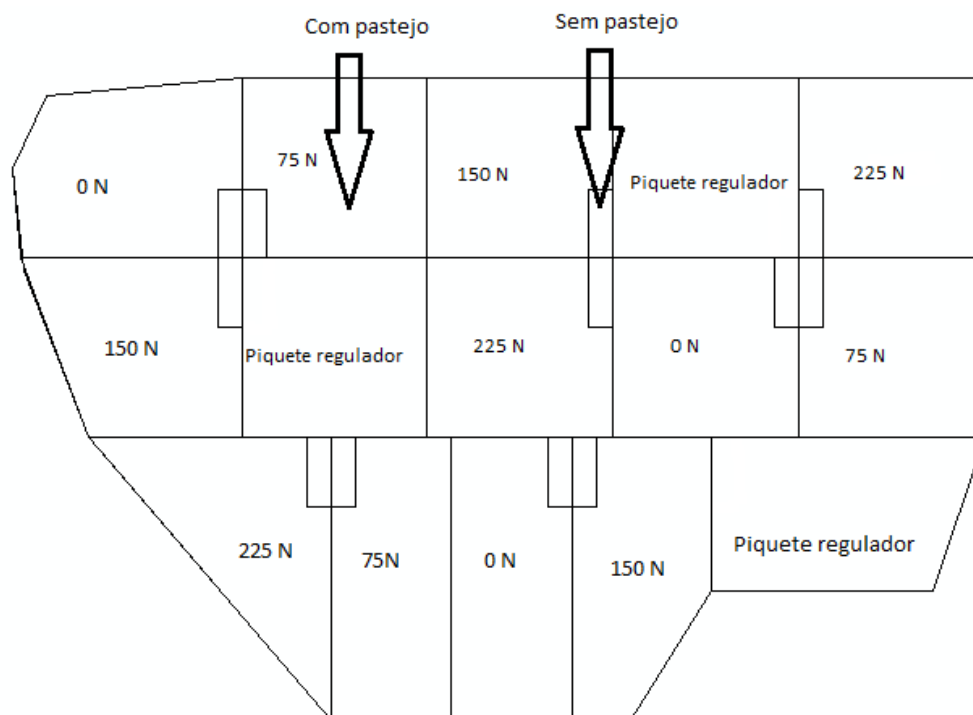


Figura 1: Croqui da área experimental com ILP no município de Guarapuava, PR. 0N: sem nitrogênio; 75N: 75 kg ha⁻¹ de N; 150N: 150 kg ha⁻¹ de N; 225N: 225 kg ha⁻¹ de N
Fonte: O autor, 2019.

No ano de 2006 assim como os demais anos de experimento, a semeadura da pastagem foi efetuada em sistema de plantio direto. A adubação foi realizada conforme as Recomendações De Adubação E Calagem Para Os Estados Do Rio Grande Do Sul (1995). Após 35 dias após a semeadura (DAS), foi realizada a aplicação da ureia em cobertura, de acordo com os tratamentos.

O pastejo com ovinos durou em média de 90 a 120 dias, conforme o ano. Foram utilizados ovinos, que foram distribuídos aleatoriamente em doze lotes de seis cordeiros nas parcelas e mantidos na pastagem, em sistema de lotação contínua e carga variável, afim de manter a altura da pastagem entre 14 e 15 cm de altura.

Cerca de 20 a 30 dias antes da semeadura da cultura do feijão ou milho, os animais era retirados da área, com posterior dessecação da pastagem com 2,5 L ha⁻¹ de *glyphosate*. Após este período a semeadura das culturas (milho e feijão, conforme o ano de cultivo) era realizada, e a adubação e o controle de plantas daninhas era realizada conforme recomendação técnica.

A determinação da resistência do solo a penetração foi realizada juntamente com a avaliação dos atributos físicos do solo, com o auxílio do penetrômetro penetroLOG – Medidor Eletrônico de Compactação do Solo, com leituras realizadas a cada centímetro, até a profundidade de 60 cm. Os dados foram coletados com auxílio de uma trena milimetrada, onde nas áreas com e sem pastejo a distância entre os pontos foi de nove metros. A umidade gravimétrica do solo foi determinada no mesmo momento, onde foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, sendo secas posteriormente em estufa a 105°C por 48 horas. Para a criação dos mapas de RP, foram utilizadas as médias das profundidades de 0-5 e 5-10 cm, após foram calculadas as coordenadas locais, e os dados foram interpolados pelo programa R-Studio® a fim de obter a krigagem dos dados, para prosseguir com o mapeamento da resistência a penetração do solo. Os mapas de resistência a penetração foram gerados com auxílio do programa ArcMap®.

Para análise descritiva dos dados, foram calculadas as médias de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm. Os resultados foram submetidos a análises de variância pelo teste F a um nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico R-Bio® (BHERING, L.L. 2017) e, caso apresentassem significância, era realizado o estudo de regressão.

Como análise complementar foi realizada a técnica multivariada cluster hierárquico realizado a partir da distância euclidiana entre os acessos para o conjunto das oito variáveis, juntamente com o uso do algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. Com esta análise, buscou-se verificar as similaridades entre as variáveis analisadas e os tratamentos estudados a partir de agrupamentos homogêneos representados em um dendrograma de similaridade. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma ou cluster hierárquico) que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos, no qual os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, onde se encontram as maiores distâncias em que os grupos foram formados.

A Análise de Componentes Principais (ACP) também foi realizada com o objetivo de reduzir a complexidade das inter-relações de um número grande de variáveis observadas a um número relativamente pequeno de combinações lineares com essas variáveis, que são os componentes principais e, assim,

facilitam a interpretação da importância das variáveis na análise. Para a ACP foram geradas matrizes de dados, onde os tratamentos foram divididos conforme a época de coleta, dose de N e com/sem pastejo, constituída de 48 linhas e 8 colunas, onde. 100SPM, 1075SPM, 10150SPM, 10225SPM para as diferentes doses de N, em áreas sem pastejo (SP) após a cultura do milho no ano de 2010; 100CPM, 1075CPM, 10150CPM, 10225CPM para as diferentes doses de N, em áreas com pastejo (CP) após a cultura do milho no ano de 2010; 100SPP, 1075SPP, 10150SPP, 10225SPP após o pastejo dos animais nas áreas SP no ano de 2010; 100CPP, 1075CPP, 10150CPP, 10225CPP diferentes doses de N, após pastejo em áreas CP no ano de 2010; 110SPF, 1175SPF, 11150SPF, 11225SPF para as diferentes doses de N, em áreas SP após a cultura do feijão no ano de 2011; 110CPF, 1175CPF, 11150CPF, 11225CPF doses de N, em áreas CP, após cultura do feijão no ano de 2011; 170SPF, 1775SPF, 17150SPF, 17225SPF após cultura do feijão em áreas SP em 2017, 170CPF, 1775CPF, 17150CPF, 17225CPF após feijão em áreas CP em 2017; 170SPP, 1775SPP, 17150SPP, 17225SPP após pastejo de centeio em 2017 nas áreas SP; 170CPP, 1775CPP, 17150CPP, 17225CPP após pastejo em 2017 em áreas CP; 180SPM, 1875SPM, 18150SPM, 18225SPM, 180CPM no ano de 2018 para diferentes doses de N, em áreas SP após a cultura do milho; e, 1875CPM, 18150CPM e 18225CPM após cultura do milho em áreas CP no ano de 2018. A análise foi realizada com a utilização do software PC-ORD® v.6 (MCCUNE & MEFFORD, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre as doses de N e com/sem pastejo para a resistência a penetração no ano de 2010 após cultivo do ciclo da lavoura (milho)

Figura 15. Após a colheita do milho no ano de 2010 todas as camadas avaliadas tenderam a apresentar maiores valores de RP nas áreas CP.

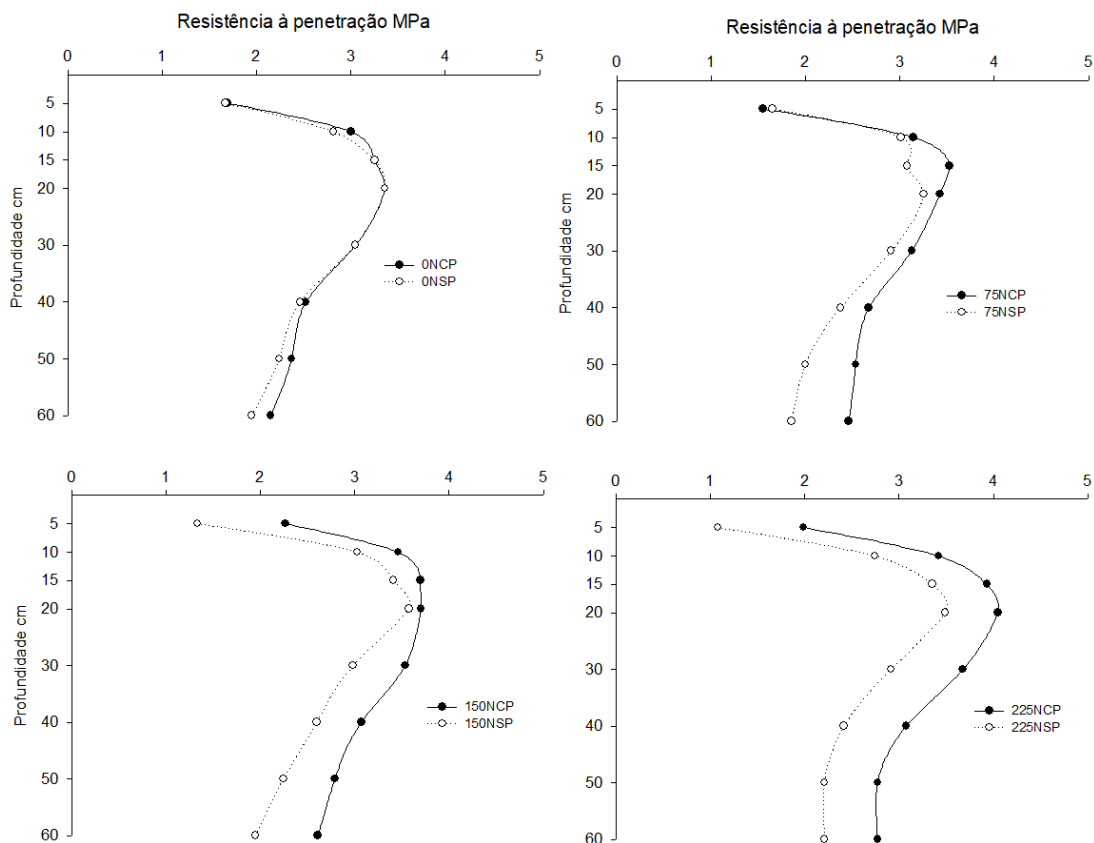


Figura 15: Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após cultivo do milho em 28/05/2010. Guarapuava, PR.

Nota: Umidade do Solo de 0-20 cm: CP ($U_g = 0,2865 \text{ kg kg}^{-1}$); SP ($U_g = 0,2860 \text{ kg kg}^{-1}$).

Na camada de 15-20 cm as áreas CP apresentaram médias em 3,71 MPa e as áreas SP 3,37 MPa. Tavares Filho et al. (2001) estudando a RP e o desenvolvimento radicular do milho sob diferentes sistemas de manejo, demonstraram que valores de RP acima de 3,5 Mpa não restringem o desenvolvimento radicular e a produtividade do milho, influenciando apenas na sua morfologia. Ainda segundo Neiro et al. (2003) os maiores valores de RP encontrados nessa camada são reflexo do tráfego de máquinas agrícolas. Nas demais profundidades, apesar das diferenças significativas encontradas entre as áreas CP e SP, houve tendência a redução nos valores de RP, entretanto, este resultado deve-se às características intrínsecas do solo, que em profundidade são menos influenciados pelo manejo (PEDROTTI et al. 2001, RALISCH et al. 2008).

Após o pastejo no ano de 2010 (**Figura 16**) houve redução da RP. Na camada de 0-5 cm nas áreas CP os valores de RP ficaram em torno de 1.13

MPa. Estes resultados corroboram com os encontrados por Spera et al. (2004) que observaram que a compactação resultante do pisoteio animal não influencia negativamente na RP do solo. Nas camadas de 5-10 e 10-15 cm, as áreas CP e SP diferiram entre si, mas sem atingir o limite de 2 MPa estabelecido por Taylor et al. (1966), considerado como restritivo ao desenvolvimento das plantas

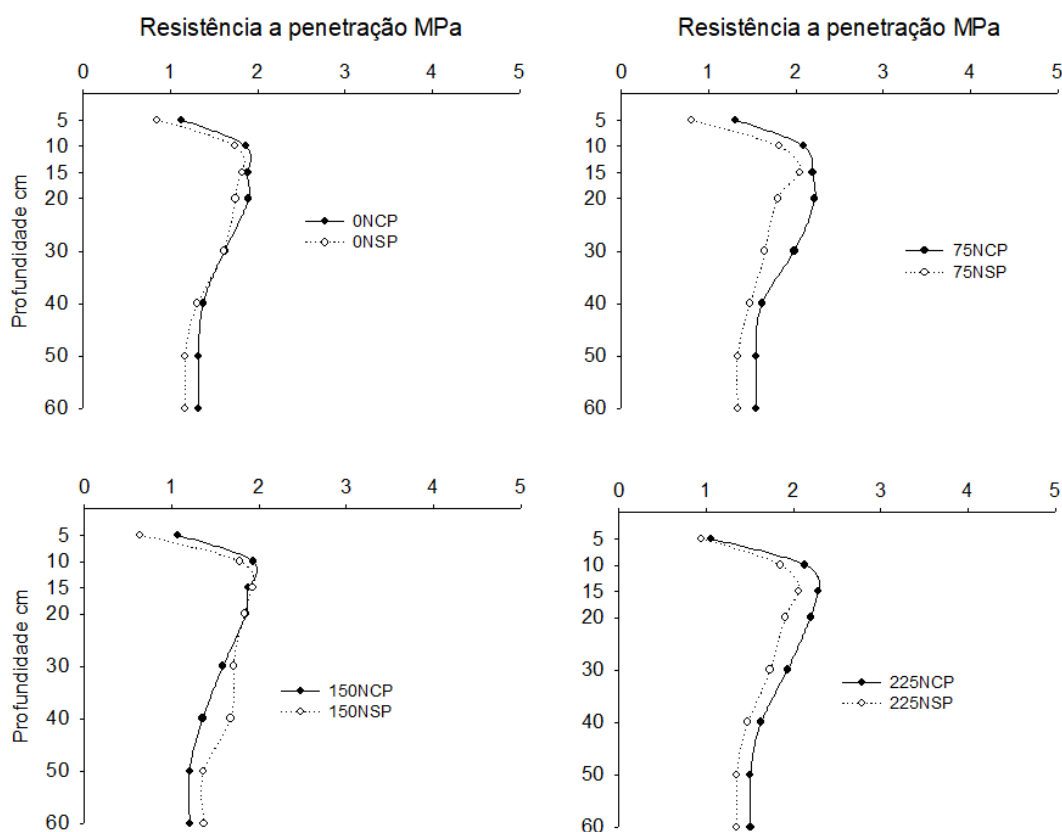


Figura 16: Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após pastejo com ovinos em 29/11/2010. Guarapuava, PR.

Nota: Umidade do Solo de 0-20 cm: CP (Ug = 0,2863 kg kg⁻¹); SP (Ug = 0,2937 kg kg⁻¹).

Na camada de 15-20 cm foi observada diferença significativa para as doses de N (**Figura 17**). Com exceção da dose de 225 kg de N ha⁻¹ as demais doses apresentaram valores abaixo de 2 MPa. Apesar da maior dose de N proporcionar maior intensidade de pastejo, devido a maior produção de forragem, o aumento da RP nesta camada, pode ser atribuído ao efeito residual do tráfego de máquinas agrícolas, uma vez após a cultura do milho (**Figura 15**), na dose de 225 kg de N ha⁻¹ também foi observado maiores valores de RP na

mesma camada. Segundo Genro Junior et al. (2004) as pressões aplicadas pelos rodados de máquinas agrícolas tendem a se acumular na camada de 10-20 cm.

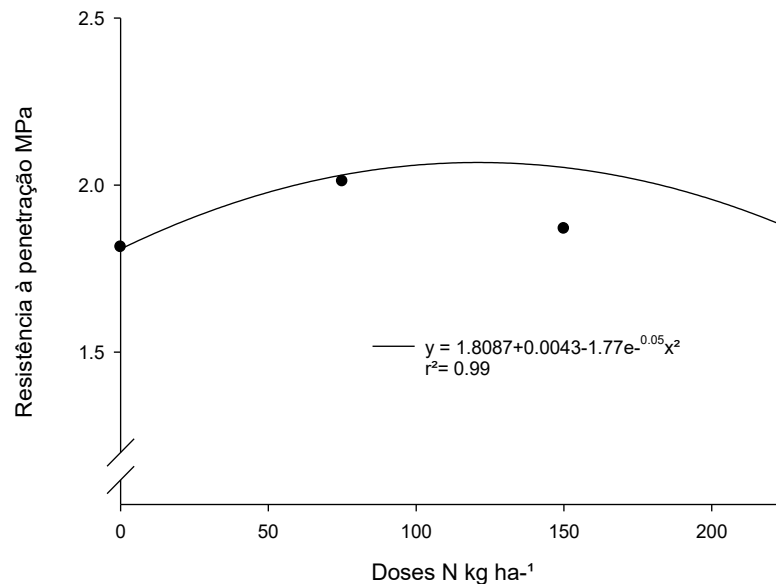


Figura 17: Resistência à penetração do solo, na camada de 15-20 cm após o pastejo no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio no ano de 2010.

Após a cultura do feijão em 2011 (**Figura 18**), houve redução dos valores de RP nas áreas CP quando comparadas com a época pós pastejo em 2010. Este resultado demonstra a capacidade da cultura do feijão em aproveitar os canais criados pela cultura utilizada para o pastejo, possibilitando melhorias nas características físicas dos solo, representadas pela RP nesse trabalho. Segundo Nicoloso et al. (2008) as raízes agem com efeito de escarificação biológica, sendo eficientes em aumentar a macroporosidade do solo, e conseqüentemente diminuir a RP. Ainda segundo Cassol (2003), a compactação do solo devido ao pisoteio animal ocorre nas camadas superficiais, sendo temporárias ou reversíveis, e, sendo dependente do grau de compactação, textura do solo, sistema de pastejo, altura de pastagem e umidade do solo.

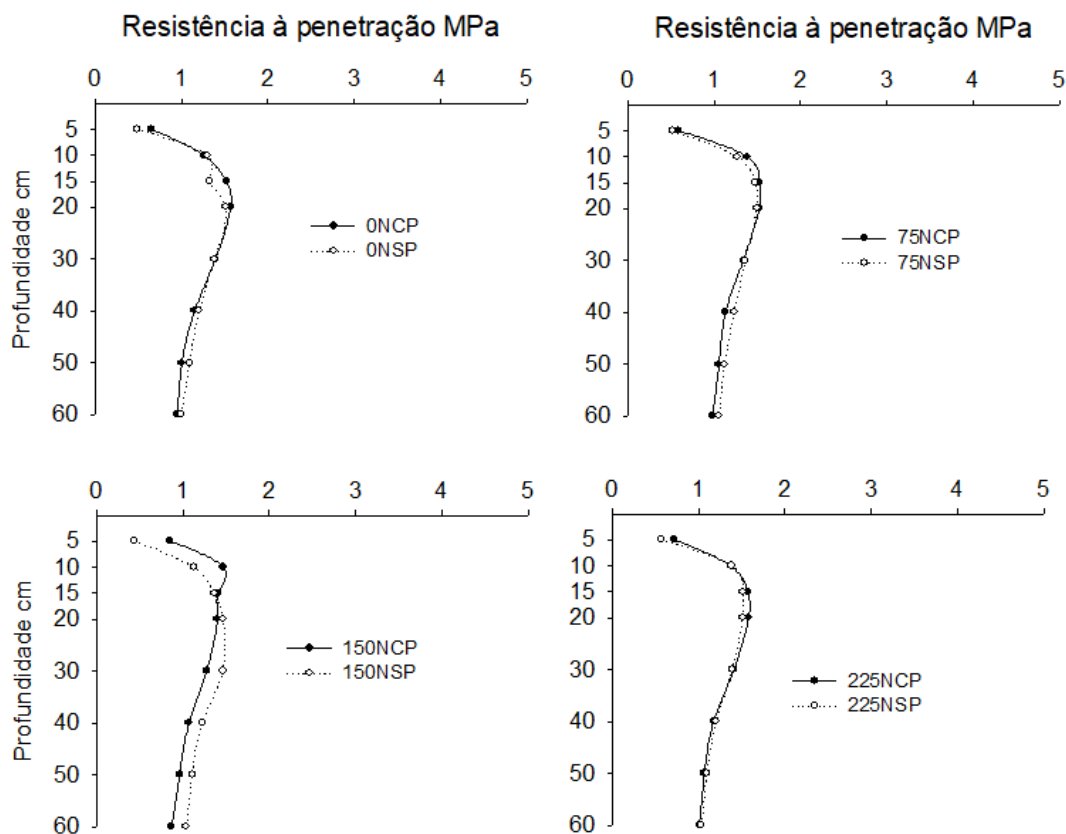


Figura 18: Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após feijão em 21/04/2011. Guarapuava, PR.

Nota: Umidade do Solo de 0-20 cm: CP (Ug = 0,2810 kg kg⁻¹); SP (Ug = 0,2813 kg kg⁻¹).

Apenas na camada de 0-5 cm foi constatado diferença significativa para o pastejo, onde as áreas CP apresentaram médias superiores às áreas SP (0,70 e 0,50 MPa respectivamente), este resultado demonstra que a presença do animal no sistema, apesar de promover leve variação na RP, não é suficiente para prejudicar a cultura sucessora. No que se refere as demais camadas avaliadas, não se observou diferença estatística significativa entre as doses de N e pastejo, estando ambos os tratamentos com valores de RP abaixo de 2 MPa, ou seja, abaixo do limite que pode comprometer o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das espécies (TAYLOR et al.1966).

No ano de 2017, novamente após a cultura do feijão (**Figura 19**), a RP foi diferente nas áreas CP e SP na camada de 0-20 cm. Na camada de 0-5 cm os valores de RP ficaram abaixo de 1 Mpa.

Houve incremento da RP a partir da camada de 5 cm, onde a Ds foi maior e Pt menor. Este comportamento foi visualizado até a camada de 15 cm, onde os valores de RP começaram a reduzir. Lima et al. (2010) estudando a produtividade das culturas e a resistência a penetração em Argissolo Vermelho sob diferentes manejos, concluíram que valores de RP em 1,7 Mpa são críticos para a produtividade do feijão. No entanto trabalhos como de Carvalho et al. (2006) relatam que RP entre 1,3 e 2,9 Mpa não restringem a produtividade do feijão em um Latossolo.

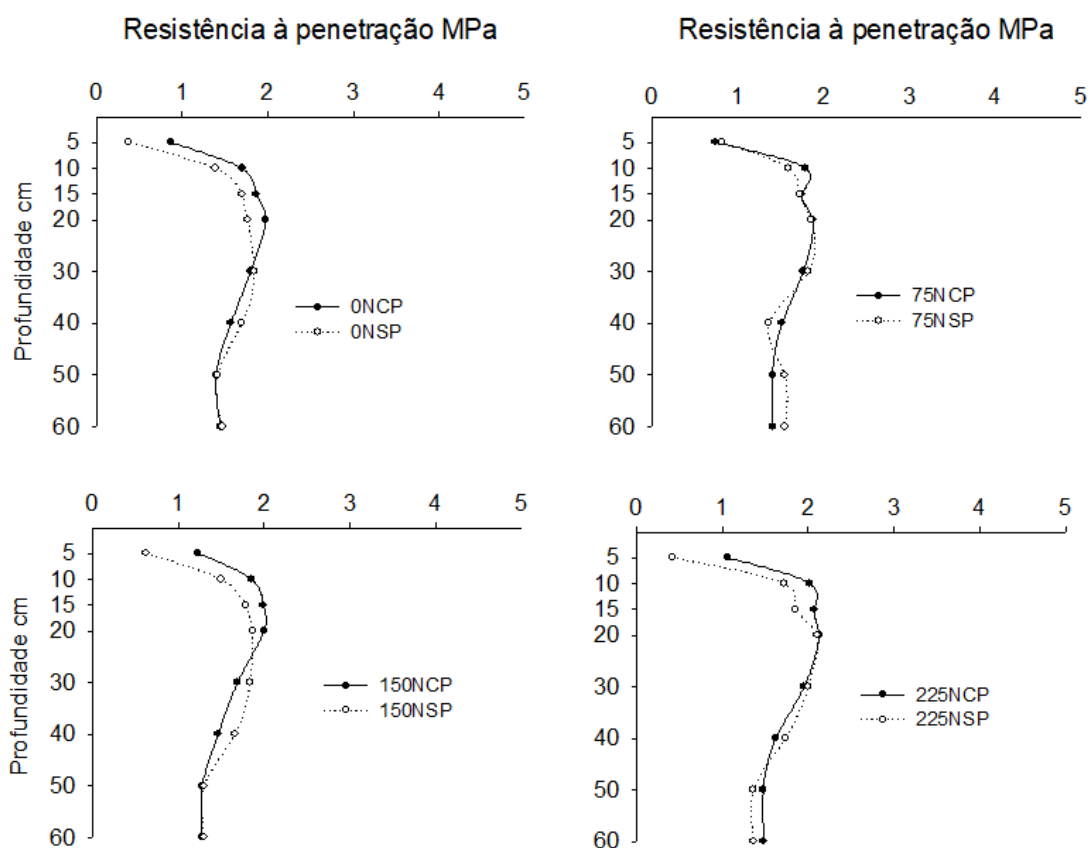


Figura 19: Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após feijão em 29/04/2017. Guarapuava, PR.

Nota: Umidade do Solo de 0-20 cm: CP (Ug = 0,3931 kg kg⁻¹); SP (Ug = 0,4034 kg kg⁻¹)

Menores valores de RP encontrados na camada de 0-5 cm podem estar associado à maior Pt do solo que permite o desenvolvimento adequado das raízes (BOONE & VEEN; 1994). Aos 15 cm, o valores de RP demonstraram acréscimo em relação as demais camadas avaliadas. Resultados similares foram encontrados por Silva et al. (2000) que estudando a resistência mecânica

do solo a penetração após o tráfego de colhedora, encontraram maiores valores de RP na camada de 7,5 a 17,0 cm. Entretanto, segundo Tavares Filho & Tessier (2009), em condições de maior umidade, o crescimento radicular ocorre, mesmo com valores de RP superiores a 4,0 MPa.

Após o pastejo no ano de 2017 (**Figura 20**) não foram observados valores limitantes, com redução dos valores de RP principalmente nas áreas pastejadas na camada superficial do solo. Entretanto houve interação entre doses de N e com/sem na camada de 0-5 cm após o pastejo dos animais no ano de 2017 (**Figura 21**).

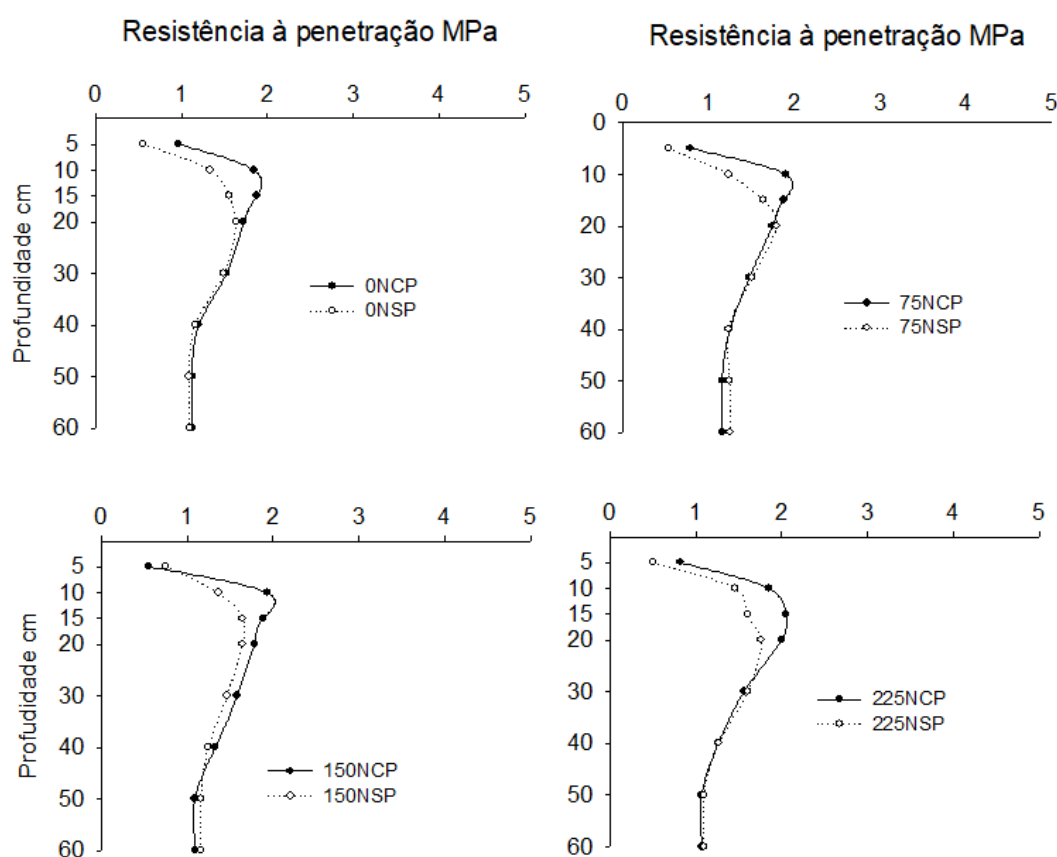


Figura 20: Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após pastejo em 02/11/2017. Guarapuava, PR.

Nota: Umidade do Solo de 0-20 cm: CP (Ug = 0,3807 kg kg⁻¹); SP (Ug = 0,4118 kg kg⁻¹)

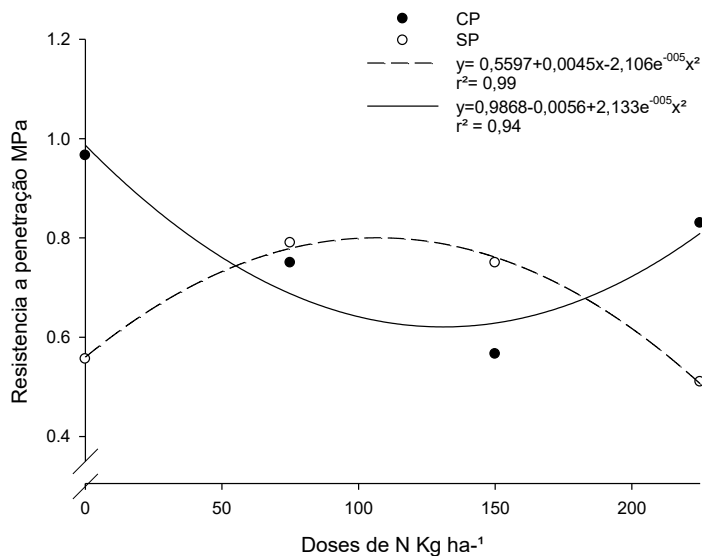


Figura 21: Interação presença do pastejo e doses de N após pastejo do centeio na camada de 0-5 cm no sistema integração lavoura-pecuária. Guarapuava-PR.

Nas doses 0 e 225 kg de N ha⁻¹, a RP foi superior nas áreas pastejadas comparativamente as áreas sem pastejo, este resultado demonstra que a presença dos animais nas áreas com maior dose de N é similar ao encontrado na dose zero, devido a maior intensidade de pastejo, promovida pela maior oferta de forragem. Apesar das diferenças encontradas, os valores de RP ficaram abaixo de 1,00 MPa, sendo consideradas baixas segundo a classificação de Arschad et al. (1996). Resultados similares foram encontrados por Marchão et al. (2007), que avaliando a qualidade física do solo em ILP em comparação com sistemas de plantio direto, convencional, pastagem contínua e lavoura contínua, verificou aumento na resistência à penetração do solo devido ao pisoteio animal, mas sem limitação para a produção dos cultivos subsequentes. Observou-se também que a dose de 150 kg de N ha⁻¹ proporcionou menor RP do solo nas áreas CP, enquanto a dose de 75 kg de N ha⁻¹ apresentou resultados semelhantes para CP e SP

Após a cultura do milho no ano de 2018 (**Figura 22**) não foi visualizada interação entre dose de N e com/sem pastejo. Nas camadas de 0-5 cm e 10-15 cm os valores de RP não ultrapassaram 2 MPa e não apresentaram diferenças entre com e sem animais no inverno. Entretanto a camada subsuperficial (5-10 cm) apresentou diferença para CP e SP, onde nas áreas que tiveram a presença dos animais durante o inverno, apresentaram maiores valores de RP.

Apesar das diferença encontradas nas áreas CP e SP, em comparação com o pós-pastejo, notou-se redução no valores de RP na camada de 0-10 cm de solo. Este resultado corrobora com o encontrado por Coimbra et al. (1997) que ao avaliar o impacto do animal no solo, em áreas de ILP com SPD, demonstraram que os efeitos do pisoteio animal é revertido pela cultura do verão, no caso, a cultura do milho.

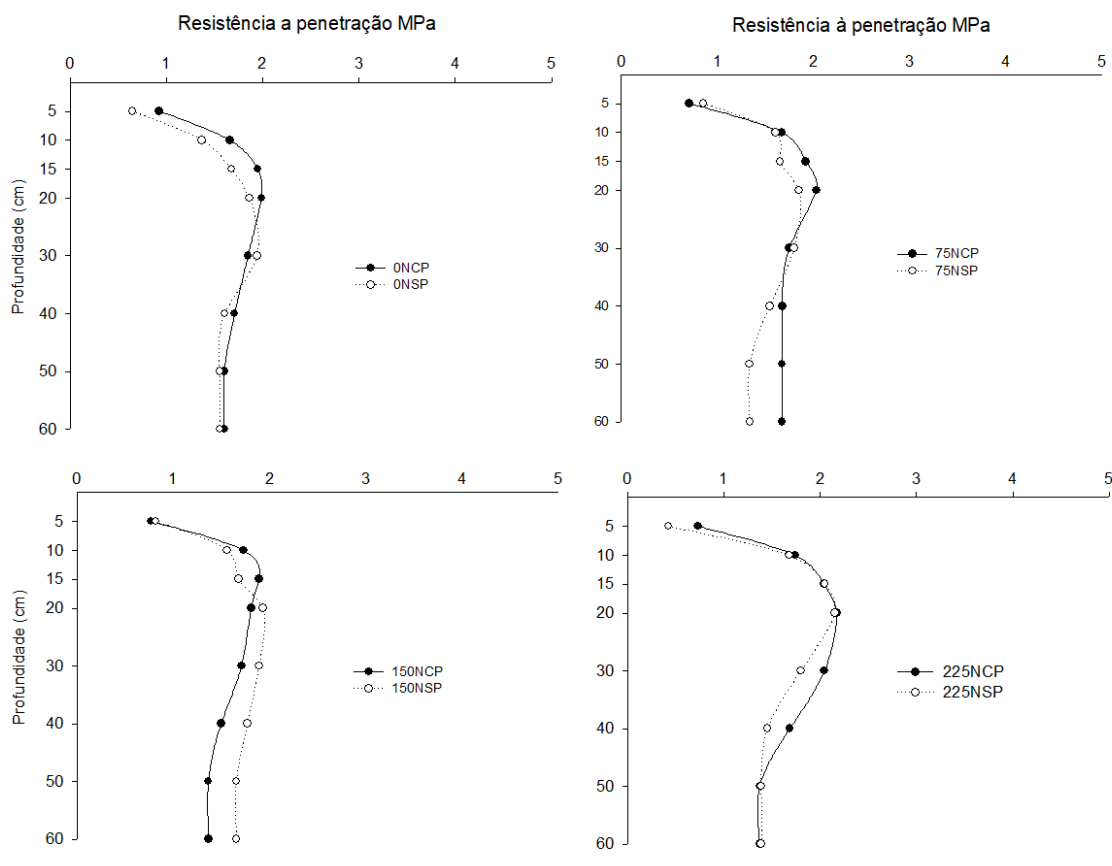


Figura 22: Resistência a penetração do solo (MPa) no sistema de integração lavoura-pecuária sob doses de nitrogênio na pastagem de inverno (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹) e a utilização ou não do pastejo, na camada de 0-60 cm de profundidade, após milho em 09/06/2018. Guarapuava, PR.

Nota: Umidade do Solo de 0-20 cm: CP (Ug = 0,4127 kg kg⁻¹); SP (Ug = 0,4390 kg kg⁻¹)

Na camada de 15-20 cm houve diferença significativa para as doses de N (**Figura 23**), onde a dose de 225 kg de N ha⁻¹ apresentou maiores valores de RP. Estes resultados confirmam os encontrados na avaliação de Ds, que demonstraram maiores valores em áreas CP na camada de 15-20 cm, mas sem alteração da macroporosidade, o que caracteriza apenas o adensamento da camada, provavelmente devido ao tráfego de máquinas agrícolas.

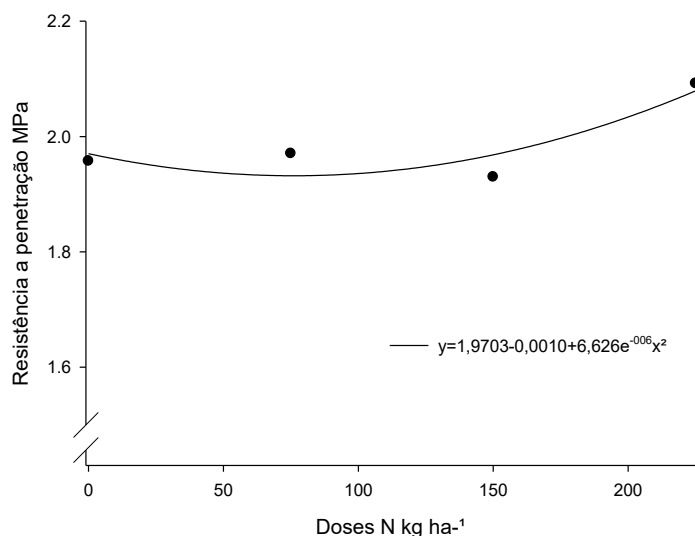


Figura 23: Resistência à penetração do solo na camada de 15-20 cm após a cultura do milho, no sistema integração lavoura-pecuária em função das doses de nitrogênio no ano de 2018.

Contrariando os resultados de Bonini et al. (2016) que avaliou os atributos físicos do solo em SIPA e concluiu que os valores de RP tendem a aumentar em profundidade devido a diminuição dos teores da matéria orgânica do solo, neste trabalho os valores de RP diminuíram a partir dos 20 cm de profundidade em todas as épocas avaliadas.

A partir do resultado obtido através do semivariograma, foi possível interpolar os dados por krigagem e construir os mapas de contorno da RP. Na camada de 0-5 cm (**Figura 24**) os valores de RP foram menores do que os observados nas camadas subsequentes.

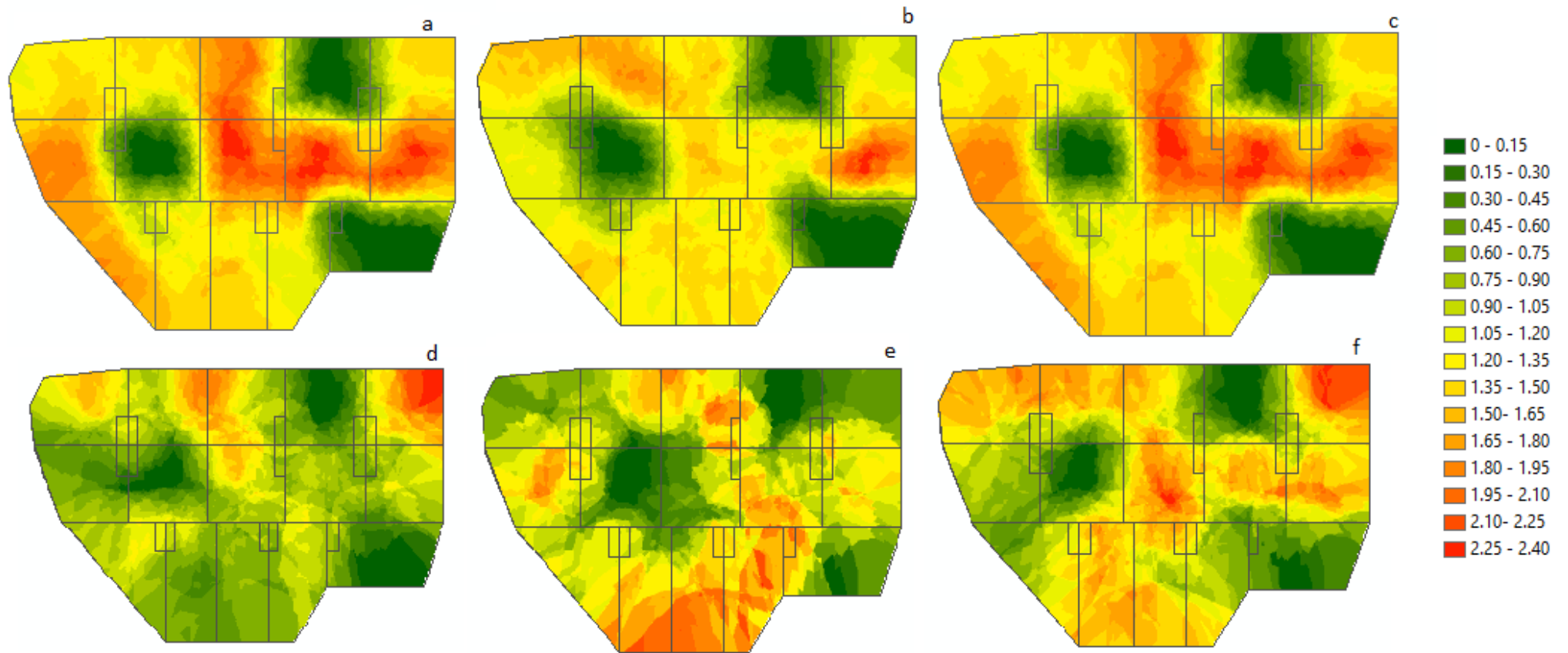


Figura 24: Resistência à penetração do solo (MPa) após a) cultura do milho no ano de 2010; b) pastagem de aveia e azevém no ano de 2010; c) cultura do feijão no ano de 2011; d) cultura do feijão no ano de 2017; e) pastagem de centeio no ano de 2017 e f) cultura do milho no ano de 2018 na camada de 0-5 cm. Guarapuava, PR.

Após o pastejo (**Figura 24b**) no ano de 2010 os mapas demonstraram que a presença do animal não causou compactação do solo, sendo observado redução na RP do solo em comparação com os resultados encontrados após as culturas que antecederam e sucederam o pastejo (**Figuras 24a e 24c**). Este resultado pode ser atribuído ao sistema radicular do azevém, uma vez que a descompactação em sistemas ILP pode ser obtida biologicamente através do sistema radicular da pastagem (MORAES et al. 2002). Da mesma forma, a produção da parte aérea e de raízes proporcionada pelas doses de N, possibilita aumento da matéria orgânica do solo, que auxilia na redução do grau de compactação do solo (DEBIASI et al. 2008).

Entretanto, no ano de 2017 após o pastejo, foi possível visualizar na camada de 0-5 cm o efeito do pisoteio animal. Em comparação com a época pós-feijão no ano de 2017 (**Figura 24d**) e pós-milho (**Figura 24f**), a época pós-pastejo dos animais apresentou maior RP na camada superficial. Estes resultados demonstram a capacidade das culturas na recuperação do solo após o pastejo. Ainda segundo Neiro et al. (2003) os menores valores de RP na camada de 0-5 cm podem ser atribuídos a heterogeneidade estrutural do solo, que ocorre devido aos efeitos do sistema radicular das culturas que aumenta a porosidade do solo, e, dos ciclos de umedecimento e secagem que ocorrem com mais intensidade

Na camada de 5-10 cm (**Figura 25**) a RP demonstrou-se semelhante para as diferentes doses de N e épocas de avaliação. Este resultado pode ser atribuído ao tempo de aplicação dos tratamentos (onze anos de protocolo experimental), suficiente para induzir alterações na resistência do solo à penetração. Em relação às áreas CP e SP, os mapas de RP não demonstraram diferenças, este comportamento indica que em áreas de ILP, o pastejo não é prejudicial ao solo, quando com o manejo adequado.

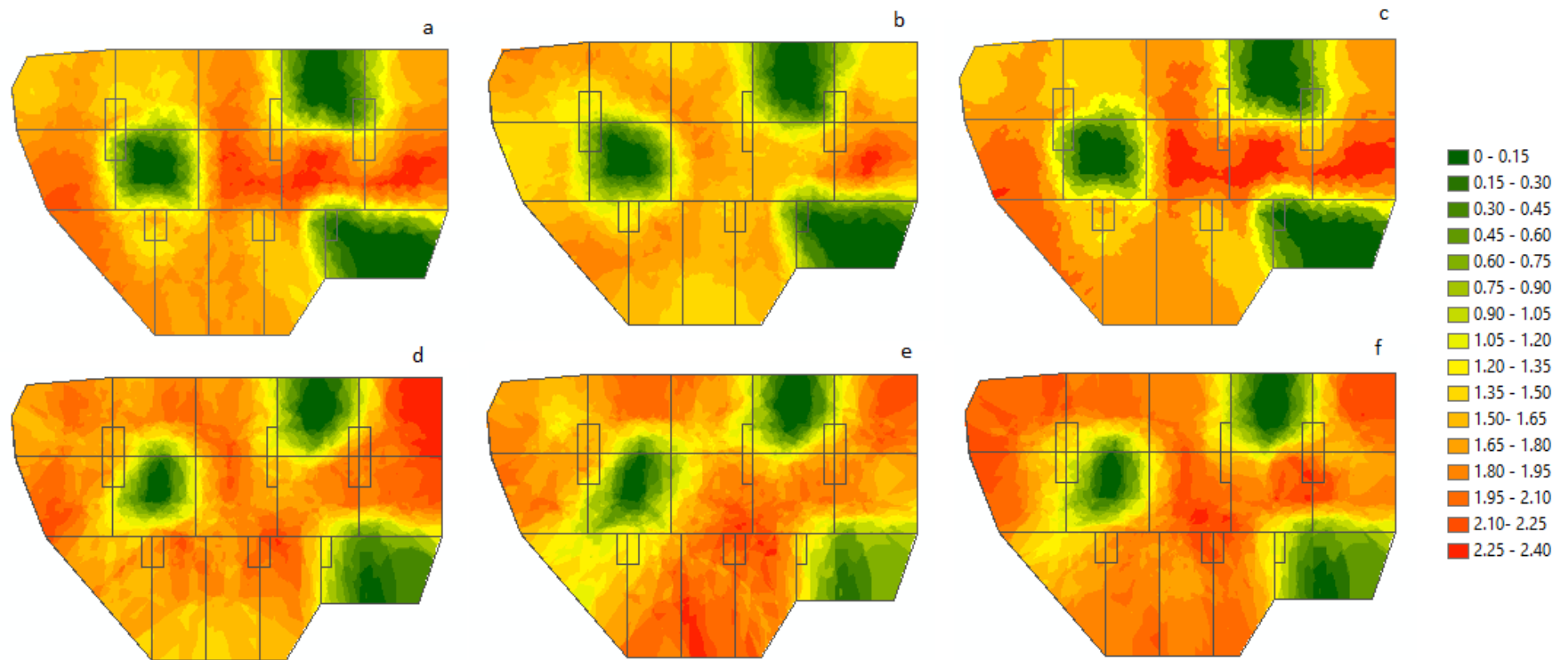


Figura 25: Resistencia à penetração do solo (MPa) após a) cultura do milho no ano de 2010; b) pastagem de aveia e azevém no ano de 2010; c) cultura do feijão no ano de 2011; d) cultura do feijão no ano de 2017; e) pastagem de centeio no ano de 2017 e f) cultura do milho no ano de 2018 na camada de 5-10 cm. Guarapuava, PR

Na análise de cluster hierárquico dos anos, constatou-se a formação de dois grupos, onde os tratamentos foram agrupados com base no grau de semelhança, A faixa de corte foi feita em 70% (**Figura 26**), onde o primeiro grupo foi formado pelos tratamentos 110SPF, 1175SPF, 11150SPF,11225SPF, 110CPF, 1175CPF, 11150CPF, 11225CPF, 100SPP, 1075SPP, 10150SPP, 10225SPP, 100CPP, 1075CPP, 10150CPP, 10225CPP, 180SPM, 1875SPM, 18150SPM, 18225SPM, 180CPM, 1875CPM, 18150CPM, 18225CPM, 170SPF, 1775SPF, 17150SPF, 17225SPF, 170CPF, 1775CPF, 17150CPF, 17225CPF, 170SPP, 1775SPP, 17150SPP, 17225SPP, 170CPP, 1775CPP, 17150CPP e 17225CPP; e o grupo 2 foi formado pelos tratamentos 100SPM, 100CPM, 1075SPM, 10150SPM, 1075CPM, 10150CPM e 10225CPM.

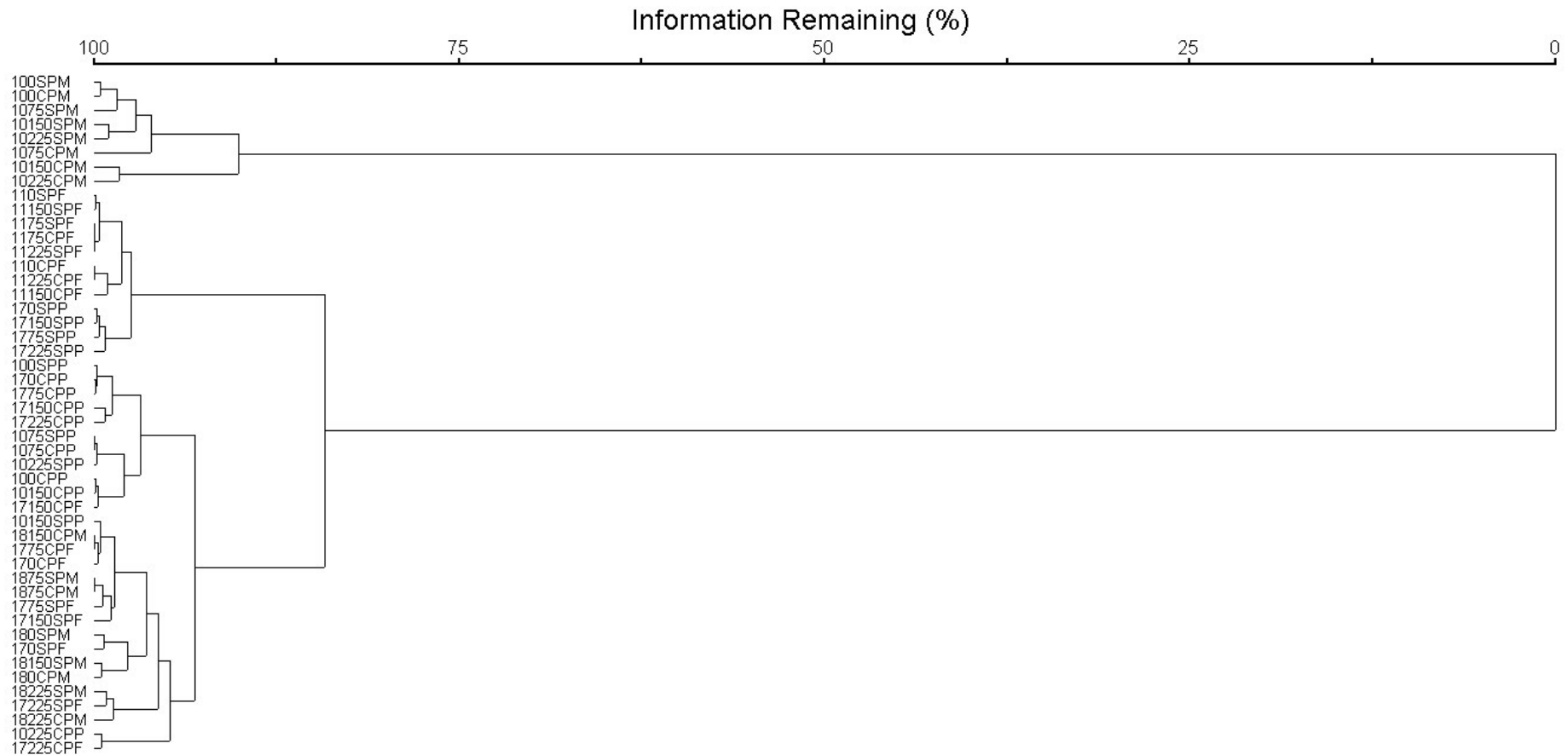


Figura 26: Cluster hierárquico em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N, 150N e 225N kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após cultura do milho (2010), após pastejo (P) em pastagem de aveia consorciada com azevém (2010), cultura do feijão (F) (2011), após cultura do feijão (2017), após pastejo em pastagem de centeio (2017) e após a cultura do milho (M) (2018). Guarapuava, PR

A análise de componentes principais (**Figura 27**) reafirmou os agrupamentos observados no cluster hierárquico. Os dois primeiros componentes principais explicaram 97,50% da variância total, o CP1 explicou 94,9% variância, e o CP2 explicou 2,57%.

Houve nítida separação entre o ano de 2010 após cultura do milho, e os demais anos de avaliação, que apresentou apesar de baixa magnitude, influência na RP nas profundidades 10-15 cm, 15-20 cm e 20-30 cm, que também foram influenciados pelos tratamentos 10225CPP e 17225CPF. De acordo com esse resultado é possível observar que apesar dos altos valores encontrados, principalmente após a cultura do milho, a RP foi pouco influenciada pelos tratamentos. As camadas de 0-5 e 5-10 cm apresentaram pouca influência de 17150CPF.

A RP do solo é considerada o principal atributo físico para expressar o grau de compactação do solo, sendo correlacionada diretamente com a umidade do solo no momento da determinação (STOLF et al. 1983; BUSSCHER et al. 1997). Entretanto, ACP demonstrou que neste trabalho, os tratamentos não foram influenciados pela umidade, o que leva a crer que outros atributos e condições do solo como a textura, densidade, teor de matéria orgânica e coesão do solo (GIAROLA et al. 2001) podem ter influenciado nos valores de RP.

A análise componentes principais também permitiu compreender que apesar das baixas relações encontradas, foi possível aferir que o solo pode variar os seus atributos físicos, neste caso a RP, de acordo com o manejo empregado.

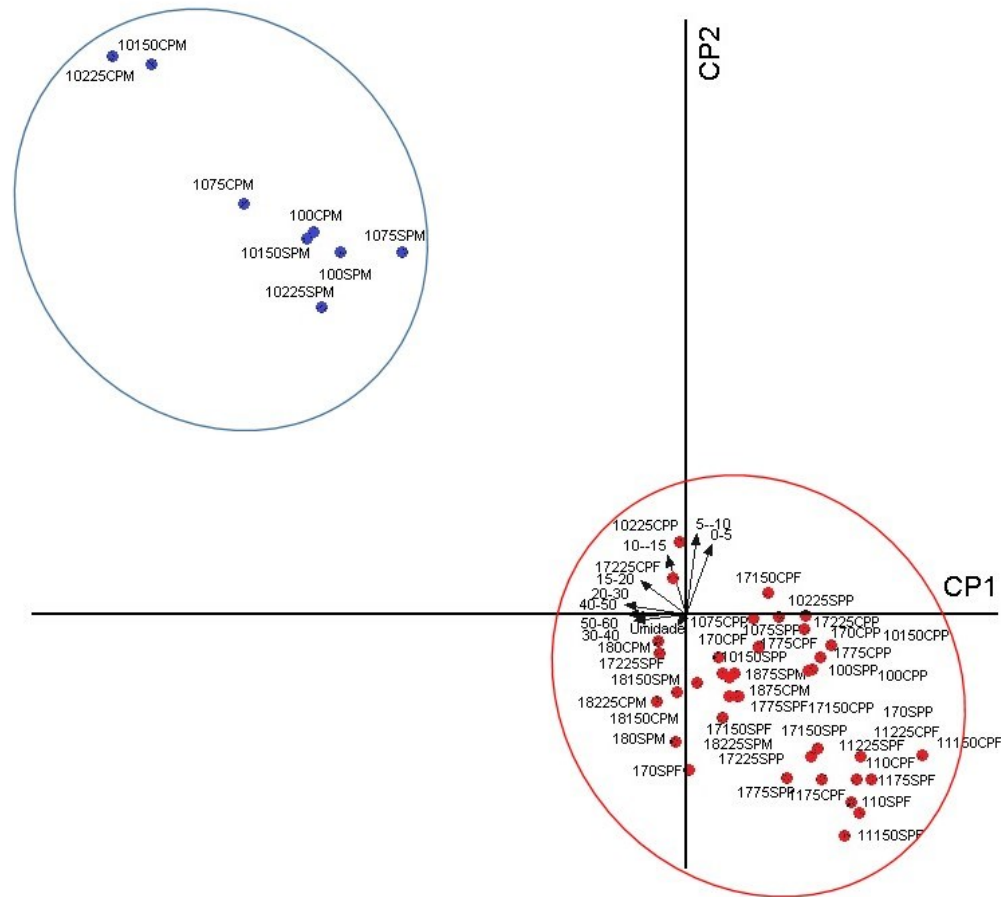


Figura 27: Análise dos Componentes Principais (ACP) para resistência a penetração do solo em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), após cultura do feijão (F) e após cultura do milho (M), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm nos anos de 2010, 2011, 2017 e 2018. Guarapuava, PR

4 CONCLUSÕES

As áreas com pastejo e sem pastejo apresentaram diferença na resistência mecânica do solo a penetração, onde as áreas que tiveram a presença do pastejo durante o inverno, demonstraram maiores médias, entretanto, sem atingir o limite crítico de 2 MPa.

As culturas de feijão e milho atuaram positivamente sobre a resistência mecânica a penetração, favorecendo a menor RP em superfície.

CAPITULO 3: Pastejo e Adubação Nitrogenada nos atributos físicos do solo em um Sistema de Integração Lavoura –Pecuária após onze anos de experimento

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os sistemas de produção tem expressado a preocupação em intensificar de forma sustentável a produção, onde, aliado ao uso de tecnologias melhoradas (genótipos e práticas de manejo) e uso racional dos recursos naturais disponíveis, os danos ambientais sejam minimizados (NETO et al. 2018). Neste sentido, a intensificação sustentável do uso do solo tem se mostrado fundamental no aumento de produtividade, principalmente àquelas áreas com o uso do sistema ILP.

O sistema ILP é uma estratégia que proporciona diversos benefícios ao ambiente, como melhorias das condições físicas, químicas e biológicas do solo, aumento da ciclagem de nutrientes, diminuição do uso de agroquímicos, quebra do ciclo de pragas e doenças, maior controle de plantas daninhas, mitigação dos gases efeito estufa (GEE) e diversificação de renda da propriedade rural (BALBINO et al. 2011). Do ponto de vista de qualidade física do solo, o uso de rotação de pastagens com cultivos agrícolas impõe um período de descanso, o qual auxilia no efeito da descompactação do solo, devido a ação do sistema radicular da pastagem e da atividade da fauna edáfica do solo (MORAES et al. 2002).

Contudo a possibilidade de compactação do solo devido a presença dos animais ainda é a principal preocupação dos agricultores (BALBINOT JUNIOR et al. 2009). Em sistema ILP a compactação do solo ocorre principalmente nas camadas superficiais, podendo restringir o crescimento das raízes das plantas e afetar a produção das culturas sucessoras ao período de pastejo (ALBUQUERQUE et al. 2001). Entretanto, quando a carga animal é manejada adequadamente, juntamente a disponibilidade de forragem, as alterações aos atributos físicos são de baixa magnitude (SILVA et al. 2000).

Diversos estudos tem sido desenvolvidos para avaliar possíveis impactos do pisoteio animal sobre a física do solo, Flores et al. (2007) avaliando os atributos físicos do solo em ILP sob SPD com diferentes pressões de pastejo, constataram que não houve alterações na densidade e porosidade do solo independente da altura de pastagem. Estes resultados contrariam os encontrados por Santos et al. (2011), que estudando a qualidade física do solo sob sistema ILP em comparação a pastagem contínua e cerrado nativo, após

quatro anos, concluíram que a ILP não favorece a qualidade física do solo. Neste sentido, estudos a longo prazo do comportamento dos atributos físicos do solo se mostram de extrema importância, pois podem fornecer dados mais concretos sobre o impacto da ILP na qualidade física do solo.

Diante de resultados tão distintos, o presente capítulo tem como objetivo avaliar a evolução dos atributos físicos do solo após 12 anos de experimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi iniciado em junho de 2006 na área experimental do campus da Universidade Estadual do Centro-Oeste, localizada no município de Guarapuava- PR, com coordenadas geográficas são 25°33' latitude Sul e 51°29' longitude Oeste e de 1095 m. O solo da região é classificado como Latossolo Bruno álico, de relevo suave ondulado e substrato de rochas basálticas (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa. O Clima da região é do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al. 2013), com temperatura no mês mais frio abaixo de 18°C e no mês mais quente abaixo de 22°C. A precipitação anual varia entre 1400 a 1800 mm.

Antes da implantação do sistema de integração lavoura-pecuária em abril de 2006, a área experimental era utilizada em sistema de plantio direto, com produção de milho para silagem após o pousio no inverno. Desde 2006, a área vem sendo utilizada com cultivo de aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta comum (*Avena strigosa*), Azévem comum (*Lolium multiflorum*) ou Centeio (*Secale cereale*) no inverno e rotação de milho e feijão para produção de grãos. No Quadro I são apresentadas as sucessões de culturas realizadas até o verão 17/18.

Quadro 1: Sucessão de cultura realizadas entre 2006 e 2018.

| <i>Estação</i> | <i>Culturas</i> |
|---------------------|-----------------|
| <i>Inverno 2006</i> | Azevém |
| <i>Verão 06/07</i> | Feijão |
| <i>Inverno 2007</i> | Azevém e aveia |
| <i>Verão 08/09</i> | Feijão |
| <i>Inverno 2009</i> | Azevém e aveia |
| <i>Verão 2009</i> | Milho |
| <i>Verão 16/17</i> | Feijão |
| <i>Inverno 2017</i> | Centeio |
| <i>Verão 17/18</i> | Milho |

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal foi constituída pelas dosagens de nitrogênio (N), sendo 0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹, utilizando a ureia como fonte de N. Nas subparcelas casualizou-se o fator pastejo, com e sem. Em cada parcela principal isolou-se um área de aproximadamente 96 m² que permaneceu sem pastejo, enquanto o restante da área foi pastejada com ovinos, com lotação contínua, taxa de lotação variável, onde mantinha-se a altura média de pastagem de 14 centímetros (cm).

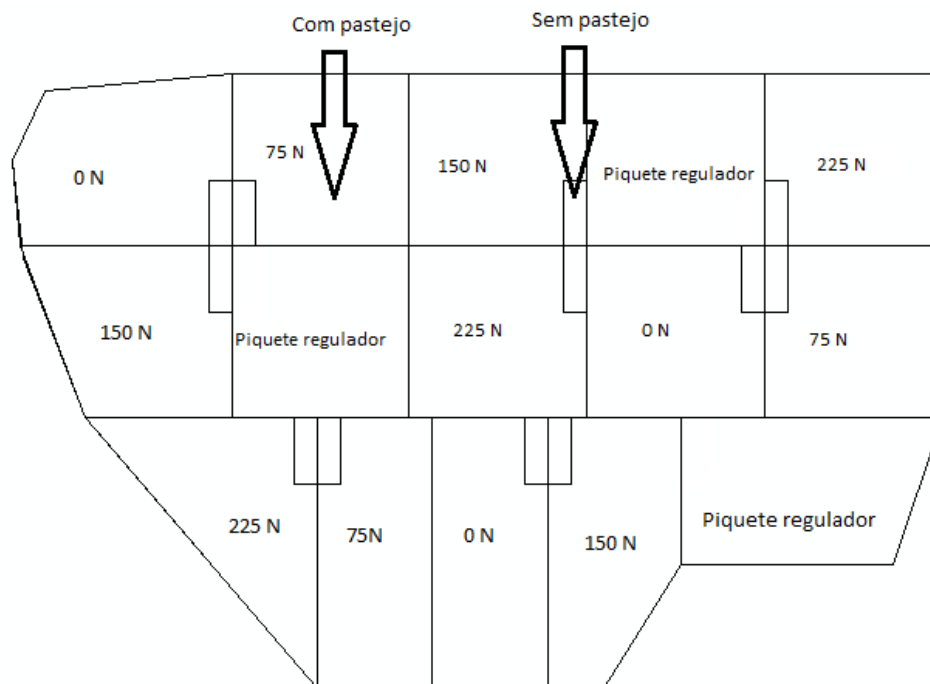


Figura 1: Croqui da área experimental com ILP no município de Guarapuava, PR. 0N: sem nitrogênio; 75N: 75 kg ha⁻¹ de N; 150N: 150 kg ha⁻¹ de N; 225N: 225 kg ha⁻¹ de N. Fonte: O autor, 2019.

No ano de 2006 assim como os demais anos de experimento, a semeadura da pastagem foi efetuada em sistema de plantio direto. A adubação foi realizada conforme as Recomendações De Adubação E Calagem Para Os Estados Do Rio Grande Do Sul (1995). Após 35 dias após a semeadura (DAS), foi realizada a aplicação da ureia em cobertura, de acordo com os tratamentos.

O pastejo com ovinos durou em média de 90 a 120 dias, conforme o ano. Foram utilizados ovinos, que foram distribuídos aleatoriamente em 12 lotes de 6 cordeiros nas parcelas e mantidos na pastagem, em sistema de lotação contínua e carga variável, afim de manter a altura da pastagem entre 14 e 15 cm de altura.

Cerca de 20 a 30 dias antes da semeadura da cultura do feijão ou milho, os animais eram retirados da área, com posterior dessecação da pastagem com 2,5 L ha⁻¹ de *glyphosate*. Após este período a semeadura das culturas (milho e feijão, conforme o ano de cultivo) era realizada, e a adubação e o controle de plantas daninhas era realizada conforme recomendação técnica.

Nos anos de 2006¹, 2010 e 2017 após o pastejo dos animais e 2006, 2011 e 2017 após a cultura do feijão, foram retiradas amostras indeformadas das

¹Dados de 2006 fornecidos por Dr. Veruschka R. M. Andreolla.

camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, para

a avaliação dos atributos físicos do solo. Foram realizadas duas repetições para as áreas com pastejo (CP) e uma repetição para sem pastejo (SP).

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

Os resultados foram submetidos a comparação de médias com auxílio do software Excel®, e como análise complementar foi realizada a técnica multivariada cluster hierárquico realizado a partir da distância euclidiana entre os acessos para o conjunto das 12 variáveis, juntamente com o uso do algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. Com esta análise, buscou-se verificar as similaridades entre as variáveis analisadas e os tratamentos estudados a partir de agrupamentos homogêneos representados em um dendrograma de similaridade. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma ou cluster hierárquico) que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos, no qual os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, onde se encontram as maiores distâncias em que os grupos foram formados.

A Análise de Componentes Principais (ACP) também foi realizada com o objetivo de reduzir a complexidade das inter-relações de um número grande de variáveis observadas a um número relativamente pequeno de combinações lineares com essas variáveis, que são os componentes principais e, assim, facilitam a interpretação da importância das variáveis na análise. Para a ACP foram geradas matrizes de dados, onde os tratamentos foram divididos conforme a época de coleta, dose de N e com/sem pastejo, constituída de 48 linhas e 12 colunas para os 11 anos de experimento, onde 06F0NSP, 06F75NSP, 06F150NSP e 06F225NSP compreenderam as doses de N, nas áreas sem pastejo (SP) após a cultura do feijão (F) no ano de 2006; 06F0NCP, 06F75NCP, 06F150NCP e 06F225NCP, doses de N, com pastejo (CP) após a cultura do feijão (F) no ano de 2006; 06P0NSP, 06P75NSP, 06P150NSP, 06P225NSP após o pastejo (P) nas áreas sem pastejo (SP) também no ano de 2006, e 06P0NCP, 06P75NCP, 06P150NCP, 06FP225NCP após pastejo (P) nas áreas com pastejo (CP) no ano de 2006; 110NSP, 11F75NSP, 11F150NSP e 11F225NSP compreenderam as doses de N, nas áreas sem pastejo (SP) após a cultura do feijão (F) no ano de 2011; 11F0NCP, 11F75NCP, 11F150NCP e

11F225NCP, doses de N, com pastejo (CP) após a cultura do feijão (F) no ano de 2011; 10P0NSP, 10P75NSP, 10P150NSP, 10P225NSP após o pastejo (P) nas áreas sem pastejo (SP) no ano de 2010, e 10P0NCP, 10P75NCP, 10P150NCP, 10P225NCP após pastejo (P) nas áreas com pastejo (CP) no ano de 2010.

Para o ano de 2017, 17F0NSP, 17F75NSP, 17F150NSP e 17F225NSP compreenderam as doses de N, nas áreas sem pastejo (SP) após a cultura do feijão (F) no ano de 2017 e 17F0NCP, 17F75NCP, 17F150NCP e 17F225NCP, doses de N, com pastejo (CP) após a cultura do feijão (F) no ano de 2017; 17P0NSP, 17P75NSP, 17P150NSP, 17P225NSP após o pastejo (P) nas áreas sem pastejo (SP) também no ano de 2017, e 17P0NCP, 17P75NCP, 17P150NCP, 17P225NCP após pastejo (P) nas áreas com pastejo (CP) no ano de 2017. A análise foi realizada com a utilização do software PC-ORD® v.6 (MCCUNE & MEFFORD, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos atributos físicos do solo após 11 anos de experimento, reafirmou que a densidade solo após as três épocas de pastejo (2006, 2010 e 2017) não foi afetada pelo pisoteio animal durante o período do experimento (**Figura 28 e 29**). Isso deve-se a constatação de que na camada de 0-5 cm (**Figura 28**) a diminuição da Ds foi evidente, tanto as áreas CP quanto as SP apresentaram diminuição dos valores de Ds ao longo dos anos, além do fato das poucas diferenças entre com e sem pastejo. Estes resultados corroboram com os encontrados por Spera et al. (2010) em um estudo onde avaliaram o efeito do sistema de ILP sob plantio direto, e verificaram a diminuição da Ds na camada de 0-5 cm após dez anos de experimento.

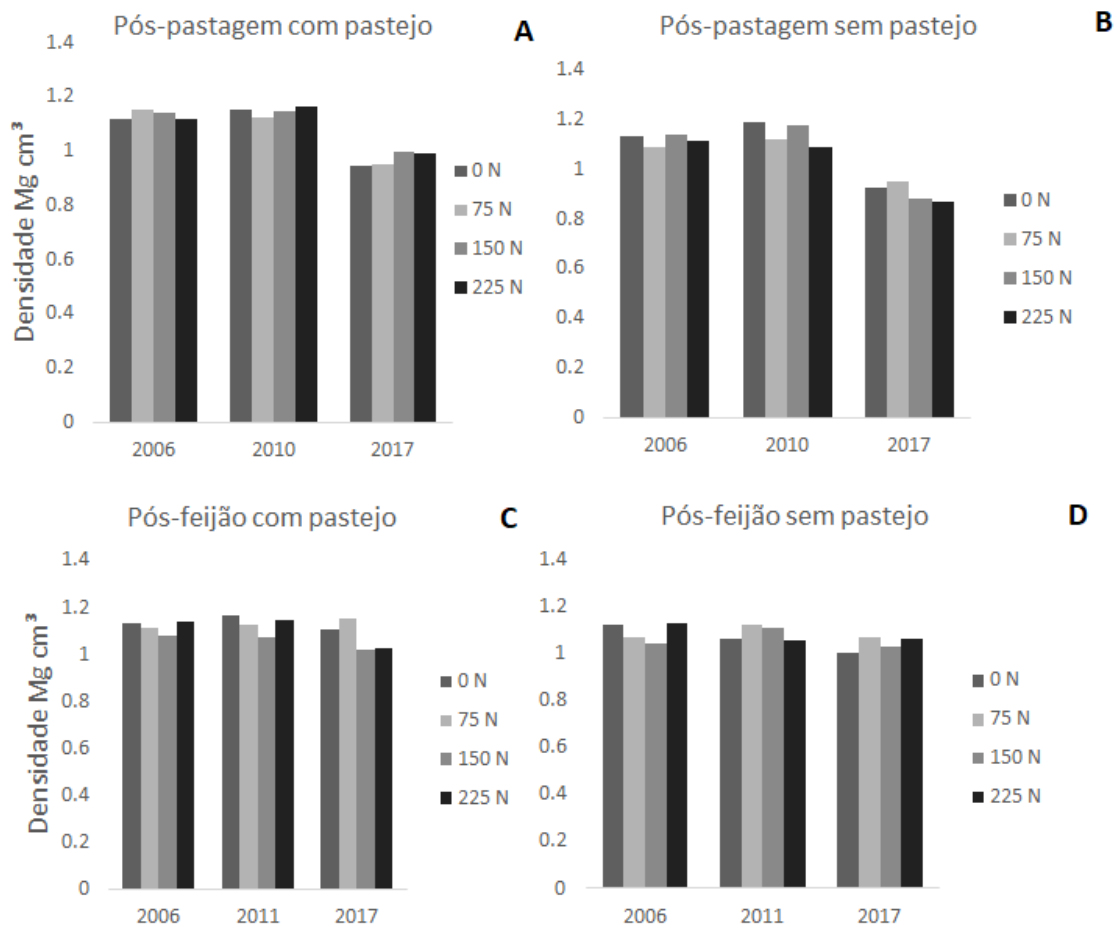


Figura 28: Densidade do solo (Ds) na camada de 0-5 cm em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

As áreas CP e SP após o pastejo dos animais (**Figura 28A e 28B**) indicam que nos primeiros anos de experimento (2006 a 2010) não houve alteração da densidade do solo em função da presença dos animais na área, não sendo possível afirmar que ocorreram alterações negativas neste atributo em decorrência da presença do animal. No ano de 2017, entretanto, houve diminuição dos valores médios da Ds. Este resultado evidencia a capacidade do sistema integrado de produção em melhorar as características físicas do solo quando manejo corretamente, fazendo uso de rotação de culturas, adubação nitrogenada e sistema de plantio direto, técnicas que permitem maior estabilidade ao solo e crescimento radicular das culturas, que atuam diretamente na macroporosidade e densidade do solo.

Ainda segundo Dias Júnior & Pierce (1996) as alterações na Ds causadas pelo pastejo são de baixa magnitude, o que permite que o solo recupere a sua estrutura. Outros estudos também demonstram que a compactação do solo em sistema ILP está diretamente associada à intensidade de pastejo e à taxa de lotação animal, e que, apesar de causar a compactação do solo, essa se restringe a camada superficial, permitindo ao solo, com o passar do tempo o solo voltar a sua condição inicial ou melhorar as condições de suas características físicas devido aos processos naturais (CONTE et al. 2011; SILVA et al., 2014; BONETTI et al., 2015).

A cultura do feijão (**Figura 28C e 28D**) que foi estabelecida logo após o pastejo, indicou que não houve alterações significativas nos valores de Ds na camada de 0-5 cm ao longo do tempo. Em comparação entre as áreas CP (**Figura 28C**) e SP (**Figura 28D**) é possível visualizar que a presença do animal não interferiu negativamente na Ds. Estes resultados corroboram com os encontrados por Flores et al. (2007), onde as alterações encontradas da Ds não influenciou o estabelecimento da cultura sucessora. Para Salton & Tomazi (2014) a ILP é um dos sistemas onde as plantas conseguem apresentar sistema radicular mais desenvolvido e profundo, principalmente devido a presença da pastagem no sistema que contribui para as melhorias na estruturação do solo.

Nas camadas subsequentes, 5-10 cm e 10-15 cm (**Figuras 29 e 30**), houve diminuição nos valores de densidade. Estes resultados demonstram a capacidade da lavoura em suportar condições adversas e, ainda devido ao efeito de descompactação do solo, que no sistema ILP é obtido biologicamente pela ação do sistema radical das culturas e pela atividade da mesofauna do solo (MORAES et al. 2002).

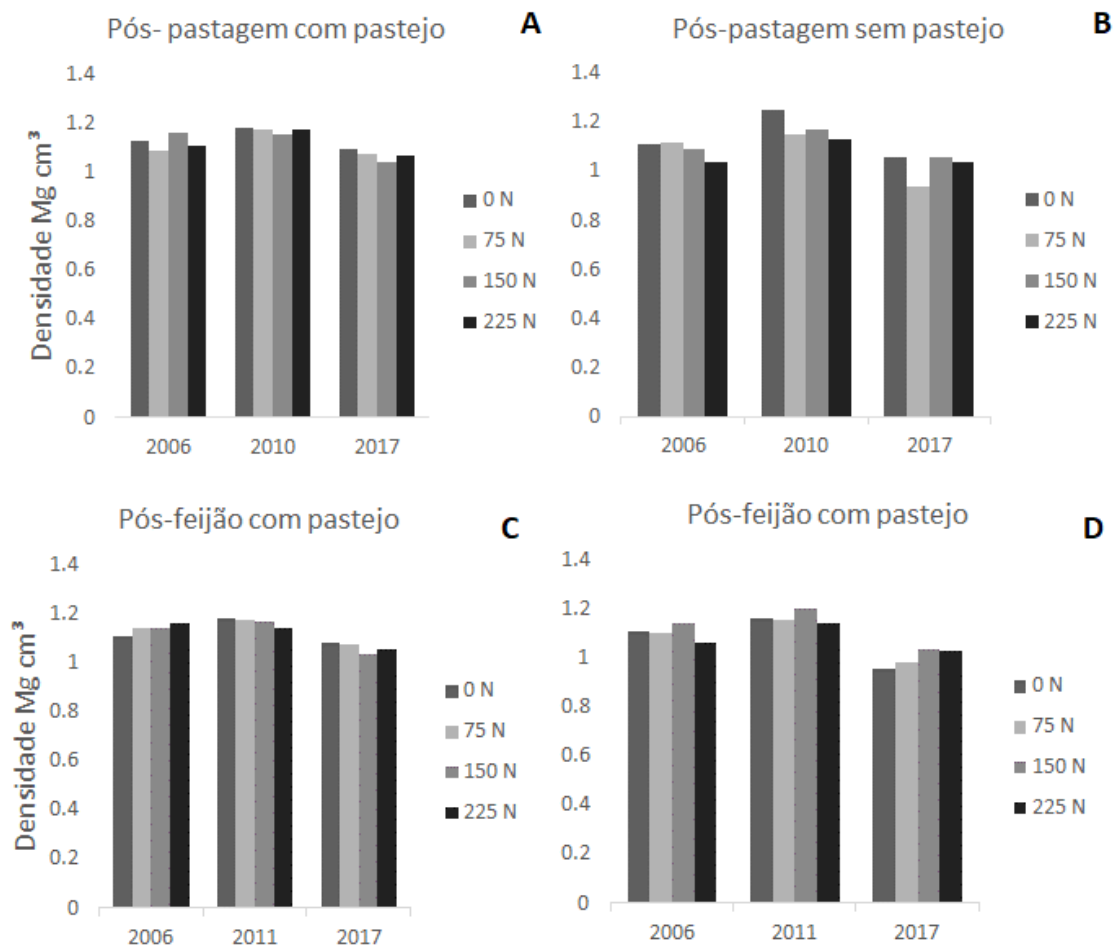


Figura 29: Densidade do solo (D₅₋₁₀) na camada de 5-10 cm em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

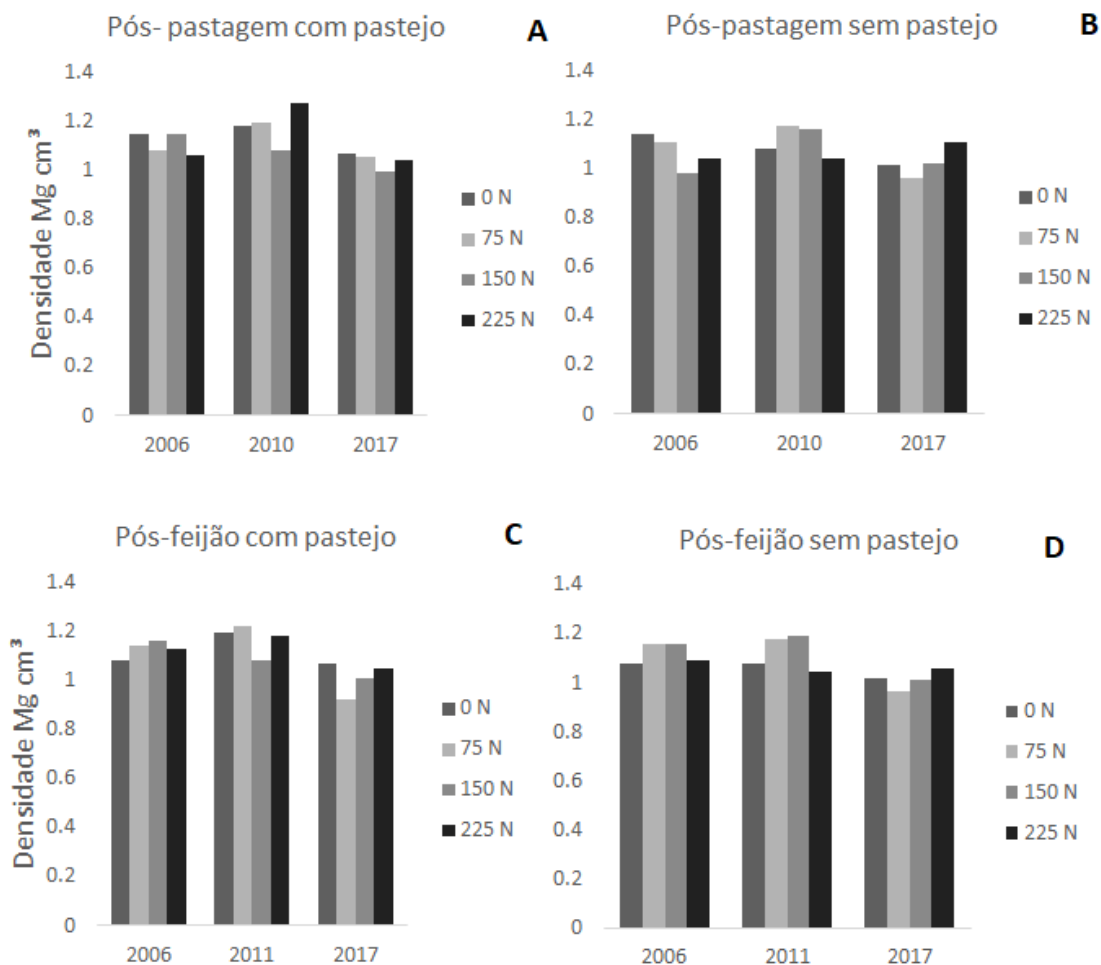


Figura 30: Densidade do solo (D_s) na camada de 10-15 cm em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

A macroporosidade apresentou incremento com o passar do tempo, com valores considerados restritivos ($< 0.10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) visualizados somente no ano de 2006 para todas as camadas avaliadas. Este comportamento se repetiu para as épocas pós-pastejo e pós-feijão (**Figuras 31, 32 e 33**). Segundo Ferreira (2010) macroporosidade abaixo de $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ se torna prejudicial à aeração do ar no solo, e conseqüentemente, ao desenvolvimento das plantas. Contudo segundo Andreolla et al. (2008) avaliando os atributos físicos em sistema ILP encontrou valores abaixo do considerado crítico, mas que não constituíram fator limitante para o desenvolvimento radicular das plantas.

Independente das doses de N e da presença dos animais observou-se com o passar do tempo aumento da Ma do solo tanto para as áreas CP quanto

para as SP (**Figura 31A e 31B**). Este resultado está fortemente relacionado ao uso de gramíneas no sistema, que logo após o pastejo emitem novos perfilhos e raízes que auxiliam na melhoria da estrutura do solo. Estas raízes por sua vez, possuem característica agregadora de partículas do solo, que ocorre devido a liberação de exsudados durante o pastejo. Estes exsudados entrelaçam os torrões, formando estruturas maiores, mais estáveis e com boa aeração e infiltração de água (SALTON & TOMAZI, 2014). Desta forma, o sistema radicular do centeio utilizado para o pastejo no ano de 2017 pode ter contribuído para o crescimento das raízes da cultura sucessora, devido a maior estabilidade dos agregados e aos canais formados pelas raízes das gramíneas.

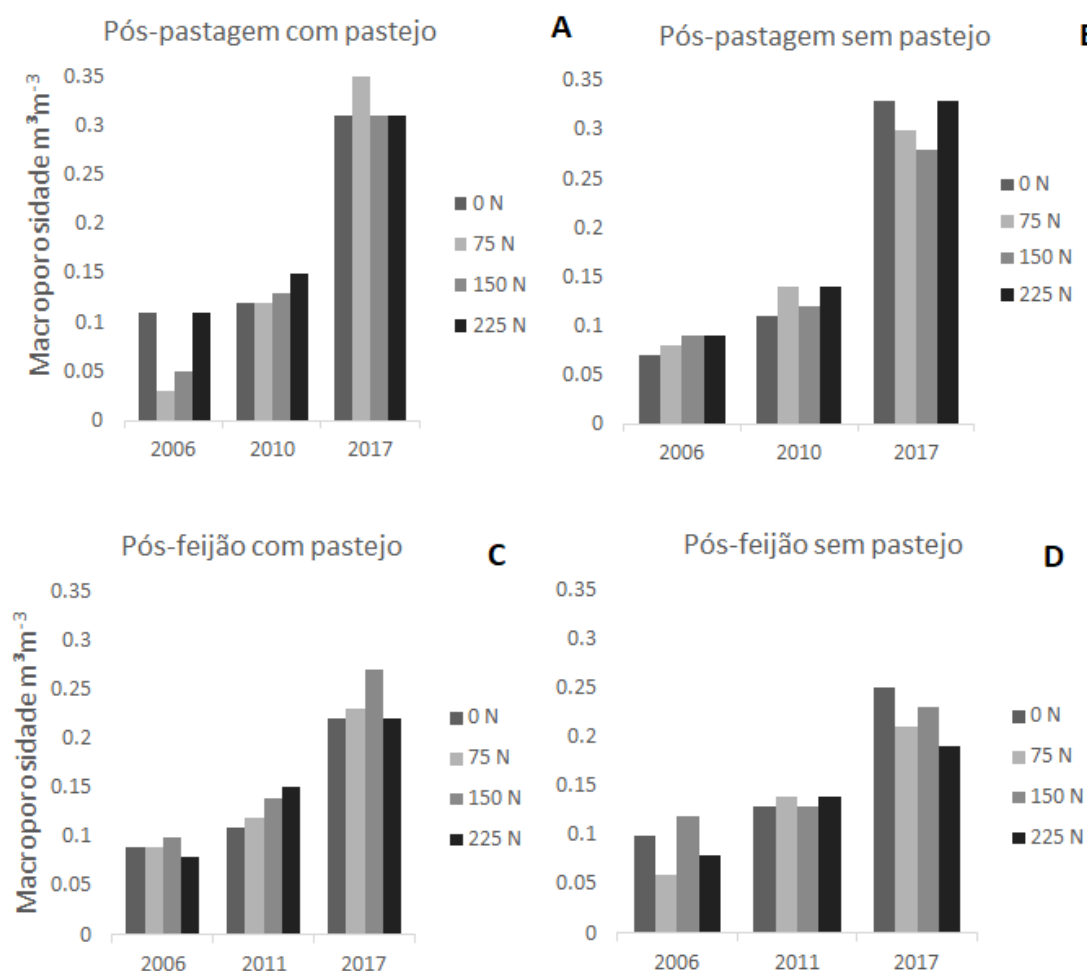


Figura 31: Macroporosidade (Ma) na camada de 0-5 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

Em sistema ILP, o pisoteio animal é o considerado o efeito mais danoso da degradação do solo, pois traz restrições ao desenvolvimento das lavouras subsequentes devido a redução dos macroporos (MELLO, 2002). Entretanto, a comparação entre as duas épocas, a lavoura apresentou menores valores de Ma tanto em áreas CP (**Figura 31C**) quanto as SP (**Figura 31D**), o que demonstra apesar de baixa magnitude, o efeito das máquinas agrícolas na camada de 0-5 cm.

Nas camadas posteriores (5-10 cm e 10-15 cm) **Figuras 32 e 33**, a Ma novamente aumentou com o passar o tempo. Em comparação com a camada superficial, houve diminuição nos valores médios deste atributo, segundo Dexter (1991) os maiores valores de Ma demonstram a influência da matéria orgânica devido a maior deposição de matéria orgânica na camada de 0-5 cm.

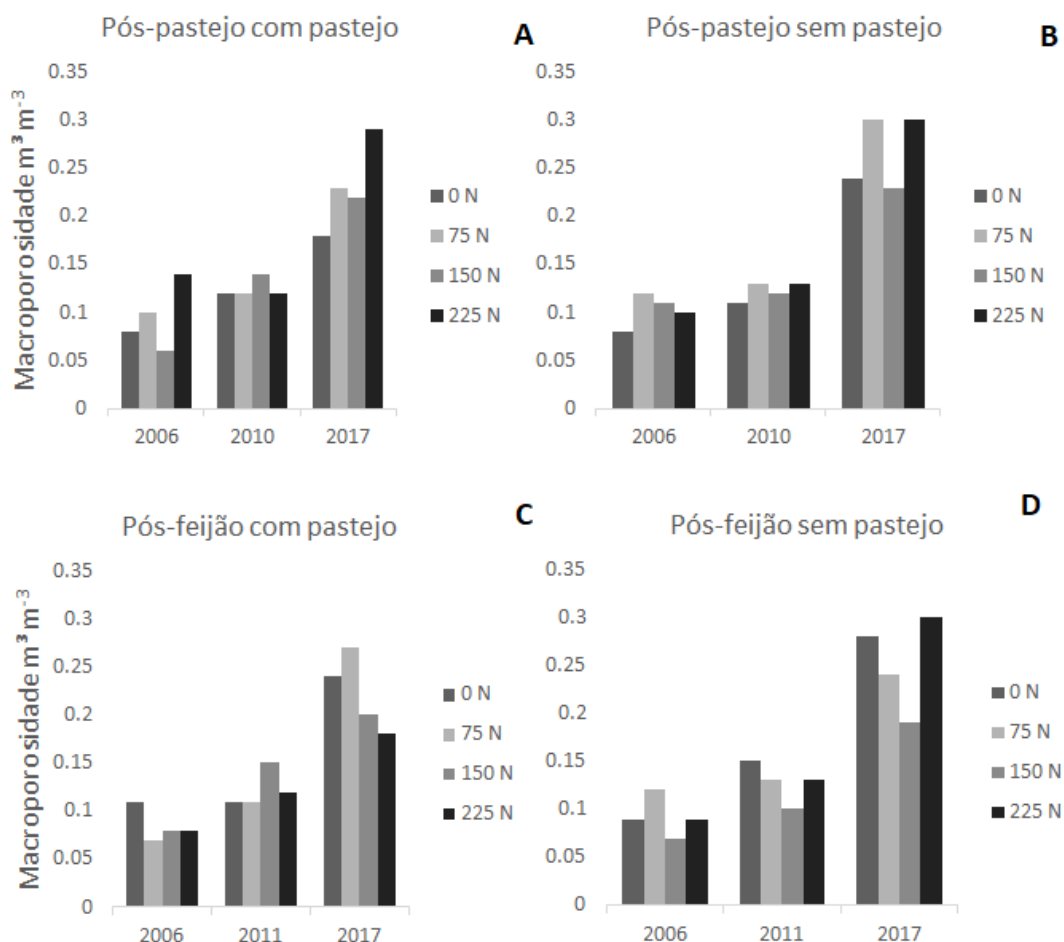


Figura 32: Macroporosidade (Ma) na camada de 5-10 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

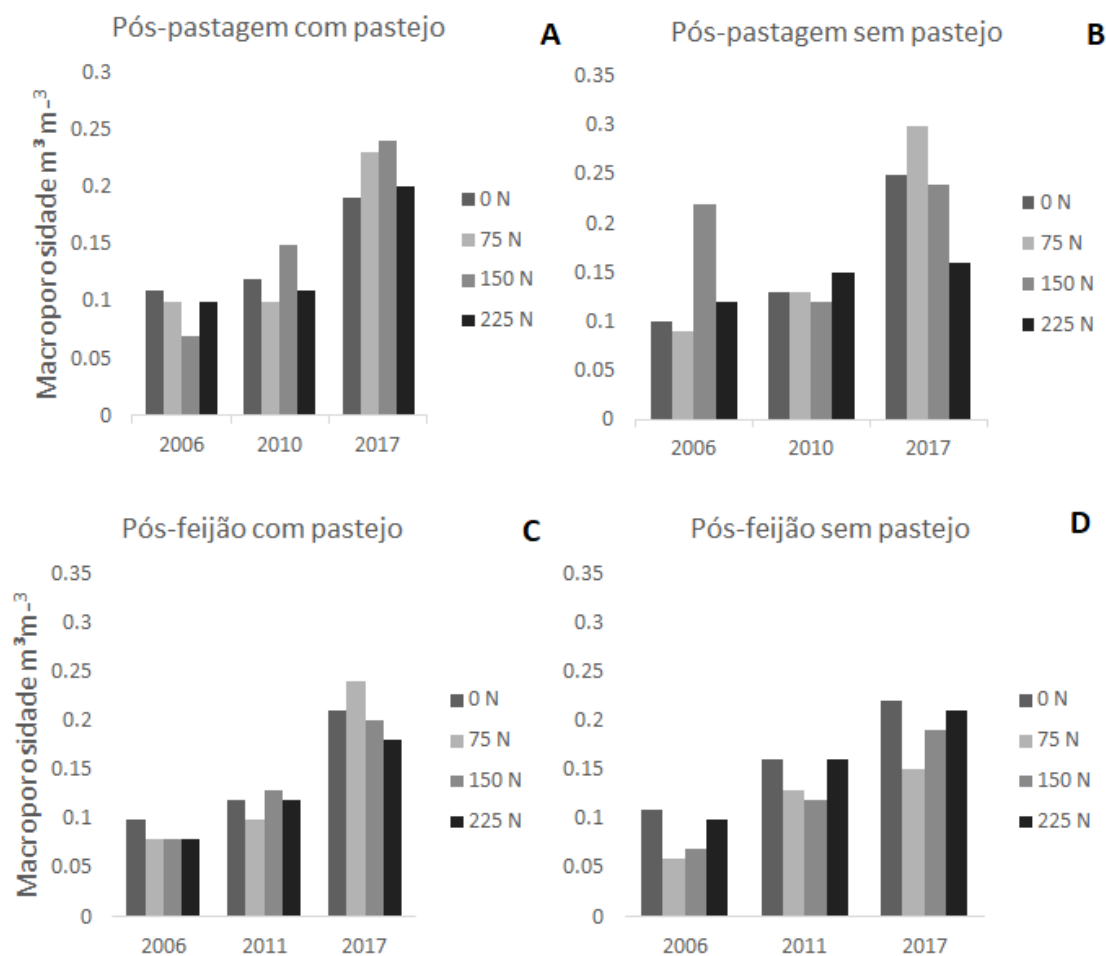


Figura 33: Macroporosidade (Ma) na camada de 10-15 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

O aumento da adubação nitrogenada à pastagem aumentou a produtividade e permitiu intensificar o pastejo com maior taxa de lotação animal (LANZANOVA et al. 2007). Esta intensificação do pastejo pode comprometer a qualidade física do solo, devido ao impacto do casco dos animais, onde os atributos mais afetados são a densidade e a macroporosidade, principalmente nos primeiros 150 mm de profundidade (LANZANOVA et al. 2007). Na dose 225 kg N ha^{-1} , onde houve maior oferta de forragem e maior taxa de lotação animal a Ma após o pastejo nas camadas avaliadas demonstrou o contrário, apresentando incremento na taxa de Ma com o passar dos anos. Na nas áreas sem nitrogênio, onde houve menor oferta de forragem e esperava-se menores

valores de M_a , novamente foi observado incremento deste atributo com o passar dos anos. Ainda que a pressão de pastejo tenha sido menor, em função da massa de forragem disponível, não houve comprometimento da qualidade do solo.

A microporosidade do solo em todas as camadas avaliadas (**Figuras 34, 35 e 36**) não apresentaram mudanças significativas com o passar do tempo. Estes resultados demonstram que a M_i é pouco afetada pelo manejo imposto ao solo. Isto acontece porque os microporos são mais resistentes a pressões exercidas sob o solo, diferente dos macroporos que são menos resistentes e se deformam, criando poros com menor diâmetro (BOONE; VEEN, 1994).

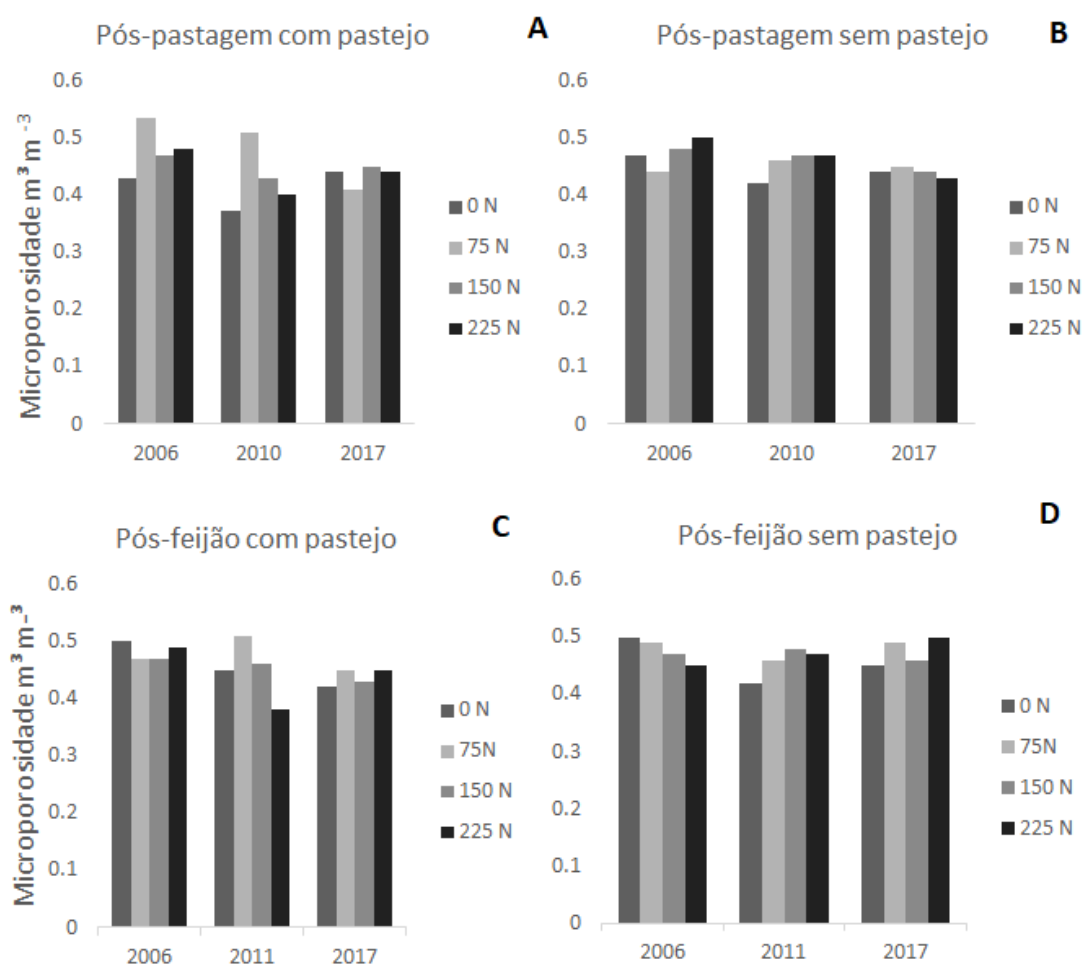


Figura 34: Microporosidade (M_i) na camada de 0-5 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

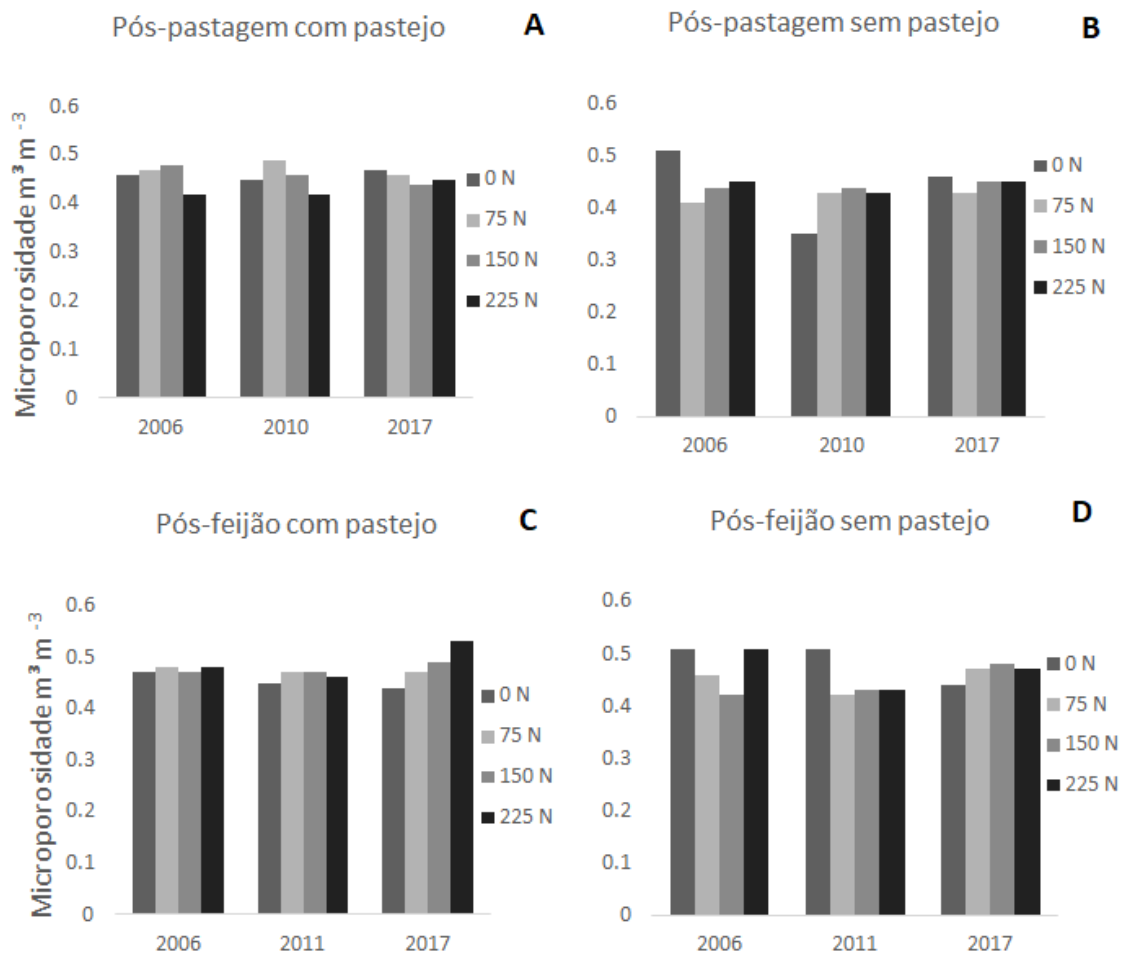


Figura 35: Microporosidade (Mi) na camada de 5-10 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

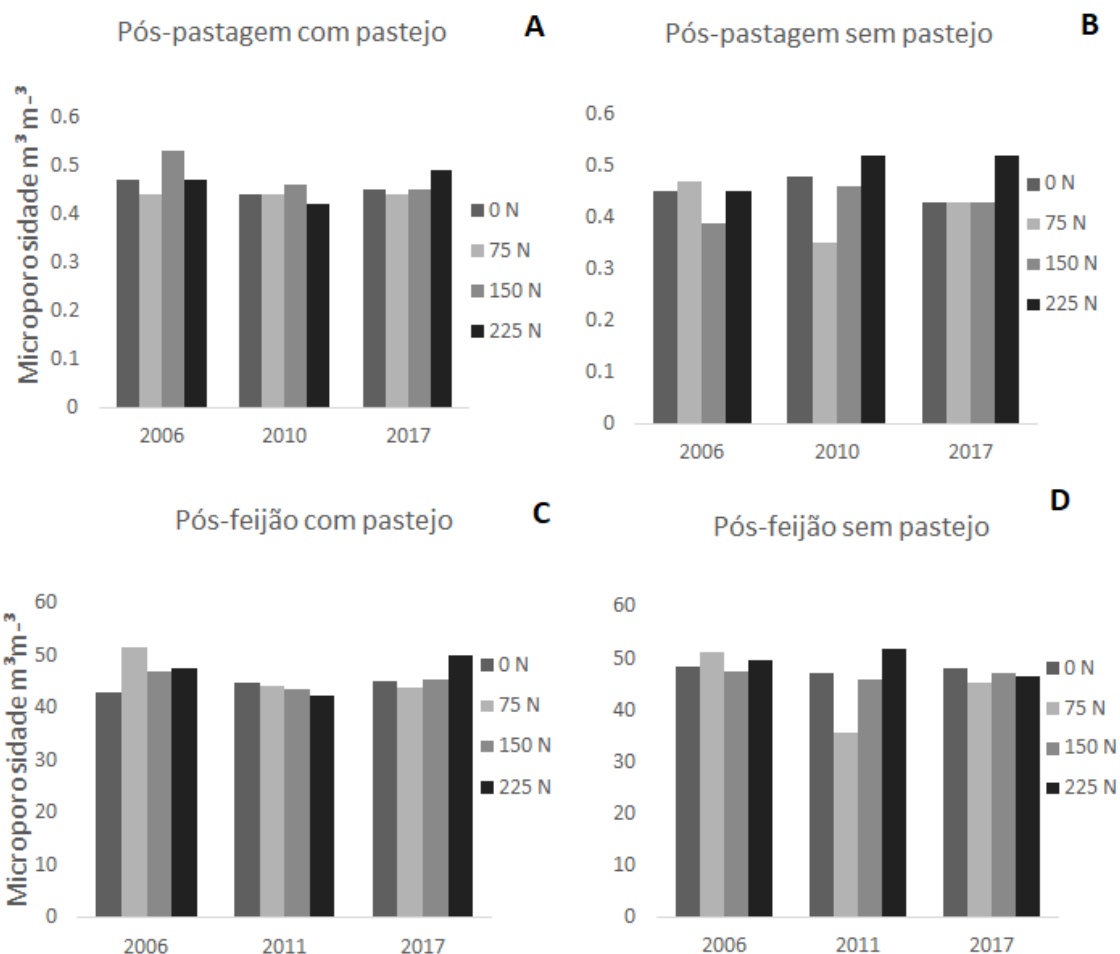


Figura 36: Microporosidade (Mi) na camada de 10-15 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

Resultados similares foram encontrados por Kunz et al. (2013), que avaliando os efeitos de diferentes sistemas de manejo (semeadura direta sem pastejo, semeadura direta com pastejo e escarificação), não encontraram diferença no volume de microporos. Lanzasova et al. (2007) avaliando os atributos físicos do solo em ILP sob SPD também não encontraram alterações expressivas da Mi em todas as camadas estudadas.

Com o passar do anos, a Pt em solos com ILP - SPD tendem a sofrer alterações, resultado em mudanças da estrutura física do solo. Estas alterações são reflexo das alterações causadas principalmente na Ma (MARCOLAN & ANGHINONI, 2006; SPERA et al. 2010).

Na camada de 0-5 (Figura 37) foi observado incremento nos valores de Pt, principalmente nas épocas pós-pastejo, onde este aumento foi mais pronunciado.

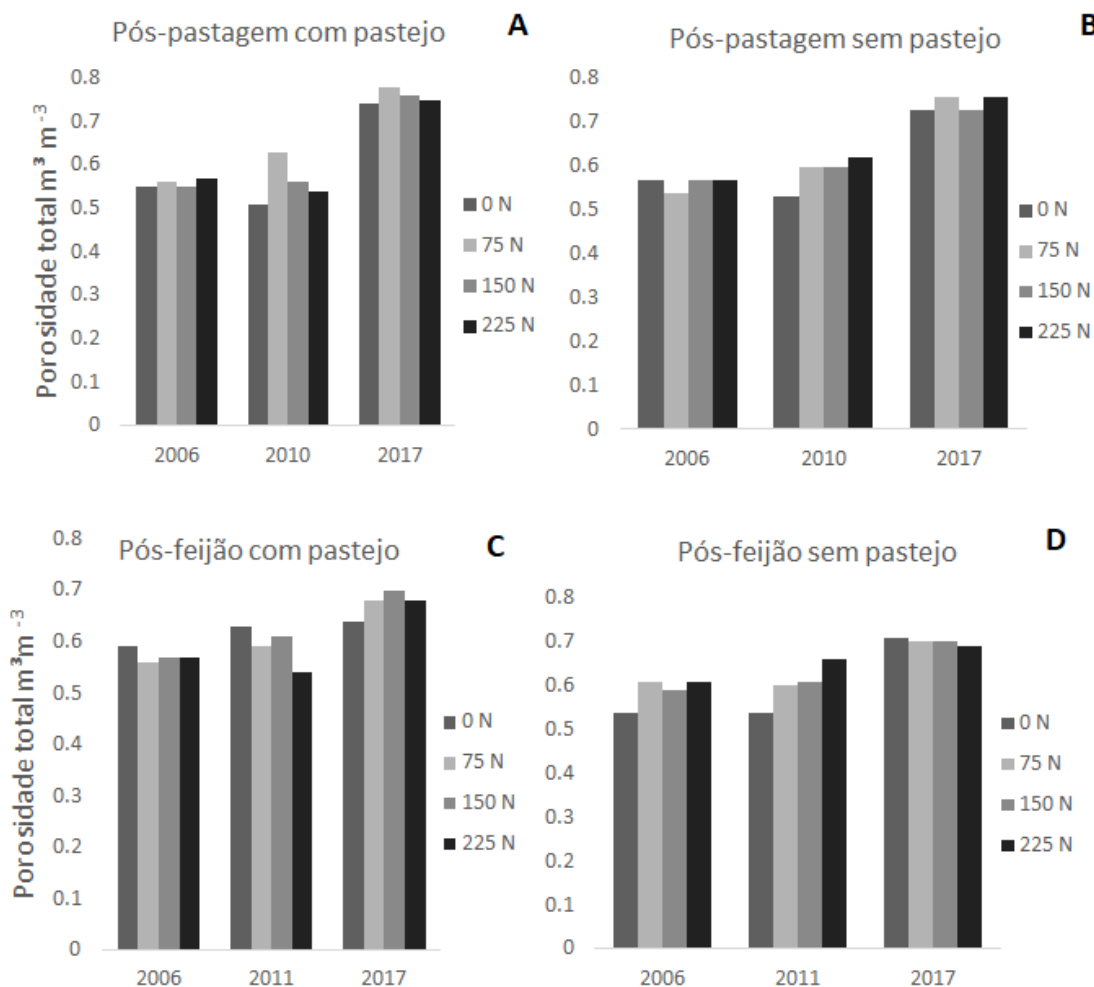


Figura 37: Porosidade total (Pt) na camada de 0-5 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

Segundo Santos et al. (2011) a manutenção da Pt em sistema ILP em SPD ocorre principalmente devido ao não revolvimento do solo, que, em conjunto com o sistema radicular da gramínea e da comunidade edáfica do solo, resulta no incremento da Pt. Em comparação com a época pós-feijão, nota-se leve diminuição da Pt. Este resultado deve-se ao menor volume de macroporos encontrado nesta camada (Figura 4C e 4D). Segundo Bonini (2006) esta redução na Pt deve-se as operações realizadas fora da faixa de friabilidade, são capazes

de ocasionar mudanças na estrutura do solo, principalmente na D_s e P_t das camadas superficiais.

Nas camadas de 5-10 cm e 10-15 cm (**Figura 38 e 39**) o incremento da P_t com o passar dos anos foi menos pronunciado do que o visualizado na camada superficial. Estes resultados são similares aos encontrados por Jesus (2006), que encontrou valores de P_t entre 0,49 e 0,56 $m^3 m^{-3}$ nas primeiras camadas na intensidade de pastejo, evidenciando que o pisoteio dos animais provoca apenas o rearranjo da porosidade do solo em profundidade.

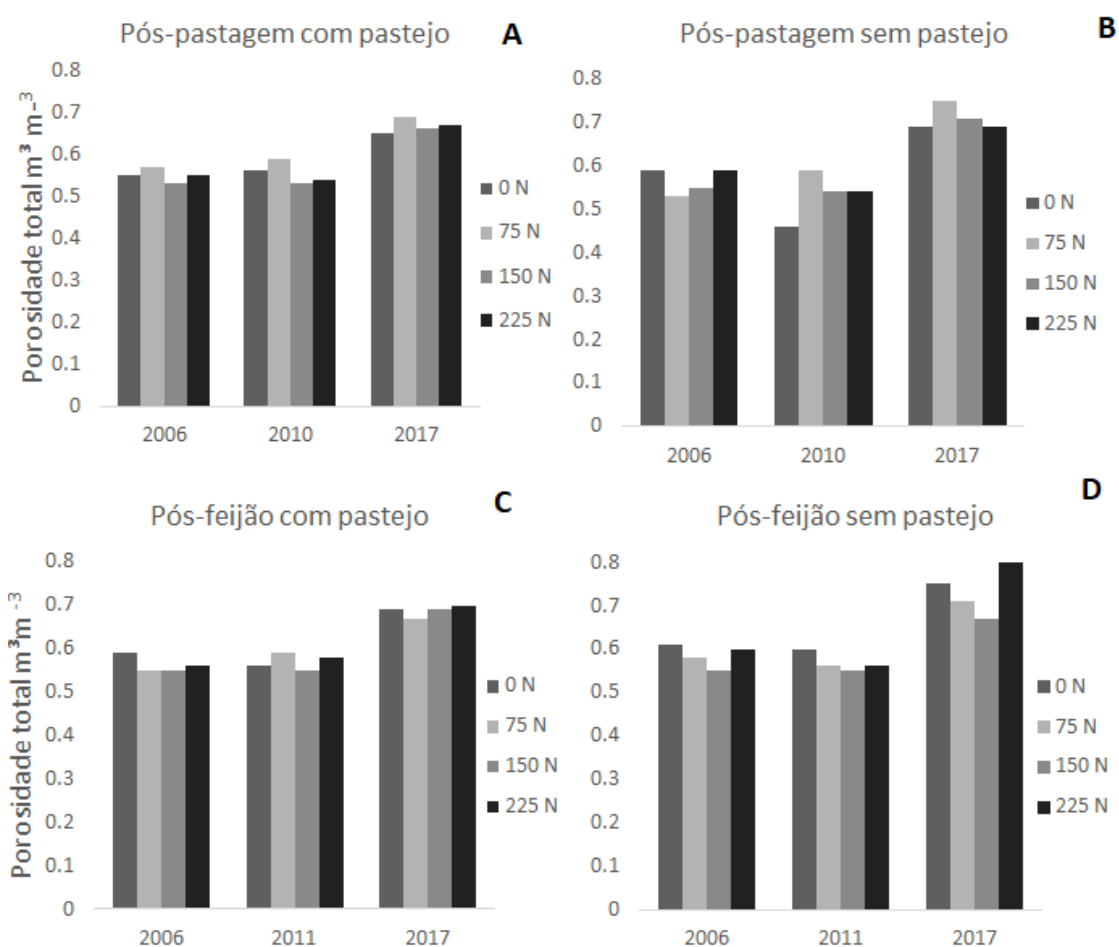


Figura 38: Porosidade total (P_t) na camada de 5-10 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

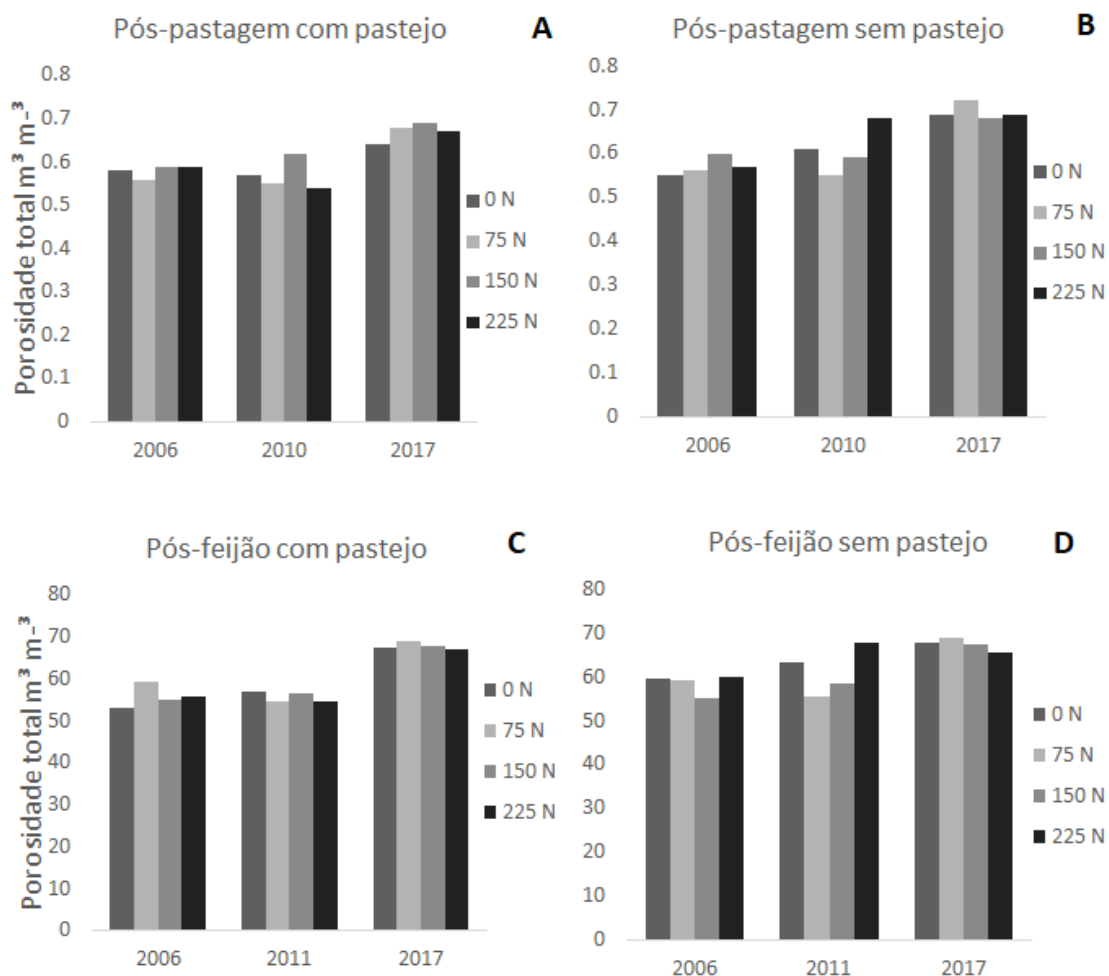


Figura 39: Porosidade total (Pt) na camada de 10-15 cm, em função das doses de N aplicadas e após 11 anos de experimento. A) pós-pastagem com pastejo (CP), B) pós-pastagem sem pastejo (SP), C) pós-feijão com pastejo (CP) e D) pós-feijão sem pastejo (CP).

A análise de cluster hierárquico dos anos 2010, 2011, 2017 e 2018, pós-feijão e pós-pastejo constatou-se a formação de três grupos, onde os tratamentos foram agrupados com base no grau de semelhança. A faixa de corte foi feita em 70% (**Figura 40**), onde o primeiro grupo foi formado pelos tratamentos 17F75NCP, 17F75NSP, 17P75NSP, 17F0NSP, 17F225NS, 17F150NS, 17F150NCP, 17F225NC, 17F0NCP, 17P150NC, 17P0NSP, 17P225NCP, 17P75NCP, 17P75NCP, 17P225NSP, 17P0NCP; o segundo grupo foi formado por 06P150NSP, 06P225NSP, 06P75NCP, 115225NSP, 10P225NSP, 06F225NSP, 06F0NSP, 06P225NCP, 06F0NCP, 11F0NSP, 10P150NCP, 11F150NCP, 0675NSP e 10P0NSP.

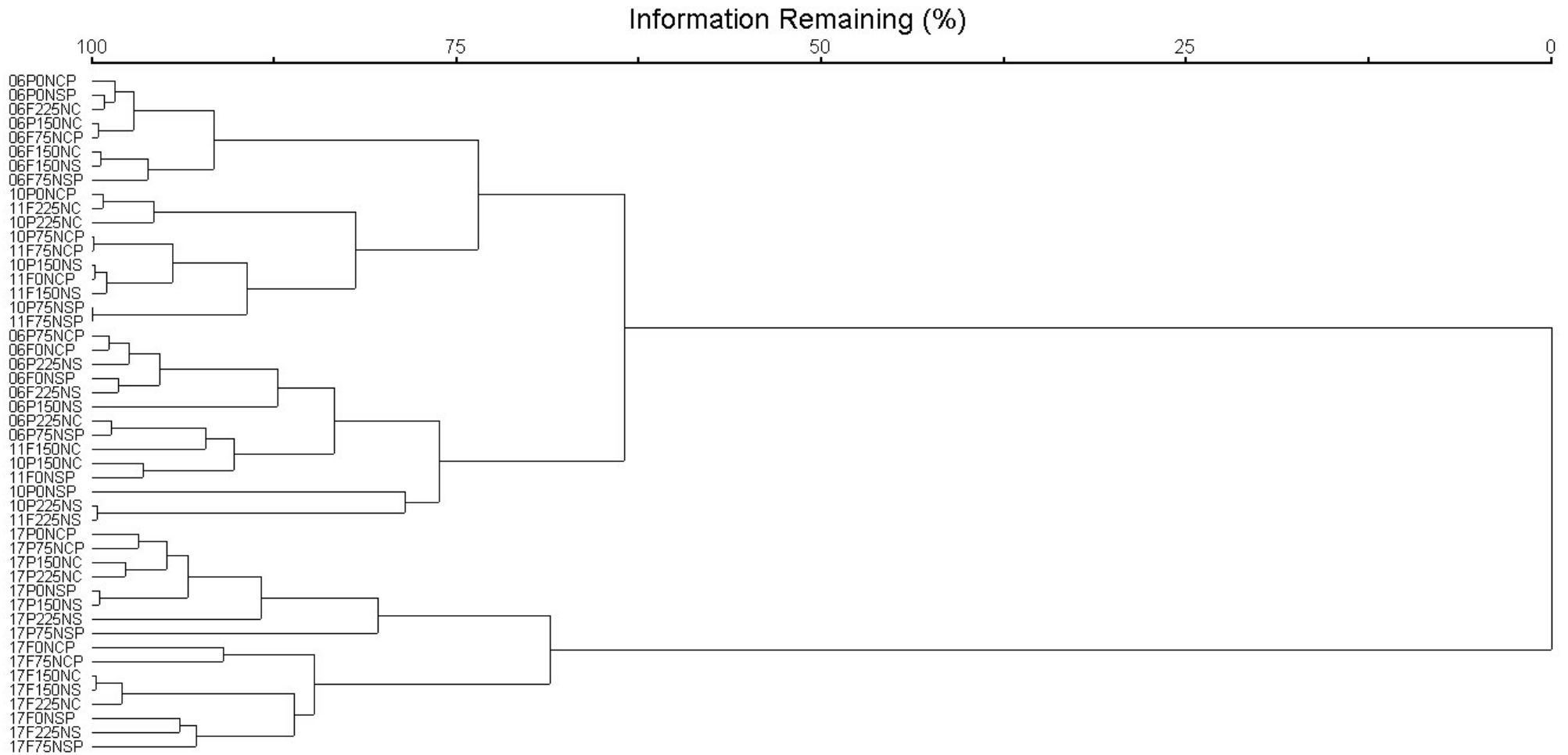


Figura 40: Cluster hierárquico em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0N, 75N, 150N e 225N kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo(SP), após pastejo (P) em pastagem de aveia consorciada com azevém (2010 e 2017) e após a cultura do feijão (F) (2011 e 2017). Guarapuava, PR.

Por fim, o terceiro grupo foi formado pelos tratamentos 06P0NSP, 06F225NCP, 0P150NCP, 06F75NCP, 06P0NCP, 06975NSP, 10P150NSP, 06P150NCP, 11F0NCP, 10P0NCP, 10P75NCP, 10P75NSP, 11F75NSP, 11F150NSP, 06F150NSP, 11F75NCP, 10P0NCP e 10P225NCP.

Na ACP, **Figura 41**, o componente principal 1 (CP 1) representou 70,26% da variância total, o CP2, 9,64%, totalizando a variância acumulada de 79,64%. No eixo 1 as variáveis Mi e Ds da camada de 0-5 cm apresentaram autovetores positivos, enquanto a Ds das camadas de 5-10 e 10-15 cm apresentaram autovetores negativos. No eixo 2 as variáveis Pt 10-15, Ma 10-15, Pt 5-10, Mi 5-10 e Mi 10-15 apresentaram autovetor positivo, e Ma 0-5, Ma 5-10 e Pt 0-5 foram negativos. A ACP (**Figura 41**) confirmou os grupos formados pela análise de cluster hierárquico (**Figura 39**).

Nos anos de 2006, 2010 e 2011 foi observado nítida tendência de agrupamento dos tratamentos à direita do diagrama de dispersão, o que refletiu em maior variabilidade dos atributos físicos do solo nos primeiros anos de experimento, confirmado pela variância total do PC1 de 70,26%. Este comportamento deve-se provavelmente a mudança de manejo da área.

A Ds das camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm apresentou forte relação com os tratamentos 06P0NSP, 06F225NCP, 0P150NCP, 06F75NCP, 06P0NCP, 06975NSP, 10P150NSP, 06P150NCP, 11F0NCP, 10P0NCP, 10P75NCP, 10P75NSP, 11F75NSP, 11F150NSP, 06F150NSP, 11F75NCP, 10P0NCP, 10P225NCP, 06P150NSP, 06P225NSP, 06P75NCP, 115225NSP, 10P225NSP, 06F225NSP, 06F0NSP, 06P225NCP, 06F0NCP, 11F0NSP, 10P150NCP, 11F150NCP, 0675NSP e 10P0NSP. Este resultado pode ser justificado pelo fato destes anos de avaliação apresentarem maiores médias de Ds.

A microporosidade das três camadas avaliadas (0-5, 5-10 e 10-15 cm), apresentou fraca relação com os anos de avaliação e tratamentos, confirmando os resultados encontrados anteriormente (**Figuras 34, 35 e 36**).

No ano de 2017, que marcou onze anos de protocolo experimental, observou-se maior dispersão dos tratamentos, apesar da baixa variância total encontrada na CP2. As variáveis Pt 0-5, Pt 5-10, Pt 10-15, Ma 0-5, Ma 5-10 e Ma 10-15 apresentaram relação com os tratamentos 17F75NCP, 17F75NSP, 17P75NSP, 17F0NSP, 17F225NS, 17F150NS, 17F150NCP, 17F225NC, 17F0NCP, 17P150NC, 17P0NSP, 17P225NCP, 17P75NCP, 17P75NCP, 17P225NSP, 17P0NCP.

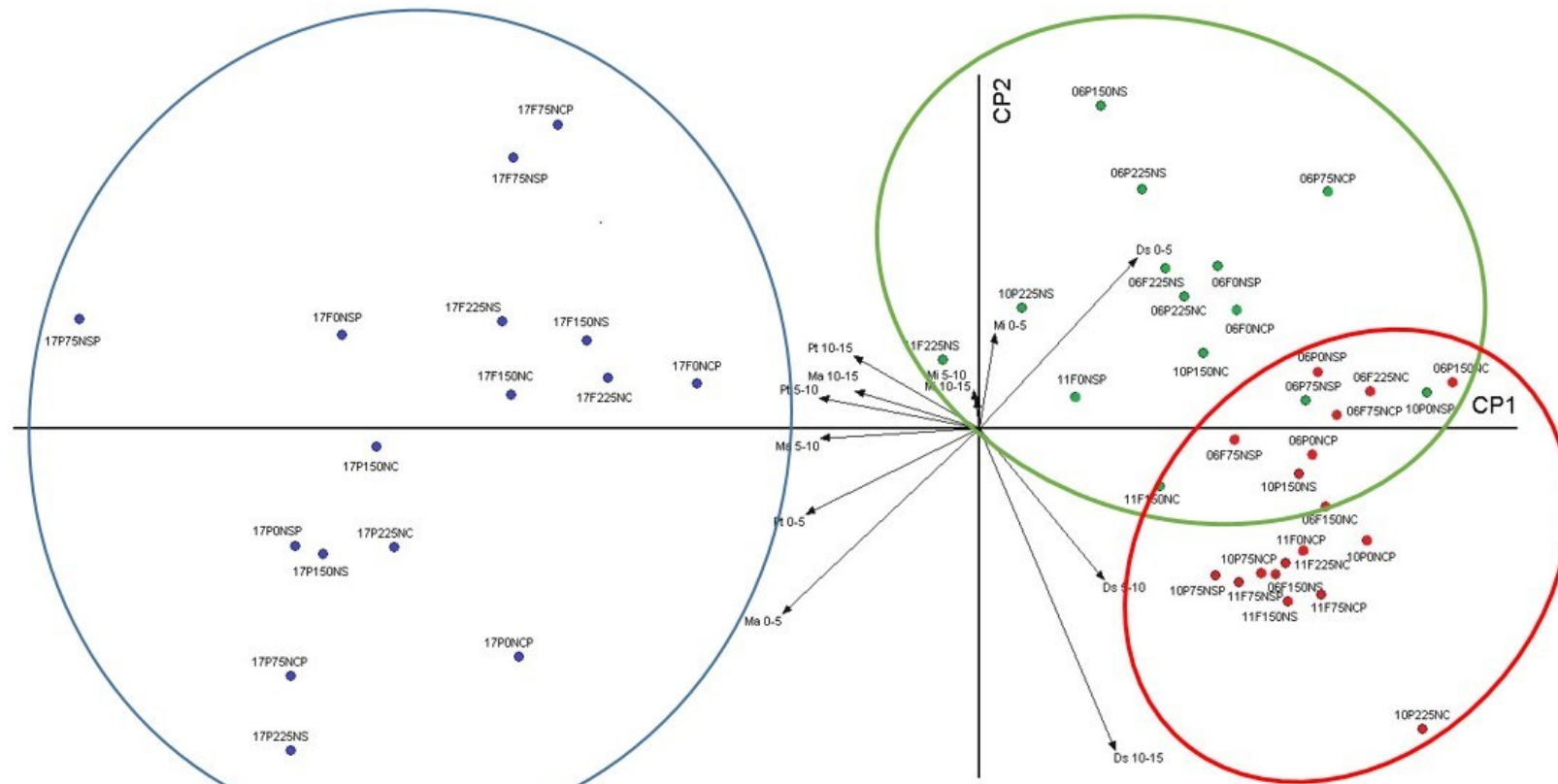


Figura 41: Análise dos Componentes Principais (ACP) para os atributos físicos do solo em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P) e após cultura do feijão (F), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Ds = densidade do solo, Ma= macroporosidade, Mi= microporosidade, Pt= porosidade total. Guarapuava, PR.

Esta relação da Ma e Pt com os tratamentos do ano de 2017 demonstra além da influência do manejo na qualidade física do solo, principalmente àquelas relacionadas ao sistema poroso do solo, a importância do uso do sistema de plantio direto e da rotação de culturas no sistema, uma vez que a ausência do revolvimento do solo pode contribuir para a melhoria da estrutura física do solo (SANTOS et al. 2011), e, ressalta a importância da rotação de culturas, mesmo durante o período de pastejo, uma vez que a troca da cultura utilizada para o pastejo durante o inverno neste trabalho, proporcionou incremento da macroporosidade do solo em razão do seu sistema radicular.

4 CONCLUSÕES

O sistema Integração Lavoura-Pecuária após onze anos de experimento propiciou aumento da macroporosidade do solo em todas as camadas avaliadas.

A presença do animal em áreas agrícolas não causa compactação do solo, ao contrário, contribui para melhorias dos atributos físicos, com diminuição da densidade e incremento da macroporosidade do solo.

O nitrogênio independente da dose não causou efeito expressivo nos atributos físicos avaliados, demonstrando que áreas bem manejadas, com uso de sistema de plantio direto, rotação de culturas e controle da carga animal, mesmo sem o uso do nutriente podem alcançar melhorias nas condições físicas do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da preocupação existente entre os produtores rurais sobre os possíveis impactos do pisoteio animal sobre os atributos físicos do solo, ficou evidente neste trabalho que o pastejo não afeta negativamente a qualidade física do solo, ao contrário, atua favorecendo o crescimento das raízes e conseqüentemente, promove abertura de canais que serão utilizados pela cultura sucessora.

Os resultados observados nestes 11 anos de protocolo experimental demonstram a importância da adoção do sistema, principalmente em áreas degradadas fisicamente, visto que houve aumento satisfatório da macroporosidade do solo e diminuição da densidade.

No entanto, torna-se necessário destacar que o manejo da pastagem durante o inverno em áreas com sistema de Integração Lavoura-Pecuária é a principal prática agrícola para o sucesso do sistema, uma vez que, em áreas sob pastejo o controle de carga animal e altura de pastagem são imprescindíveis, visto que, a cobertura do solo atenua o grau de impacto do pisoteio animal sobre o solo. Além disso o uso de técnicas de manejo como a rotação de culturas e o sistema de plantio direto, tornam-se imprescindíveis para o sucesso do sistema.

REFERENCIAS

ASSIS & LANÇAS. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 29:515-522, 2005.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ASSMANN, A.L.; PELISSARI, A.; MORAES, A. et al. Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo-branco e nitrogênio. *Revista Brasileira Zootecnia*, v.33, n.1, p.37-44, 2004.

ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; RAMALHO, J. H.; GARCIA, J. C.; CASTRO, A. D. N. Sistema de Integração Lavoura-Pecuária: o modelo Implantado na Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 9 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 93).

ALVARENGA, R.C.; NOCE, M.A. Integração Lavoura-Pecuária. EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005, 14 P. (EMBRAPA MILHO E SORGO Circular Técnica, 47). 2005.

ASSMANN, T. S.; CASSOL, L. C.; ASSMANN, A. L. Manejo da fertilidade do solo (ciclagem de nutrientes) em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: Nilvânia Aparecida de Mello; Tangriani Simioni Assmann. (Org.). *Anais... do I Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil*. 1 ed. Pato Branco: Imprepel, 2002, v. I, p. 61-84.

ASSMANN, T.S. Rendimento de milho em áreas de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. 2001. 80 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

ASSMANN, T.S.; ASSMANN, A.L.; SOARES, A.B. et al. Fixação biológica de nitrogênio por plantas de trevo (*Trifolium spp*) em sistema de integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. *Revista Brasileira Zootecnia*, v.36, n.5, p.1435-1442, 2007.

ASSMMAN, A. L. Adubação nitrogenada de forrageiras de estação fria em presença e ausência de trevo branco, na produção animal em área de integração lavoura-pecuária. Curitiba, 2002. 122 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, 2002

ASSMANN, T.S.; ASSMANN, A.L.; SOARES, A.B. et al. Fixação biológica de nitrogênio por plantas de trevo (*Trifolium* spp) em sistema de integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. *Revista Brasileira Zootecnia*, v.36, n.5, p.1435-1442, 2007.

ANGHINONI, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, E. D.; CONTE, O.; LANG, C. R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F; BARTH, G. Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. Ponta Grossa: AEACG/Inpag, 2011. p. 1-31.

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

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 31, p. 617-625, 2007.

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

Azevedo, E. C.; SVERZUT, C. B. Alterações dos atributos físicos e químicos do solo sob pastagem no sudoeste do estado de Mato Grosso. *Revista Agricultura Tropical*, v.9, p.1-17, 2007.

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

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo, 25:189-197, 2001.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeito da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Campinas, v. 25, n. 3, p.717-723, 2001.

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

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.

A. ALBUQUERQUE, L. SANGOI & M. ENDER. EFEITOS DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E CARACTERÍSTICAS DA CULTURA DO MILHO. R. Bras. Ci. Solo, 25:717-723, 2001.

ANDREOLLA, V.R.M.; MORAES, A.; BONA FILHO, A.; SANDINI, I.E. PASTEJO E ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.35, n.6, p.1019-1031, nov./dez. 2015.

ANDREOLLA, V.R.M.; MORAES, A.; BONA FILHO, A.; SANDINI, I.E.; BONINI, A.K.; DEISS, L. PASTEJO E NITROGÊNIO NO AZEVÉM SOBRE A QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.35, n.1, p.11-26, jan./fev. 2015.

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- CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37, 2008. Anais Foz do Iguaçu, 2008

BORTOLINI, D.; BRAIDA, J.A.; CASSOL, L.C.; MIGLIORINI, F.; SILVA, M.R.; FERRAZZA, J.M. Altura de manejo de papuã e propriedades de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 60, n.4, p. 535-543, jul/ago, 2013.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. *Numerical Ecological with R*. New York: Springer, 2011. 306p.

BOONE, F.R. & VEEN, B.W. Mechanisms of crop responses to soil compaction. In: SOANE, B.D. & VAN OUWERKERK, C., eds. *Soil compaction in crop production*. Amsterdam, Elsevier, 1994. cap.11, p.237-264.

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. 2002. 105f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná, PR.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. (Ed.). *Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta*. Brasília: Embrapa, 2011.130p.

BALBINOT JR., A.A. et al. Desempenho da cultura do feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, p.2340-2346, 2009.

BERTOL, I.; AMARAL, A.J.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; GONZÁLEZ, A.P.; BARBOSA, F.T. & BRIGNONI, L.F. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:543-553, 2006.

BAUER, A. Soil property comparisons in virgin grasslands between grazed and nongrazed management systems. *Soil Science Society America Journal*, v.51, 76–182p., 1987.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Matéria seca e altura das plantas de soja e arroz em função do grau de compactação e do teor de água de dois latossolos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.1, p.142-149, 2004.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. *Numerical Ecological with R*. New York: Springer, 2011. 306p.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria Orgânica e seu efeito na física do solo. Tópicos em Ciência do Solo, v. VII, p. 221-278, 2011.

BAVER L.B., GARDNER W.H., GARDNER W.R. (1972): Soil Physics. 4th Issue, John Wiley & Sons, Inc., New York.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. Soil Tillage Res., 53:95–104, 2000.

BONETTI, J. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G. N. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015

BALBINOT JR., A.A. et al. Desempenho da cultura do feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno. Ciência Rural, Santa Maria, v.39, p.2340-2346, 2009.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. & SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. Soil Till. Res., 43:205-217.

BONINI, C.S.B.; LUPATINI, G.C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G.P.; HEINRICH, R.; ARANHA, A.S.; SANTANA, E.A.R.; MAIRELLES, G.C. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. Pesq. agropec. bras. vol.51 no.9 Brasília Sept. 2016.

CABRAL, C.E.; SILVA, E.M.B.; BONELLI, E.A.; SILVA, T.J.A.; CABRAL, C.H.A.; SCARAMUZZA, W.L.M.P. Compactação do solo e macronutrientes primários na Brachiaria brizantha cv. Piatã e Panicum maximum cv. Mombaça. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.4, p.362–367, 2012.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M.; BONINI, C.S.; LONGHINI, V.Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na Integração Lavoura-Pecuária em sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 39:852-863, 2015.

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

CARVALHO, P.P.C.F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E.D.; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J.P.C.; LOPES, M.L.T.; SILVA, J.L.S.; CONTE, O.; WESP, C.L.; LEVIEN, R. FONTANELI, R.S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosyst*, v.88, p.259-273, 2010.

CARVALHO, P. C. F. MORAES, A. de; ANGHINONI, I.; LANG, C. R.; SILVA, J. L. S.; SULC, R. M.; TRACY, B. F. Manejo da integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto na região de clima subtropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 10, 2006, Uberaba. Resumos. Uberaba: Federação Brasileira de Plantio direto na palha, 2006. p. 77-184.

CONTE, O.; FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGUINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R.; WESP, C.L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1301-1309, 2011.

CASTRO FILHO, C.; HEINKLAIN, J.C.; VIERIA, M.J.; CASÃO JR, R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 20, p. 271-283, 1991

CARVALHO, P. C. DE F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; TREIN, C. R.; FLORES, J. P. C.; CEPIK, C. C.T.; LEVIEN, R.; LOPES, M. T.; BAGGIO, C.; LANG, C. R.; SULC, R. M.; PELISSARI, A. O estado da arte em integração lavoura-pecuária. In: GOTTSCHELL, C. S.; SILVA, J. L. S. DA; RODRIGUES, N. C. (Org.). *Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia*. Canoas-RS, p. 7-44. 2005.

CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; PONTES, L. S.; ANGHINONI, I.; SULC, R. M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. *Revista Ciência Agronômica*, 45:1040-1046, 2014.

CARVALHO, J.E.B.; PAES, J.M.V. & MENEGUCCI, J.L.P. Manejo de plantas daninhas em citros. *Inf. Agropec*, 22:6170, 2001.

CARVALHO, J.L.N. et al. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil Tillage Research*, 110, 175-186, (2010).

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.289-298, 1999.

CARVALHO, L. P. F.; CABRITA, A. R. J. ; DEWHURST, R. J. ; VICENTE, T. E. J. ; LOPES, Z. M. C. ; FONSECA, A. J. M., 2006. Evaluation of palm kernel meal and corn distillers grains in corn silage-based diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 89 (7): 2705-2715

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S.. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2004.

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

CANARACHE, A. Penetr - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil Till. Res.*, 16:51-70, 1990.

CARVALHO, P.C.F.; RIBEIRO FILHO, H.M.N.; POLI, C.H.E.C.; MORAES, A.; DELAGARDE, R. 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, 2001. p.853-871.

CLARK, J.T.; RUSSELL, J.R.; KARLEN, D.L.; SINGLETON, P.L.; BUSBY W.D. & PETERSON, B.C. Soil surface property and soybean yield response to corn stover grazing. *Agron. J.*, 96:1364-1371, 2004.

CANTARELLA, H. & DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C. & MIRANDA, G.V., eds. *Tecnologia de produção de milho*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.139-182.

COSTA, N. R. Adubação nitrogenada no consórcio milho/braquiárias e efeito sobre o feijão de inverno em sucessão no cerrado. Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, (Mestrado Dissertação) Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção, 2010.

CHIODEROLI CA, MELLO LMM, GRIGOLLI PJ, FURLANI CEA, SILVA JOR, CESARIN AL. Atributos físicos do solo, produtividade de soja em sistema de consórcio milho, braquiária. R Bras Eng Agríc Amb. 2012;16:37-43.

CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.20, n.11, p.1317-1322, nov. 1985.

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

COIMBRA, C.H.; SOUZA M.L.P.; MORAES, A. avaliação do impacto do animal no solo em áreas de plantio direto envolvidos na integração lavoura pecuária. In: SIMPOSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, 1996, Maringá. Anais.. Maringá, 1996. P 129-150.

DACAËNS, T.; BUREAU, F.; MARGERIE, P. Earthworm communities in a wet agricultural landscape of the Seine Valley (Upper Normandy, France). Pedologia, v.47, p. 479-489, 2003.

DOUGLAS J.T. ; CRAWFORD C.E. (1998) Soil compaction effects on utilization of nitrogen from livestock slurry applied to grassland Grass and Forage Science 53 (1), 31-40

DU TOIT, G. VAN N.; SNYMAN, H. A.; MALAN, P. J. Physical impact of grazing by sheep on soil parameters in the Nama Karoo subshrub/grass rangeland of South Africa. Journal of Arid Environments, v.73, p.804-810, 2009.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; GONÇALVES, S. L. C Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 20 p. (Embrapa Soja, Circular Técnica, 63).

DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:175-182, 1996.

DEXTER, A.R. Amelioration of soil by natural processes. Soil Tillage Res.1991.

EMBRAPA. Integração Lavoura – Pecuária. Documentos 47. Dezembro, 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Manual de Métodos de Análise de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997. 23.p.

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

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

FLORES, J.P.C. et al. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.2385-2396, 2008.

FERREIRA, E.V.O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; COSTA; S.E.V.G.A.; CAO, E.G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 1675-1684, 2009.

FIDALSKI, J.; ALVES, S.J. Altura de pastejo de braquiária e carga animal limitada pelos atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária com soja. R. Bras. Ci. Solo, 39: 864-870, 2015.

FERREIRA, M.M. Caracterização Física do solo. In: QUIRIJN, J. L. Física do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 298 p., 1° ed., 2010.

FRANCHINI, J.C. et al. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.459-467, 2000.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil physical aspects of integrated crop-livestock systems. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba. (Anais...). Ohio State University, 2007.

FONSECA, L. M.; RODRIGUES, R.; CERQUEIRA, M. M. O. P.; FONSECA, C. S. P. F.; LEITE, M. O; SOUZA, M. R.; PENNA, C. M. Situação da qualidade do leite cru em Minas Gerais. In: I ENCONTRO DE LEITE DE PRODUTORES DE LEITE DO NORTE DE MINAS GERAIS, 2007, Montes Claros. Anais... Montes Claros: UFMG/ICA, 2007, p. 93-112.

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, v.57, n.1, p.25-29, 2000.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.637-645, 2007

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

FLORES, J.P.C. Atributos físicos e químicos do solo e rendimento de soja sob integração lavoura-pecuária em sistemas de manejo. 2008. 102p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M. & GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:459-467, 2000.

GONÇALVES, S.A.; FRANCHINI, J.C. Integração lavoura-pecuária. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 44).

GIACOMINI, S.J. & AITA, C. Decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. R. Bras. Ci. Solo, 27:601-612, 2003.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S. & RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento Hardsetting: Estudo de caso. R. Bras. Ci. Solo, 25:239-247, 2001..

GROSS, M. R.; RIBEIRO, G. J. T.; SCHMIDT, P. A.; CORRÊA, J. B. D.; LEITE, G. M. V.; SILVEIRA, T. Comportamento do rendimento de forrageiras em função da compactação em latossolo vermelho distroférico típico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto-SP. Anais... Ribeirão Preto: UNESP, 2003. CD-ROM.

GENRO JUNIOR, S.A. Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturas no sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 90p. (Tese de Mestrado).

HUMPHREYS, L.R. Tropical Forages: Their role in sustainable agriculture, Harlow: Longman Scientific & Technical. 414 p. 1994

HAKANSSON, I. & VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & STEWARD, B.A., eds. Methods for assessment of soil degradation. Advances in soil science. Boca Raton, CRS Press, 1998. p.167-179.

HENTZ, P.; CARVALHO, N.L.; LUZ, L.V.; BARCELLOS, A.L. Ciclagem de Nitrogênio em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 36 Ed. Especial II, p. 663-676, 2014.

HENKLAIN, J.C.; GUIMARÃES, M.F.; VIEIRA, M.J. & MEDINA, C.C. Efeito do preparo do solo no desenvolvimento radicular. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 1., Ponta Grossa, 1996. Resumos expandidos. Ponta Grossa, Instituto Agronômico do Paraná, 1996. p.103-105.

JESUS, C P de. Atributos físicos do solo e produtividade da soja após um ano de integração lavoura-pecuária em área sob plantio direto. Dissertação (Mestrado em

ciência do solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. 2006. 46p.

REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Propriedades físicas do solo. Santa Maria, 2006.

KUNZ, M.; GONÇALVES, A.D.M.A.; REICHERT, J.M.; GUIMARÃES, R.M.L.; REINERT, D.J.; RODRIGUES, M.F. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. R. Bras. Ci. Solo, 37:1699-1708, 2013

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L.P.; OLIVERIA, I.P.; COSTA, J.L.S.; SILVA, J.G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A.O.; MAGNABOSCO, C.U. Sistema Santa Fé - Tecnologia Embrapa: Integração Lavoura-Pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de ILP, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, L.F. Uso da ILP na recuperação de pastagens degradadas. IN: ILP. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2003.

KLUTHCOUSKI, J. AIDAR, H.; COBUCCI, T.; STONE, L.F.; THUNG, M.D.T.; BALBINO, L.C.; SILVA, C.C.; OLIVEIRA, F.R. ILP: estudo de caso vivenciado pela Embrapa Arroz e Feijão. In: Ciência, Agricultura e sociedade. 1º Ed. Embrapa Informação Tecnológica. P. 277-330. Brasília, 2006.

KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 26:857-867, 2002.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia: relação solo-água-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979

LYNCH, J.M.; BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. Advances in Soil Science, New York, v. 2, p. 133-171, 1985

LUNARDI, R.; CARVALHO, P.C. de 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, p.795-801, 2008.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 190:4-8, 2014.

LEY, G.I.. MULLINS, C.E.. LAL, R. Effects at soil properties on the strength of weak structured tropical soils. *Soil Till. Res.* 28. 1993.

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

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo em plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

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

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci.*, 1:277-94, 1985.

MORAES, A.; CARVALHO, P.F.C.; PELISSARI, A. ALVES, S.J.; LANG, C.R.. 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

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p.133-146, 2009.

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

MELLO, N. A. Degradação física dos solos sob integração lavoura pecuária. In: MELLO, N.; ASSMANN, T. S. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURAPECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., 2002. Pato Branco. Anais... Pato Branco: Imprevel Gráfica & Editora Ltda, 2002. p. 43-60.

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

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. B.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiás, v. 35, n. 3, p. 155-161. 2005.

MENEGATTI, D. P.; ROCHA, G. P.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A. Nitrogênio na produção de matéria seca, teor e rendimento de proteína bruta de três gramíneas do gênero *Cynodon*. Ciência e Agrotecnologia, v. 26, n. 3, p. 633-642, 2002.

MOREIRA, W.H.; TORMENA, C.A.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L.P.; ALVES, S.J. Influência da altura de pastejo de azevém e aveia em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.38, p.1315-1326, 2014.

MOHAMED SALLEN, M.A.; FISHER, M.J. Role of ley farming in crop rotations in the tropics. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17, 1993, Rockhampton,. Proceedings. Rockhampton, 1993: p.2179-2187

McKENZIE, S.A.; HAMPTON, J.G.; WHITE, J.G.H.; HARRINGTON, K.C. Annual crop production principles. In. New Zealand Pasture and Crop Science. Ed. James White and John Hodgson. Oxford University Press. Cap.13, p.199-212. 323p. 1999.

MONTEIRO, F.A. & WERNER, J.C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997.

MAPFUMO, E.; CHANASYK, D.S.; NAETH, M.A. & BARON, V.S. Soil compaction under grazing of annual and perennial forages. Can. J. Soil Sci., 79:191-199, 1999

MEROTTO, A. & MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. R. Bras. Ci. Solo, 23:197-202, 1999

MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L. Resultado econômico e estratégias de intensificação da adubação de pastagens. In: MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. (Ed.). Uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap.3, p.69-92. 2007

MCCUNE, B. & MEFFORD M. J. 2011. PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data. version 6. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon.

MENDONÇA VZ, MELLO LMM, ANDREOTTI M, PEREIRA FCBL, LIMA RC, VALÉRIO FILHO WV, YANO EH. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de cerrados. R Bras Ci Solo. 2013;37:251-9.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.35, n.3, p.155-161, 2005.

MORAIS, T. P. S.; PISSARRA, T. C. T.; REIS, F. C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e canade-açúcar. Enciclopédia Biosfera, v.8, n.15, p.213-223, 2012.

MORAES, A. et al. Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil. In: I ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., 2002, onde? Anais... Cidade, 2002. p.3-42.

Mendonça VZ, Mello LMM, Andreotti M, Pereira FCBL, Lima RC, Valério Filho WV, Yano EH. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de cerrados. R Bras Ci Solo. 2013;37:251-9.

MEROTTO JR., A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, n.2, 197-202, 1999.

MASLE, J. & PASSIOURA, J.B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. *Aust. J. Plant Physiol.*, 14:643-656, 1987.

MASLE, J. & FARQUHAR, G.D. Effects of soil strength on the relation of water-use efficiency and growth to carbon isotope discrimination in wheat seedlings. *Plant Physiol.*, 86:3238, 1988.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; Sá, M. A. C.; Vilela, L.; Becquer, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavourapecuária no cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.873-882, 2007.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.163-170, 2006.

NETO, D. D.; FANCELLI, A. L. ; Produção de Feijão. Editora Agropecuária. Guaíba, RS. 2000.

NEIRO, E.S.; MATA, J.D. V.; TORMENA, C.A.; GONÇALVES, A.C.A.; PINTRO, J.C. & COSTA, J.M. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distroférico, com rotação e sucessão de culturas, sob plantio direto. *Acta Sci.*, 25:19-25, 2003.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C. & BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:1735-1742 , 2008

PÉREZ-GOMEZ, E.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Resistência à penetração de Vertissolo a diferentes umidades e uso do solo. In: XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2012.

PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v.34, n.5, p.1515-1526, 2010.

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

PORTUGAL, A.F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C.E.G.R. & WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 32:2091-2100, 2008.

PEREIRA, J.O.; SIQUEIRA, J.A.C.; URIBE-OPAZO, M.A. & SILVA, S.L. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 6:171-174, 2002

PACENTCHUK, F. RESPOSTA DO FEIJÃO DE ALTA PRODUTIVIDADE AO NITROGÊNIO NO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURAPECUÁRIA EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste. 2016.

PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. & NACHTIGALL, G.R. Produtividade do Arroz Irrigado em Sistemas de Cultivo Contínuo e em Rotação com Soja e Milho. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 18, Porto Alegre, 1989. Anais. Porto Alegre, IRGA, 1989. p.150-60

PENTEADO, S. R. Adubos verdes e produção de biomassa melhoria e recuperação dos solos. Campinas: Editora Via Orgânica, 2007. 170 p.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.3, p.521-529, 2001.

QUEIROGA, A.; FERNÁNDEZ, R.; NOELLEMAYER, E. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. Soil & Tillage Research, v.105, p.164-170, 2009.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. Bioscience Journal, Uberlândia, v.26, n. 1, p. 24-32, 2010.

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.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1805-1816, 2008.

RALISCH, R; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. DE C.; GUIMARÃES, M. DE F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.381-384, 2008.

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. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.129-136, 2009.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.

SILVEIRA, E.R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; PIAZZETTA, L.H.; LANG, C.R.; CARVALHO, P.C.F. Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária. *Ciências Agrárias*, v. 33, n. 4. p. 1323-1332. 2012.

SILVA, R.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M.; GUIMARÃES, M.F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, p. 697-704, 2006.

STUDDERT, G.A. ECHEVERRIA, H.E.; CASANOVAS, E.M. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.61, p. 1466-1472, 1997.

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

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas do solo, sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.36, p.1.1931.200, 2006.

SILVEIRA, D.C.; FILHO, J.F.M.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relação Umidade versus Resistência à Penetração para um Argissolo Amarelo Distrocoeso no Recôncavo da Bahia. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:659-667, 2010.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo quartzarenico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, nov. 2005.

SALTON JC, TOMAZI M (2014) Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo. Comunicado Técnico 198. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, Brasil. 6 pp.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1339-1348, 2011

SANTOS H.P., FONTANELI R.S, SPERA S.T., DREON G.. Fertilidade, teor de matéria orgânica do solo em sistemas de produção com integração lavoura, pecuária sob plantio direto. *R Bras Ci Agron*. 2011;6:474-82.

SILVA, P. R. F.; SANGOI, G. A. L. ; STRIEDER, M. L. ; SILVA, A. A. , 2006. Management strategies of winter cover crops to maize grown in succession in no-till system. *Ciência Rural*, 36 (3): 1011-1020

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.

SOEHNE, W. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agric. Eng.*, 39:276-281, 1958.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R.A.; LUGÃO, S.M.B. et al. Respostas agronômicas e morfológicas de *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob pastejo, à adubação nitrogenada. Boletim da Indústria Animal, p.333-346, v.62, 2005.

STOLF, R. & FAGANELLO, B.F. Utilização do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf, na recomendação do preparo do solo na Usina Nossa Senhora Aparecida (Pontal-SP). STAB, 1:11-22, 1983

STOLF, R.; FERNANDES, J. & URLANI NETO, V.L. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo, MIC/IAA/ PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1).

SINGH, R. S. et al. Nitrogen mineralization in dry tropical savanna: Effects of burning and grazing. Soil Biology and Biochemistry, v.22, p.835-838, 1991.

SILVA, C. P.; MONTEIRO, F. A. Morfogênese e produção de biomassa do capim-tanzânia adubado com nitrogênio e cálcio. Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, n.2, p.335-342, 2007.

SALES, L.E. de O.; CARNEIRO, M.A.C.; SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G.C. de; FERREIRA, M.M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. Ciência e Agrotecnologia, v.34, p.667-674, 2010.

SILVA, H. O. ; FONSECA, R; A. DA; GUEDES FILHO, R. DE S., 2000. Productive traits and digestibility of cassava leaf meal in broiler diets with or without addition of enzymes. Rev. Bras. Zootec., 29 (3): 823-829.

SOUZA, E. D. de. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

TARRA, L.C.; LUIZÃO, F.J.; WANDELLI, E.V.; TEIXEIRA, W.G.; MORAIS, W.J.; CASTRO, J.G.D. Tempo de uso em pastagens e volume dos macroporos do solo na Amazônia Central. Rev. bras. eng. agríc. ambient. [online]. 2010, vol.14, n.6, pp.678-683. ISSN 1807-1929.

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. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, MG, v. 15, n. 1, p. 105-111, 1991.

TRINDADE, T. P.; CARVALHO, C.A.B.; LIMA, D.C.; BARBOSA, P.S.A.; SILVA, C.H.C.; MACHADO, C.C. Compactação dos solos: Fundamentos teóricos e práticos. Editora UFV. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa- MG. 2008.

TORMENA, C.A. & ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 20:333-339, 1996.

THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 1039-1047, 2003.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JÚNIOR, J. J. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. Soil Science, v.102, p.18-22, 1966.

TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Compressibility of Oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. R. Bras. Ci. Solo, 33:1525-1533, 2009.

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

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

TARRÁ I.L.C., LUIZÃO F.J., WANDELLI E.V, TEIXEIRA W.G., MORAIS W.J., FERNANDES E.C.M.. Grupos funcionais da macrofauna e macroporos do solo em sistemas agrofloretais da amazônia central. Prospectiva 2012; 10: 6-17

VILELA L. *et al.* Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

VILELA, L. ; MARTHA JUNIOR, Geraldo Bueno ; MARCHÃO, R. L. ; GUIMARÃES JR., R. ; BARIONI, Luis Gustavo ; BARCELLOS, A. O. . Integração lavoura-pecuária. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. de. (Org.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. 1ed.PLANALTINA-DF: EMBRAPA CERRADOS, 2008, v. CAP 30, p. 933-962.

VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: IAPAR. (Londrina, PR). Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina, 1981. p.19-32. (IAPAR. Circular, 23).

VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.19, n.7, p.873-882, jul. 1984.

VOORHEES, W.B.; JOHNSON, J.F.; RANDALL, G.W. & NELSON, W.W. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. Agron. J., 81:294-303, 1989.

WUTKE, E. B. *et al.* Instruções agrícolas para o estado de São Paulo – Boletim N°200. 6ª edição. Instituto Agrônomo de Campinas. 1995. p. 286-287.

WENDLING, I.; XAVIER, A.; PAIVA, H.N. Influência da ministaquia seriada no vigor de minicepas de clones de *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore, v.27, n.5, 2003. p. 611-618.

WHITEHEAD, D.C. Volatilization of ammonia. In: WHITEHEAD, D.C. (Ed.) Grassland nitrogen. Wallingford: CAB International, 1995. p.152-179.

WHÍSLER, F.D.; ENGLE, C.F. & BAUGHMAN, N.M. The effect of soil compaction on nitrogen transformation in the soil. Wageningen, W. Vá. Agr. Expt. Sta. 1965. 12p. (Boletim, 5161)

ZIMMER, A.H., MACEDO, M.C.M., KICHEL, A.N., EUCLIDES, V.P.B. Integrated Agropastoral Production Systems. In: Guimarães, E. P. *et al.*(Eds.). Agropastoral Systems for the Tropical Savannas of Latin America. Colombia, CIAT. p.253-290. 2004.

ANEXOS

Tabela 1. Resumo da análise da variância com valores do quadrado médio de Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade total para os anos de 2010 após o pastejo e 2011 após a cultura do feijão.

| | | 2010 – Após Pastejo | | | | | | 2011 – Após Feijão | | | | | |
|-------------|----|---------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------------------|---------|-------|--------|-------|---------|
| | | DENSIDADE | | | | | | | | | | | |
| | | 0-5 | | 5-10 | | 10-15 | | 0-5 | | 5-10 | | 10-15 | |
| FV | GL | QM | P | QM | P | QM | P | QM | P | QM | P | QM | P |
| N | 3 | 0,038 | 0,243 | 0,003 | 0,162 | 0,005 | 0,199 | 0,004 | 0,334 | 0,001 | 0,796 | 0,001 | 0,652 |
| BLOCO | 2 | 0,020 | 0,431 | 0,004 | 0,151 | 0,015 | 0,03* | 0,048 | 0,004 | 0,002 | 0,524 | 0,002 | 0,138 |
| ERRO A | 6 | 0,020 | | 0,001 | | 0,002 | | 0,003 | | 0,003 | | 0,001 | |
| PASTEJO | 1 | 0,000 | 0,934 | 0,000 | 0,945 | 0,016 | 0,166 | 0,003 | 0,054** | 0,002 | 0,049* | 0,000 | 0,933 |
| NXP | 3 | 0,003 | 0,311 | 0,003 | 0,688 | 0,016 | 0,146 | 0,001 | 0,236 | 0,001 | 0,312 | 0,001 | 0,783 |
| ERRO B | 8 | 0,002 | | 0,007 | | 0,006 | | 0,001 | | 0,000 | | 0,002 | |
| TOTAL | 23 | | | | | | | | | | | | |
| | | MACROPOROSIDADE | | | | | | | | | | | |
| DOSES N | 3 | 11,64 | 0,139 | 3,31 | 0,633 | 6,01 | 0,103 | 15,44 | 0,213 | 10,53 | 0,467 | 12,06 | 0,273 |
| BLOCO | 2 | 11,58 | 0,147 | 18,15 | 0,106 | 14,81 | 0,020* | 130,51 | 0,003 | 3,33 | 0,747 | 10,26 | 0,314 |
| ERRO A | 6 | 4,33 | | 5,45 | | 1,87 | | 7,67 | | 10,91 | | 7,26 | |
| PASTEJO | 1 | 0,005 | 0,995 | 0,19 | 0,806 | 10,92 | 0,295 | 1,71 | 0,724 | 4,05 | 0,355 | 1,37 | 0,770 |
| NXPASTE | 3 | 3,553 | 0,831 | 6,46 | 0,176 | 13,77 | 0,268 | 13,13 | 0,433 | 1,47 | 0,791 | 2,14 | 0,932 |
| ERRO B | 8 | 12,25 | | 3,05 | | 8,72 | | 12,87 | | 4,21 | | 15,18 | |
| TOTAL | 23 | | | | | | | | | | | | |
| | | MICROPOROSIDADE | | | | | | | | | | | |
| DOSES N | 3 | 85,32 | 0,483 | 39,85 | 0,602 | 71,00 | 0,648 | 0,76 | 0,870 | 11,33 | 0,363 | 11,10 | 0,079** |
| BLOCO | 2 | 197,27 | 0,198 | 34,50 | 0,590 | 62,39 | 0,623 | 1,25 | 0,698 | 10,53 | 0,367 | 0,19 | 0,936 |
| ERRO A | 6 | 92,04 | | 59,80 | | 121,96 | | 3,29 | | 8,85 | | 2,96 | |
| PASTEJO | 1 | 48,51 | 0,342 | 97,04 | 0,252 | 4,14 | 0,809 | 1,95 | 0,403 | 0,24 | 0,893 | 0,45 | 0,799 |
| NXPASTE | 3 | 44,35 | 0,469 | 35,46 | 0,658 | 81,77 | 0,362 | 2,69 | 0,413 | 9,85 | 0,546 | 1,81 | 0,841 |
| ERRO B | 8 | 47,62 | | 63,79 | | 66,76 | | 2,50 | | 12,93 | | 6,58 | |
| TOTAL | 23 | | | | | | | | | | | | |
| | | POROSIDADE TOTAL | | | | | | | | | | | |
| DOSES N | 3 | 88,30 | 0,491 | 45,71 | 0,391 | 43,81 | 0,712 | 6,46 | 0,405 | 20,30 | 0,399 | 1,47 | 0,372 |
| BLOCO | 2 | 133,05 | 0,324 | 13,32 | 0,721 | 58,15 | 0,568 | 104,75 | 0,002 | 1,46 | 0,920 | 10,82 | 0,014 |
| ERRO A | 6 | 97,40 | | 38,58 | | 92,72 | | 5,65 | | 17,48 | | 1,17 | |
| PASTEJO | 1 | 39,37 | 0,460 | 40,48 | 0,439 | 99,23 | 0,237 | 4,14 | 0,213 | 5,15 | 0,394 | 3,40 | 0,350 |
| N X PASTEJO | 3 | 30,03 | 0,718 | 45,30 | 0,556 | 80,81 | 0,332 | 2,96 | 0,337 | 8,58 | 0,325 | 2,04 | 0,638 |
| ERRO B | 8 | 65,50 | | 61,12 | | 60,96 | | 2,27 | | 6,35 | | 3,45 | |
| TOTAL | 23 | | | | | | | | | | | | |

Nota: * e ** significativo respectivamente a 1% e 5%

Tabela 2. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas para os atributos físicos do solo observados em 2010 e 2011, em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P) e cultura do feijão (F).

| TRATAMENTOS | COMPONENTE PRINCIPAL | |
|--------------------------------|----------------------|---------|
| | CP1 | CP2 |
| 0NSP-F | 13.1101 | 5.2709 |
| 75NSP-F | 2.6284 | 7.0988 |
| 150NSP-F | -0.4926 | 4.2394 |
| 225NSP-F | -5.5103 | 2.6422 |
| 0NCP-F | -0.9975 | 5.7544 |
| 75NCP-F | -3.1223 | 3.9447 |
| 150NCP-F | -0.5007 | 3.7611 |
| 225NCP-F | 10.881 | 0.4563 |
| 0NSP-P | 1.9465 | -7.0748 |
| 75NSP-P | -0.4342 | 1.6208 |
| 150NSP-P | -5.4853 | -1.4553 |
| 225NSP-P | -7.5662 | -2.5537 |
| 0NCP-P | 4.2301 | -11.462 |
| 75NCP-P | -8.4232 | 2.1456 |
| 150NCP-P | -1.6554 | -5.781 |
| 225NCP-P | 1.3916 | -8.6073 |
| Variância Total (%) | 34.912 | 31.402 |
| Variância Acumulada (%) | 34.912 | 66.314 |

Tabela 3. Resumo da análise da variância com valores do quadrado médio de Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade total para o ano de 2017 após o pastejo e cultura do feijão.

| DENSIDADE | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|--------|--------|--------|---------|-------|-------|--------------------|-------|--------|-------|-------|-------|--|
| | 2017 – Pós Feijão | | | | | | | 2017 – Pós Pastejo | | | | | | |
| | 0-5 | | 5-10 | | | 10-15 | | 0-5 | | 5-10 | | | 10-15 | |
| FV | GL | QM | P | QM | P | QM | P | QM | P | QM | P | QM | P | |
| N | 3 | 0,007 | 0,288 | 0,001 | 0,889 | 0,014 | 0,230 | 0,000 | 0,990 | 0,004 | 0,445 | 0,006 | 0,239 | |
| BLOCO | 2 | 0,133 | 0,001 | 0,088 | 0,001 | 0,061 | 0,019 | 0,003 | 0,754 | 0,025 | 0,047 | 0,023 | 0,025 | |
| ERRO A | 6 | 0,004 | | 0,003 | | 0,007 | | 0,011 | | 0,004 | | 0,003 | | |
| PASTEJO | 1 | 0,006 | 0,316 | 0,022 | 0,023* | 0,000 | 1,000 | 0,026 | 0,149 | 0,012 | 0,249 | 0,001 | 0,678 | |
| N X | 3 | 0,007 | 0,345 | 0,005 | 0,236 | 0,002 | 0,609 | 0,005 | 0,642 | 0,006 | 0,542 | 0,007 | 0,394 | |
| PASTEJO | | | | | | | | | | | | | | |
| ERRO B | 8 | 0,005 | | 0,002 | | 0,003 | | 0,010 | | 0,008 | | 0,006 | | |
| TOTAL | 23 | | | | | | | | | | | | | |
| MACROPOROSIDADE | | | | | | | | | | | | | | |
| DOSES N | 3 | 20,03 | 0,444 | 58,77 | 0,073** | 3,83 | 0,961 | 16,19 | 0,592 | 87,19 | 0,146 | 71,06 | 0,240 | |
| BLOCO | 2 | 213,95 | 0,009 | 355,41 | 0,001 | 3,74 | 0,914 | 48,71 | 0,208 | 27,75 | 0,480 | 30,43 | 0,497 | |
| ERRO A | 6 | 19,51 | | 15,10 | | 41,17 | | 23,61 | | 33,45 | | 38,67 | | |
| PASTEJO | 1 | 9,56 | 0,573 | 42,16 | 0,408 | 34,84 | 0,572 | 11,19 | 0,661 | 139,58 | 0,123 | 33,58 | 0,379 | |
| DOSES N X | 3 | 15,26 | 0,662 | 66,72 | 0,368 | 26,90 | 0,341 | 28,49 | 0,675 | 16,21 | 0,794 | 34,87 | 0,482 | |
| PASTEJO | | | | | | | | | | | | | | |
| ERRO B | 8 | 27,78 | | 55,35 | | 18,55 | | 54,05 | | 47,21 | | 38,72 | | |
| TOTAL | 23 | | | | | | | | | | | | | |
| MICROPOROSIDADE | | | | | | | | | | | | | | |
| DOSES N | 3 | 18,91 | 0,141 | 40,96 | 0,027* | 2,972 | 0,787 | 2,53 | 0,961 | 3,35 | 0,721 | 80,71 | 0,112 | |
| BLOCO | 2 | 56,51 | 0,020 | 22,57 | 0,098 | 24,65 | 0,128 | 17,47 | 0,560 | 18,91 | 0,155 | 0,34 | 0,987 | |
| ERRO A | 6 | 7,08 | | 6,46 | | 8,375 | | 27,33 | | 7,32 | | 26,21 | | |
| PASTEJO | 1 | 96,40 | 0,010* | 15,01 | 0,346 | 3,658 | 0,668 | 8,34 | 0,593 | 4,61 | 0,504 | 1,77 | 0,839 | |
| DOSES N X | 3 | 0,977 | 0,950 | 11,28 | 0,550 | 2,572 | 0,934 | 18,65 | 0,582 | 6,02 | 0,611 | 7,11 | 0,909 | |
| PASTEJO | | | | | | | | | | | | | | |
| ERRO B | 8 | 8,681 | | 14,97 | | 18,55 | | 26,96 | | 9,44 | | 40,21 | | |
| TOTAL | 23 | | | | | | | | | | | | | |
| POROSIDADE TOTAL | | | | | | | | | | | | | | |
| DOSES N | 3 | 7,04 | 0,634 | 60,50 | 0,019* | 7,123 | 0,630 | 19,49 | 0,605 | 27,70 | 0,531 | 12,12 | 0,629 | |
| BLOCO | 2 | 91,37 | 0,020 | 274,86 | 0,001 | 27,39 | 0,175 | 2,703 | 0,913 | 62,49 | 0,238 | 21,27 | 0,397 | |
| ERRO A | 6 | 11,58 | | 8,26 | | 11,61 | | 29,49 | | 34,05 | | 19,71 | | |
| PASTEJO | 1 | 45,06 | 0,267 | 97,36 | 0,041* | 1,04 | 0,849 | 20,24 | 0,182 | 98,57 | 0,117 | 37,82 | 0,170 | |
| DOSES N X | 3 | 13,83 | 0,733 | 38,75 | 0,210 | 0,61 | 0,995 | 4,76 | 0,692 | 3,726 | 0,948 | 12,52 | 0,552 | |
| PASTEJO | | | | | | | | | | | | | | |
| ERRO B | 8 | 31,77 | | 16,52 | | 27,08 | | 9,51 | | 32,09 | | 16,70 | | |
| TOTAL | 23 | | | | | | | | | | | | | |

Nota: * e ** significativo respectivamente a 1% e 5%.

Tabela 4. Resumo da análise da variância com valores do quadrado médio de Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade total para o ano de 2018 após a cultura do milho.

| DENSIDADE | | | | | | | |
|--------------------------|------------|-----------|----------|-------------|----------|--------------|----------|
| 2018 – Pós Milho | | | | | | | |
| FV | 0-5 | | | 5-10 | | 10-15 | |
| | GL | QM | P | QM | P | QM | P |
| N | 3 | 0,02 | 0,009** | 0,00 | 0,982 | 0,00 | 0,516 |
| BLOCO | 2 | 0,00 | 0,984 | 0,00 | 0,794 | 0,00 | 0,538 |
| ERRO A | 6 | 0,00 | | 0,01 | | 0,00 | |
| PASTEJO | 1 | 0,02 | 0,054** | 0,04 | 0,012* | 0,04 | 0,002* |
| N X PASTEJO | 3 | 0,01 | 0,345 | 0,00 | 0,371 | 0,00 | 0,445 |
| ERRO B | 8 | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | |
| TOTAL | 23 | | | | | | |
| MACROPOROSIDADE | | | | | | | |
| DOSES N | 3 | 31,98 | 0,630 | 30,01 | 0,519 | 4,24 | 0,938 |
| BLOCO | 2 | 26,73 | 0,622 | 35,15 | 0,426 | 42,08 | 0,341 |
| ERRO A | 6 | 52,05 | | 35,71 | | 32,53 | |
| PASTEJO | 1 | 4,48 | 0,735 | 69,53 | 0,220 | 86,98 | 0,044** |
| DOSES N X PASTEJO | 3 | 14,70 | 0,755 | 57,81 | 0,294 | 8,04 | 0,678 |
| ERRO B | 8 | 36,55 | | 39,36 | | 15,39 | |
| TOTAL | 23 | | | | | | |
| MICROPOROSIDADE | | | | | | | |
| DOSES N | 3 | 79,61 | 0,023* | 11,22 | 0,601 | 3,31 | 0,372 |
| BLOCO | 2 | 33,78 | 0,133 | 46,23 | 0,141 | 33,81 | 0,006 |
| ERRO A | 6 | 11,77 | | 16,77 | | 2,65 | |
| PASTEJO | 1 | 77,22 | 0,053** | 1,20 | 0,800 | 16,50 | 0,086** |
| DOSES N X PASTEJO | 3 | 31,93 | 0,177 | 30,91 | 0,233 | 7,38 | 0,243 |
| ERRO B | 8 | 15,14 | | 17,61 | | 4,33 | |
| TOTAL | 23 | | | | | | |
| POROSIDADE TOTAL | | | | | | | |
| DOSES N | 3 | 13,26 | 0,684 | 23,82 | 0,125 | 28,12 | 0,212 |
| BLOCO | 2 | 104,86 | 0,075** | 10,24 | 0,355 | 31,68 | 0,184 |
| ERRO A | 6 | 25,52 | | 8,29 | | 13,94 | |
| PASTEJO | 1 | 119,26 | 0,136 | 111,88 | 0,026* | 163,90 | 0,015* |
| DOSES N X PASTEJO | 3 | 7,59 | 0,910 | 38,73 | 0,128 | 27,88 | 0,261 |
| ERRO B | 8 | 43,53 | | 15,19 | | 17,28 | |
| TOTAL | 23 | | | | | | |

Nota: * e ** significativo respectivamente a 1% e 5%.

Tabela 5. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas para os atributos físicos do solo observados em 2017 e 2018, em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), cultura do feijão (F) e cultura do milho (M).

| TRATAMENTOS | COMPONENTE PRINCIPAL | |
|--------------------------------|----------------------|---------------|
| | CP1 | CP2 |
| 0NSP-F | -2.8037 | -1.44 |
| 75NSP-F | -8.0767 | -4.5397 |
| 150NSP-F | -10.3762 | 2.2655 |
| 225NSP-F | 0.2491 | 3.9764 |
| 0NCP0F | -9.7948 | -1.9372 |
| 75NCP-F | -13.5157 | 6.5347 |
| 150NCP-F | -4.2348 | -1.6761 |
| 225NCP-F | -14.4431 | 1.0625 |
| 0NSP-P | -2.4544 | -0.1677 |
| 75NSP-P | 3.0302 | 10.2083 |
| 150NSP-P | -0.9507 | 3.8214 |
| 225NSP-P | -0.9634 | -1.1522 |
| 0NCP-P | -4.9848 | -3.1792 |
| 75NCP-P | 1.5884 | -4.8263 |
| 150NCP-P | -0.7935 | -0.4145 |
| 225NCP-P | -3.7043 | -1.1784 |
| 0NSP-M | 13.8904 | 3.9281 |
| 75NSP-M | 14.38 | 6.0398 |
| 150NSP-M | 7.774 | -7.7578 |
| 225NSP-M | 13.3232 | 2.4053 |
| 0NCP-M | 2.8222 | 0.6645 |
| 75NCP-M | 4.3356 | -0.0248 |
| 150NCP-M | 7.3462 | -8.1092 |
| 225NCP-M | 8.3567 | -4.5036 |
| Variância Total (%) | 51.972 | 15.375 |
| Variância Acumulada (%) | 51.972 | 67.347 |

Tabela 6. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas para a resistência do solo à penetração, observados em 2010, 2011, 2017 e 2018, em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), cultura do feijão (F) e cultura do milho (M).

| TRATAMENTOS | COMPONENTE PRINCIPAL | |
|-------------|----------------------|---------|
| | CP1 | CP2 |
| 100SPM | -2,7212 | 0,0595 |
| 1075SPM | -2,4877 | 0,2953 |
| 10150SPM | -2,9062 | -0,0152 |
| 10225SPM | -2,5856 | -0,2261 |
| 100CPM | -2,9067 | 0,0388 |
| 1075CPM | -3,2822 | -0,1249 |
| 10150CPM | -4,1792 | 0,0570 |
| 10225CPM | -4,3608 | -0,0641 |
| 110SPF | 1,4335 | -0,1070 |
| 1175SPF | 1,3599 | -0,0967 |
| 11150SPF | 1,4617 | -0,2511 |
| 11225SPF | 1,2919 | 0,0139 |
| 110CPF | 1,3470 | 0,0667 |
| 1175CPF | 1,3599 | -0,0967 |
| 11150CPF | 1,4514 | 0,3635 |
| 11225CPF | 1,2215 | 0,1165 |
| 100SPP | 0,6981 | 0,2676 |
| 1075SPP | 0,4055 | 0,1453 |
| 10150SPP | 0,3672 | -0,0971 |
| 10225SPP | 0,2738 | 0,2398 |
| 100CPP | 0,3669 | 0,3453 |
| 1075CPP | 0,4055 | 0,1453 |
| 10150CPP | 0,4630 | 0,4517 |
| 10225CPP | -0,3086 | 0,2485 |
| 180SPM | 0,4515 | -0,5256 |
| 1875SPM | 0,5118 | -0,1076 |
| 18150SPM | 0,2148 | -0,4391 |
| 18225SPM | 0,2996 | -0,2162 |

| | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| 180CPM | 0,0442 | -0,2502 |
| 1875CPM | 0,5118 | -0,1076 |
| 18150CPM | 0,4115 | -0,0379 |
| 18225CPM | -0,0016 | -0,2056 |
| 170SPF | 0,6085 | -0,5833 |
| 1775SPF | 0,4784 | -0,1463 |
| 17150SPF | 0,5331 | -0,2544 |
| 17225SPF | 0,2609 | -0,3349 |
| 170CPF | 0,2868 | -0,0336 |
| 1775CPF | 0,4067 | -0,0765 |
| 17150CPF | 0,2290 | 0,4050 |
| 17225CPF | -0,1917 | 0,0895 |
| 170SPP | 1,1532 | -0,1100 |
| 1775SPP | 1,0168 | -0,2397 |
| 17150SPP | 1,0214 | -0,0009 |
| 17225SPP | 1,0287 | -0,0643 |
| 170CPP | 0,6758 | 0,4490 |
| 1775CPP | 0,6772 | 0,3563 |
| 17150CPP | 0,6871 | 0,2566 |
| 17225CPP | 0,5124 | 0,4018 |
| Variância Total (%) | 94,924 | 2,578 |
| Variância Acumulada (%) | 94,924 | 97,502 |

Tabela 7. Contribuição entre cada componente principal e variáveis analisadas para os atributos físicos do solo observados em onze anos de protocolo experimental, em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob diferentes doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP), após pastejo (P), cultura do feijão (F) e cultura do milho (M).

| TRATAMENTOS | COMPONENTE PRINCIPAL | |
|-------------|----------------------|---------|
| | CP1 | CP2 |
| 06P0NCP | 0,1518 | -0,0119 |
| 06P75NCP | 0,1587 | 0,1068 |
| 06P150NCP | 0,2155 | 0,0207 |
| 06P225NCP | 0,0935 | 0,0595 |
| 06P0NSP | 0,1542 | 0,2595 |
| 06P75NSP | 0,1485 | 0,0256 |
| 06P150NSP | 0,0552 | 0,0129 |
| 06P225NSP | 0,0741 | 0,1450 |
| 10P0NCP | 0,1764 | 0,1077 |
| 10P75NCP | 0,1284 | -0,0505 |
| 10P150NCP | 0,1017 | -0,0652 |
| 10P225NCP | 0,2018 | 0,0342 |
| 10P0NSP | 0,2040 | -0,1348 |
| 10P75NSP | 0,1076 | 0,0161 |
| 10P150NSP | 0,1455 | -0,0661 |
| 10P225NSP | 0,0191 | -0,0201 |
| 17P0NCP | -0,2101 | 0,0543 |
| 17P75NCP | -0,3138 | -0,1024 |
| 17P150NCP | -0,2751 | -0,1114 |
| 17P225NCP | -0,2669 | -0,0083 |
| 17P0NSP | -0,3121 | -0,0532 |
| 17P75NSP | -0,4106 | 0,0492 |
| 17P150NSP | -0,2995 | -0,0561 |
| 17P225NSP | -0,3138 | -0,1448 |
| 06F0NCP | 0,1169 | 0,0532 |
| 06F75NCP | 0,1627 | 0,0600 |
| 06F150NCP | 0,1579 | -0,0352 |
| 06F225NCP | 0,1781 | 0,0168 |

| | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| 06F0NSP | 0,1083 | 0,0732 |
| 06F75NSP | 0,1163 | -0,0050 |
| 06F150NSP | 0,1347 | -0,0656 |
| 06F225NSP | 0,0849 | 0,0719 |
| 11F0NCP | 0,1477 | -0,0547 |
| 11F75NCP | 0,1559 | -0,0746 |
| 11F150NCP | 0,0823 | -0,0257 |
| 11225NCP | 0,1393 | -0,0604 |
| 11F0NSP | 0,0439 | 0,0144 |
| 11F75NSP | 0,1182 | -0,0689 |
| 11F150NSP | 0,1404 | -0,0777 |
| 11F225NSP | -0,169 | 0,0312 |
| 17F0NCP | -0,1290 | 0,0201 |
| 17F75NCP | -0,1925 | 0,1365 |
| 17F150NCP | -0,218 | 0,0153 |
| 17225NCP | -0,1697 | 0,0227 |
| 17F0NSP | -0,2905 | 0,0422 |
| 17F75NSP | -0,2125 | 0,1217 |
| 17F150NSP | -0,1790 | 0,0396 |
| 17F225NSP | -0,2177 | 0,0484 |
| Variância Total (%) | 70,264 | 9,377 |
| Variância Acumulada (%) | 70,264 | 79,641 |