

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RENATA DE GUIMARÃES

Índices físicos de um argissolo manejado com diferentes níveis de intensificação  
de pastejo de *Panicum maximum* Jacq. IPR-86 Milênio

Maringá

2013

RENATA DE GUIMARÃES

Índices físicos de um argissolo manejado com diferentes níveis de intensificação  
de pastejo de *Panicum maximum* Jacq. IPR-86 Milênio

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação em Agronomia do  
Departamento de Agronomia, Centro de Ciências  
Agrárias da Universidade Estadual de Maringá,  
como requisito parcial para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solos e  
Nutrição Mineral de plantas

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Cássio Antonio  
Tormena

Maringá  
2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

G963i Guimaraes, Renata de  
Índices físicos de um argissolo manejado com diferentes níveis de intensificação de pastejo de *Panicum maximum* Jacq. IPR-86 Milênio / Renata de Guimaraes. -- Maringá, 2013.  
ix, 46 f. : il. col., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Cássio Antonio Tormena.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2013.

1. Física do solo. 2. Forragem - Capim (*Panicum maximum* Jacq.). 3. Pastejo. 4. Argissolo - Índices físicos. I. Tormena, Cássio Antonio, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD 22.ed. 631.43

# FOLHA DE APROVAÇÃO

RENATA DE GUIMARÃES

Índices físicos de um argissolo manejado com diferentes níveis de intensificação de pastejo de *Panicum maximum* Jacq. IPR-86 Milênio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

## COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. José de Deus Viana da Mata  
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. João Tavares Filho  
Universidade Estadual De Londrina

Prof. Dr. Cássio Antonio Tormena  
Universidade Estadual de Maringá

Aprovada em: 16 de Agosto de 2013.

Local de defesa: Sala 11, Bloco J-45, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

## DEDICATÓRIAS

Aos meus pais: José Luiz Guimarães e Mariza A. Zanatta Guimarães.

Aos meus irmãos: Luiz Henrique De Guimarães e João Baptista Guimarães Neto.

Aos meus avós paternos: João Baptista Guimarães e Maria De Lourdes Buriolli (*In memoriam*).

Aos meus avós maternos: Pompílio Celso Zanatta e Maria Pereira Zanatta (*In memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por nunca ter me abandonado em todos os desertos que atravessei. Mesmo quando não somos fiéis, Ele permanece fiel.

A toda minha família uma singela gratidão, pois o amor de vocês é incondicional e essencial.

Ao Prof. Dr. Cássio Antônio Tormena, pela orientação e generosidade em compartilhar seus conhecimentos.

À Universidade Estadual de Maringá - PR e ao Programa de Pós-Graduação em Agrônoma da mesma, pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão da Bolsa de Estudo.

Às amigas, Isabella, Caroline, Carla, Gabriela, pela paciência e atenção dedicadas nesses anos compartilhados.

À família Tormena em especial a Célia, Maria e Isidoro, por me incentivar, orar e sempre estarem torcendo por mim.

Aos companheiros de trabalho, Marco Aurélio Teixeira Costa, Edner Betioli Júnior, Wagner Henrique Moreira, Marlon Julian Castañeda Serrano, Reinaldo Bernardo, Camila Jorge Bernabé Ferreira, Éricka Sato, Guilherme Anghinoni, Hélio Henrique Soares Franco, por terem contribuído, direta ou indiretamente, para a execução deste trabalho.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, pela estrutura oferecida e auxílio para execução desse trabalho, em especial a pesquisadora Dr. Simone Lugão – IAPAR – Paranavaí por toda ajuda concedida.

Ao meu namorado Mauro, pela paciência e incentivo, e aos seus pais Marta e Mauro, que sempre torcem por mim em todos os momentos.

## Índices físicos de um argissolo manejado com diferentes níveis de intensificação de pastejo de *Panicum maximum* Jacq. IPR-86 Milênio

### RESUMO

A expansão das lavouras agrícolas sobre a pastagem e a valorização do custo da terra têm direcionado os sistemas de produção pecuária para sistemas mais intensivos de produção visando tornar a atividade mais competitiva frente às outras opções de uso da terra. A intensificação do pastejo é uma das ferramentas utilizadas para a intensificação dos sistemas de produção pecuária e visa aumentar a produtividade animal por hectare. O ajuste da oferta de forragem aliada à adubação dos solos tem sido a estratégia mais utilizada para intensificação controlada do pastejo, aliando o ganho de peso individual ao aumento do número de animais explorados por área. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da intensificação controlada do pastejo em um Argissolo Vermelho Distrófico nas profundidades de 0 – 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,30 e 0,30 – 0,40 m conduzido em sistema de lotação intermitente e carga animal variável. A intensificação do pastejo aumentou a densidade, reduziu porosidade total, diminuiu a macroporosidade, aumentou a microporosidade apenas na posição sem touceira da profundidade de 0 – 0,10 m. Esta redução de porosidade total foi confirmada através da distribuição de tamanho de poros em que se perdeu poros de diâmetro maiores que 50µm, porém ocorreu um incremento dos poros de 21 µm na camada superficial, na qual os efeitos do pisoteio animal são mais intensos. Desta maneira, a capacidade de armazenamento de ar (CAT/Pt) demonstrou, na posição (ST), uma redução nos níveis mais intensificados, porém não atingindo os níveis considerados restritivos. Para a capacidade de retenção de água (CC/Pt), ocorreu melhorias, resultados confirmados pelos dados da curva de retenção de água, com aumento nos níveis mais intensificados, sendo que para, a posição de amostragem da touceira (CT), através de todos os índices utilizados, não teve alterações de estrutura. Isto demonstrou a heterogeneidade das posições de amostragem em decorrência da proteção que a espécie forrageira ocasiona pelo seu hábito de crescimento cespitoso. Os resultados demonstraram que, para esta classe de solo a maior oferta de forragem, atribuída a adubação nitrogenada, possibilitou intensificar o pastejo sem comprometer a qualidade física do solo estudado.

**Palavras-chave:** Intensificação de pastejo. Pisoteio animal. Propriedades físicas do solo.

Physical indices of ultisol handled with different levels of intensification grazing  
of *Panicum maximum* Jacq. IPR-86 Millennium

**ABSTRACT**

The expansion of agricultural crops in pastures and appreciation of the cost of land have directed the livestock production systems for more intensive production systems aiming to become the most competitive activity against other land use options . The intensification of grazing is one of the tools used for the intensification of livestock production systems and aims to increase animal productivity per hectare. The adjustment of forage supply coupled with fertilization of soils has been the most used strategy for controlled intensification of grazing, combining individual weight gain to increase the number of animals exploited by area. In this context, the aim of this study was to evaluate the influence of controlled intensification of grazing on a Ultisol in dystrophic layers 0 - 0.10 , 0.10 - 0.20 , 0.20 - 0.30 and 0.30 - 0 40 m conducted in intermittent and variable stocking stocking system. The intensification of grazing increased density, reduced porosity, decreased macroporosity, microporosity increased only in position (ST) without a clump of the 0 - 0.10 m . This reduction in porosity was confirmed by size distribution of pores in which the pores lost greater than 50  $\mu\text{m}$  diameter , but there was an increase of 21  $\mu\text{m}$  pores in the surface layer in which the effects of the animal are more trampling intense . Thus, the storage capacity of air (CAT / Pt) shown at position (ST) and a reduction in the most heightened levels, but did not reach the levels considered restrictive. For water retention capacity (CC / Pt) was improved as confirmed by data of the water retention curve with enhanced levels rise further, and results in the sampling position of the clump (CT) through all indices used, had no design changes. This demonstrated the heterogeneity of sampling positions due to the protection that the forage species causes by its caespitose habit of growth. The results showed that, for this class of soil greater availability of forage, attributed to nitrogen fertilization, allowed intensify grazing without compromising the physical quality of the soil studied.

**Keywords:** Intensification of grazing. Cattle trampling. Physical soil properties.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização granulométrica e classe textural dos diferentes horizontes do Argissolo Vermelho Distrófico típico .....	12
Tabela 2. Descrição dos níveis de intensificação de uso da pastagem, taxa de lotação, ciclos de pastejo e produção de massa seca de forragem no período de 2007-2009, referentes a um valor médio de ocupação de 209 dias no período de verão .....	12
Tabela 3. Caracterização química do Argissolo Vermelho Distrófico típico nos diferentes níveis de intensificação de pastejo em amostras de solo coletadas no ano de 2007 .....	13
Tabela 4. Análise da homogeneidade da variância e normalidade da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e água disponível nas profundidades (0-0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 - 0,30 e 0,30 – 0,40m).....	21
Tabela 5. Valores de densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) em função do nível de intensificação do uso da pastagem ( $\text{NI}_1$ , $\text{NI}_2$ , $\text{NI}_3$ , $\text{NI}_4$ ) e da posição e coleta das amostras (CT e ST)..	22
Tabela 6. Valores da porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo em função do nível de intensificação do uso da pastagem ( $\text{NI}_1$ , $\text{NI}_2$ , $\text{NI}_3$ , $\text{NI}_4$ ) e da posição e coleta das amostras (CT e ST) .....	24
Tabela 7. Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo em função do nível de intensificação do uso da pastagem ( $\text{NI}_1$ , $\text{NI}_2$ , $\text{NI}_3$ , $\text{NI}_4$ ) e da posição e coleta das amostras (CT e ST) .....	25
Tabela 8. Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo em função do nível de intensificação do uso da pastagem ( $\text{NI}_1$ , $\text{NI}_2$ , $\text{NI}_3$ , $\text{NI}_4$ ) e da posição e coleta das amostras (CT e ST) .....	27
Tabela 9. Capacidade de armazenamento de água no solo (CC/Pt) em função do nível de intensificação do uso da pastagem ( $\text{NI}_1$ , $\text{NI}_2$ , $\text{NI}_3$ , $\text{NI}_4$ ) e da posição e coleta das amostras (CT e ST).....	28
Tabela 10. Capacidade de armazenamento de ar no solo (CAT/Pt) em função do nível de intensificação do uso da pastagem ( $\text{NI}_1$ , $\text{NI}_2$ , $\text{NI}_3$ , $\text{NI}_4$ ) e da posição e coleta das amostras (CT e ST).....	29
Tabela 11. Água Disponível ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo em função do nível de intensificação do uso da pastagem ( $\text{NI}_1$ , $\text{NI}_2$ , $\text{NI}_3$ , $\text{NI}_4$ ) e da posição e coleta das amostras (CT e ST) .....	35

Tabela 12. Análise da homogeneidade da variância e normalidade dos erros do raio de poros medido ( $\mu\text{m}$ ) para as posições de amostragem (CT) e (ST) na profundidade 0 – 0,10 m.....	37
Tabela 13. Distribuição dos raios de poros ( $\mu\text{m}$ ) em cada nível de intensificação para as posições de amostragem (CT) e (ST) na profundidade de 0 – 0,10 m.....	38

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo de degradação das pastagens (Fonte: Macedo, 2001).....	3
Figura 2. Representação esquemática da área experimental com disposição dos níveis de intensificação do pastejo.....	15
Figura 3. Fotografia do psicrômetro modelo WP4-T. ....	18
Figura 4. Curva de retenção de água no solo da profundidade de 0-0,10 m, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten, para as posições de amostragem sem touceira (ST) e com touceira (CT) e em cada nível de intensificação: NI <sub>1</sub> (A), NI <sub>2</sub> (B), NI <sub>3</sub> (C) e NI <sub>4</sub> (D). ....	31
Figura 5. Curva de retenção de água no solo da profundidade de 0-0,10 m, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten, para as posições de amostragem sem touceira (ST) e com touceira (CT) e em cada nível de intensificação: NI <sub>1</sub> (A), NI <sub>2</sub> (B), NI <sub>3</sub> (C) e NI <sub>4</sub> (D). ....	33
Figura 6. Curva de retenção de água no solo da profundidade de 0,20-0,30 m, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten, para as posições de amostragem sem touceira (ST) e com touceira (CT) em cada nível de intensificação: NI <sub>1</sub> (A), NI <sub>2</sub> (B), NI <sub>3</sub> (C) e NI <sub>4</sub> (D).....	33
Figura 7. Curva de retenção de água no solo da profundidade de 0,30-0,40 m, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten, para as posições de amostragem sem touceira (ST) e com touceira (CT) em cada nível de intensificação: NI <sub>1</sub> (A), NI <sub>2</sub> (B), NI <sub>3</sub> (C) e NI <sub>4</sub> (D).....	34

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Situação da área de pastagem do Brasil .....	3
2.2 Qualidade do solo .....	4
2.3 Alteração nos atributos físicos do solo pelo pisoteio animal .....	5
2.4. Indicadores de qualidade física do solo .....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Caracterização da área experimental .....	11
3.2 Planejamento experimental.....	14
3.3 Amostragem .....	16
3.4 Determinação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade .....	16
3.5 Determinação da curva de retenção de água no solo.....	16
3.6 Cálculo de água disponível.....	17
3.7 Análise da distribuição de tamanho de poros do solo .....	18
3.8 Capacidade de armazenamento de água e ar do solo.....	19
3.9 Análise estatística dos dados .....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
4.1 Influência da intensificação de pastejo e da posição de amostragem sobre a capacidade de aeração e armazenamento de água no solo .....	27
4.2 Influência da intensificação do pastejo e da posição de amostragem na curva de retenção de água no solo .....	30
4.3 Influência da intensificação do pastejo e da posição de amostragem sobre a água disponível .....	34
4.4 Influência da intensificação de pastejo e da posição de amostragem na distribuição do raio de poros na camada de 0 – 010 m.....	36
5 CONCLUSÕES .....	40
6 REFERÊNCIAS .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, as pastagens têm sido a principal fonte de alimento para os bovinos no Brasil. Até a década de 70 do século passado, as pastagens nativas respondiam pela maior produção da área total de pastagens do país. Todavia, entre as décadas de 70 e 80, a área ocupada por plantas forrageiras selecionadas aumentou de maneira considerável. Atualmente, a expansão das lavouras agrícolas sobre a pastagem e a valorização do custo da terra têm direcionado os sistemas de produção pecuária para sistemas mais intensivos de produção, visando tornar a atividade mais competitiva frente às outras opções de uso da terra. A intensificação do pastejo é uma das ferramentas utilizadas para a intensificação dos sistemas de produção pecuária e visa aumentar a produtividade animal por hectare.

O manejo dos animais sobre as pastagens implica em modificações nos atributos físicos dos solos em médio e a longo prazo. A pressão aplicada pelo pisoteio dos animais ocasiona alterações na densidade aparente e porosidade do solo, especialmente nos primeiros centímetros de profundidade. Também outros atributos são afetados como os macroporos, estes responsáveis pela infiltração da água, e os microporos aos quais competem à capacidade de armazenamento de água, que influenciarão em outros indicadores como capacidade de campo e ponto de murcha permanente e, portanto, na água disponível para as plantas. Tais alterações nos atributos físicos podem refletir no desenvolvimento do sistema radicular e na produção de massa da parte aérea das forrageiras e na sustentabilidade dos sistemas de produção pecuários baseados em pastagens cultivadas.

A curva de retenção de água no solo é uma das principais propriedades físico-hídricas do solo, que representa a relação entre o teor de água do solo, que é a quantidade de água retida pelos poros do solo em um determinado momento, e o potencial mátrico do solo, que é definido como a energia potencial específica da água no solo dependente da ação de retenção por forças de capilaridade e adsorção na matriz do solo. Desta forma, a curva de retenção expressa muito de sua qualidade, pois depende do tamanho e distribuição dos poros no solo. Ao discutir poros, tornam-se relevantes os mecanismos de movimento e retenção de água no solo, pelos quais se podem deduzir diversos índices de qualidade física.

Por esta razão, necessita-se de mais informações acerca de possíveis interferências do aumento da taxa de lotação animal sobre a qualidade física do solo, a fim de priorizar manejos mais adequados para a maximização da produtividade das forragens para alimentação do animal sem causar degradação do solo. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar,

utilizando distintos índices, a qualidade física de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes níveis de intensificação de pastejo de *Panicum maximum* Jacq. IPR-86 Milênio.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Situação da área de pastagem do Brasil

O Brasil concentra o segundo maior rebanho mundial de bovinos, com 174 milhões de cabeça, sendo que 90% são terminados a pasto, em sistema extensivo de produção. O país é o maior exportador de carne bovina do mundo, com 22,8% de sua produção destinada ao exterior, porém as taxas produtivas do rebanho, como abate – 23,1% e produção de carneiros – 46%, são baixas comparados com países desenvolvidos como os Estados Unidos (ANUALPEC, 2010).

O cenário nacional da pecuária de corte mostra que os sistemas de produção de carne em pastagens no Brasil são deficientes, com índices zootécnicos de 0,8 UA/ha em sistemas com algum tipo de intensificação, bem abaixo do real potencial esperado, limitando, assim, a produtividade por área (EUCLIDES et al., 2001). Apesar da vasta área de pastagem no Brasil, grande parte encontra-se degradada. A degradação das pastagens ocorre inicialmente devido à perda de vigor e produtividade, devido à falta de reposição dos nutrientes exportados durante o processo de pastejo ou perdidos pela lixiviação e escoamento superficial (ZIMMER; EUCLIDES, 2000). A próxima etapa da degradação ocorre quando a pastagem é atingida por altos índices de infestação de plantas daninhas, doenças e pragas que reduzem a qualidade nutricional do alimento ofertado aos animais e o sistema entra em déficit, pois as pastagens passam a não suportar as taxas de lotação animal e, conseqüentemente, inicia-se o processo de degradação do solo (Figura 1).

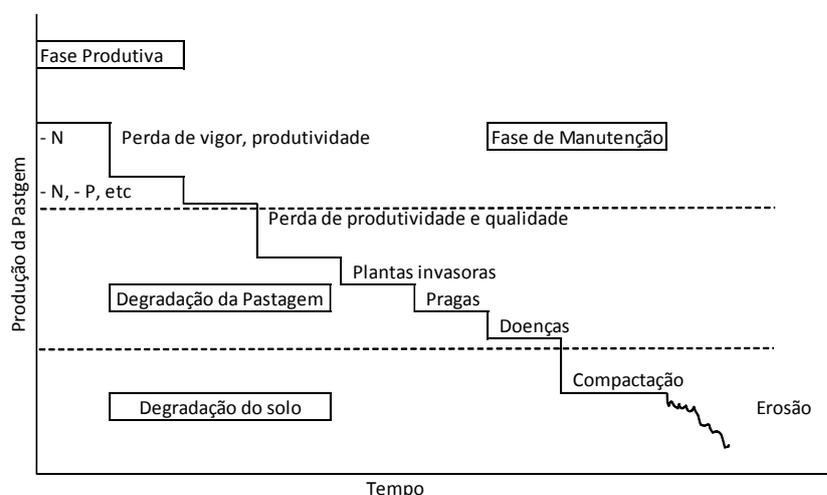


Figura 1. Processo de degradação das pastagens (Fonte: Macedo, 2001).

Os efeitos do manejo inadequado das pastagens nas perdas de solo por erosão também são bem conhecidos. No Brasil, a erosão é comum em pastagens com fertilidade exaurida, com pouca capacidade de rebrota e, conseqüentemente, pouca cobertura do solo. A perda de solo é potencializada quando esse quadro está associado aos solos arenosos (CORSI; GOULART, 2006). A fertilização dos solos permite o aumento da produtividade da pastagem, permitindo o aumento da taxa de lotação animal sem alteração da oferta individual de forragem.

O nitrogênio é um dos principais nutrientes responsável pela produção de plantas forrageiras, e possui efeito direto (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). Conforme Lugão et al. (2003), a resposta positiva da adubação nitrogenada é potencializada quando os demais nutrientes responsáveis pela nutrição das plantas encontram-se disponíveis no solo em níveis adequados. A dose ótima econômica de adubação depende do preço do produto do animal e da eficiência de transformação do nutriente da forragem em produção animal, o que pode ser expresso pela relação Kg de carne ou leite/Kg de nutrientes adicionados ao solo (GOMIDE, 1994).

O manejo da taxa de lotação animal, em função da quantidade de alimentos disponíveis (controle da oferta), permite garantir a nutrição adequada dos animais, garantindo o ganho do peso individual. Com o aumento da produtividade da pastagem e da adequação da oferta da forragem, garante-se a maior produtividade animal por área de pastagem explorada. O aumento da taxa de lotação animal sobre os solos pode promover a alteração da estrutura do solo e perda da qualidade física, reduzindo a capacidade de desenvolvimento do sistema radicular e o potencial produtivo das espécies forrageiras. (PAGOTTO, 2001).

## **2.2 Qualidade do solo**

De acordo com Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo está relacionada com sua funcionalidade dentro dos ecossistemas naturais ou manejados, e significa a capacidade deste em sustentar a atividade biológica, promover o crescimento e a saúde das plantas e animais e manter a qualidade ambiental. Esta capacidade resulta de interações entre complexos e inúmeros processos químicos, físicos e biológicos (TÓTOLA; CHAER, 2002) e sofre alterações com o manejo (REICHERT et al., 2003). O emprego de práticas não sustentáveis pode causar a degradação de sua qualidade física, química e biológica, diminuindo a qualidade do solo (COSTA et al., 2003; NUNES, 2003), que muitas vezes pode ser de difícil reversão.

O conceito do que seja um solo com qualidade depende das prioridades previamente estabelecidas. Contudo, deve levar em consideração a sua funcionalidade múltipla para não comprometer, no futuro, o desempenho de algumas de suas funções. Assim, um determinado tipo de solo pode ser considerado com boa qualidade quando apresentar a capacidade, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, de manter a produtividade e a biodiversidade vegetal e animal, melhorar a qualidade do ar e da água e contribuir para a habitação e a saúde humana (GOMES et al., 2006).

A identificação de indicadores apropriados para avaliar a qualidade do solo depende da habilidade em considerar os componentes múltiplos que determinam a sua capacidade em desempenhar suas funções, como a produtividade e o bem-estar ambiental. Esta identificação é dificultada pela multiplicidade dos atributos físicos, químicos e biológicos, que controlam a intensidade dos processos biogeoquímicos e suas variações temporais e espaciais (GOMES et al., 2006). As funções mais importantes do solo agrícola são o suporte ao crescimento, o fornecimento de água, gases e nutrientes, e a função tampão ou filtro. A essas funções estão associados vários processos, como a germinação, o crescimento radicular, armazenamento de água, aeração e a dinâmica de nutrientes (CARTER et al., 1997).

Os indicadores físicos estão relacionados ao arranjo das partículas e do espaço poroso do solo, incluindo densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrostamento superficial, compactação, condutividade hidráulica e capacidade de armazenagem de água e ar. Eles refletem, primariamente, limitações ao crescimento radicular, à emergência das plântulas, à infiltração e movimento da água no interior do perfil do solo e à disponibilidade de água às plantas.

A qualidade do solo determina a sustentabilidade dos agroecossistemas e tem seu monitoramento sido feito a partir do comportamento de indicadores ao longo do tempo, ou comparando seus desempenhos com valores de referência, que podem ser estabelecidos a partir dos resultados de pesquisa ou obtidos em ecossistemas naturais, localizados nas mesmas condições do solo avaliado (DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997).

### **2.3 Alteração nos atributos físicos do solo pelo pisoteio animal**

A degradação das pastagens cultivadas tem representado uma ameaça à sustentabilidade do sistema de produção de carne no Brasil. A maior parte dos estudos que abordam o problema relaciona o processo de degradação com as interações entre fatores zootécnicos (taxa de lotação animal), da planta (perda de vigor, alterações morfológicas) e do solo (propriedades químicas), enquanto o problema da degradação física do solo tem sido deixado em segundo plano (LEÃO et al., 2004).

A conservação do solo em áreas de pastagem está diretamente relacionada a dois aspectos fundamentais: 1) o manejo animal visando controlar a quantidade de forragem disponível, a cobertura do solo na superfície e as alterações das propriedades físicas que ocorrem nele; 2) o manejo da água de escoamento superficial, visando controlar a erosão hídrica, já que ela é causa e consequência da degradação do solo (BERTOL et al., 2006).

O objetivo de manter as pastagens com boa qualidade e preservar a qualidade física do solo pode ser realizado com um ponto ótimo de oferta de forragem. Deste modo, a detecção do nível crítico de oferta de forragem, equivalente a uma pressão de pastejo crítica, é fundamental para detectar também o nível crítico de alteração das propriedades físicas do solo, tendo em mente a preservação de sua capacidade produtiva e a minimização da erosão hídrica. É sabido que comprometimento de algumas propriedades físicas da superfície do solo, como volume e continuidade dos macroporos e a estabilidade dos agregados, ocasionada pelo pisoteio animal, acarreta em diminuição da taxa de infiltração de água no solo, com consequente aumento na taxa de erosão hídrica (BERTOL et al., 1998, 2000).

A compactação afeta a qualidade do solo e a sua avaliação é baseada na condição atual em que se encontra o solo em comparação a uma condição natural ou sem restrições ao crescimento e produtividade das culturas (SILVA et al., 2004). Fatores externos e internos condicionam a resposta do solo à compactação e, decorrente disso, o grau de degradação da qualidade estrutural. Os fatores externos são caracterizados, pelo tipo, pela intensidade e pela frequência da pressão exercida, seja por máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou pisoteio de animais, e, os internos, pelas propriedades físicas, mais especificamente, pela porosidade, pela textura e pela umidade do solo (DEFOSSEZ; RICHARDS, 2002).

As modificações de importância agronômica, que ocorrem em solos com compactação, dizem respeito aos seguintes fatores: aumento da resistência mecânica à penetração radicular, redução da aeração, alteração do fluxo de água e calor e da disponibilidade de água e acesso aos nutrientes. Num determinado tempo e local, um desses fatores pode

restringir o desenvolvimento das plantas, a depender do tipo de solo, da condição climática, da espécie e do estágio de desenvolvimento da planta (CAMARGO; ALLEONI, 2006).

Em áreas sob pastagem, a compactação do solo está associada à pressão do casco dos animais sobre a superfície dos solos (GREENWOOD; MCKENZIE, 2001; SARMENTO et al., 2008). A pressão exercida pelo casco dos animais é função da massa corporal e área do casco exercida sobre os solos (GREENWOOD; MCKENZIE, 2001). Assim, a intensificação do pastejo pelo aumento da taxa de lotação animal (relação entre o número de unidades animais e a área ocupada por eles, UA ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e a pressão de pastejo (relação entre o peso animal em kg e a quantidade de forragem disponível, kg peso vivo animal kg<sup>-1</sup> massa seca forragem dia<sup>-1</sup>) são as principais causas relacionadas à compactação dos solos nos sistemas de produção animal a pasto (SILVA et al., 2002; HAMZA; ANDERSON, 2005; BERTOL et al., 2006; LEÃO et al., 2004).

A susceptibilidade dos solos à compactação depende da textura, estrutura, densidade inicial, teor de matéria orgânica e conteúdo de água no solo. De maneira geral, solos de textura mais argilosa e com agregados menos estáveis são mais suscetíveis à compactação do que solos mais arenosos (CANTARUTTI et al., 2001). A compactação dos solos de pastagens cultivadas ou nativas é fato notório e generalizado. Atualmente, alguma preocupação já vem sendo notada porque, em muitas áreas, a produtividade das forrageiras vem diminuindo rapidamente. Sinais de degradação de pastagens são vistos nos mais variados locais e em diferentes regiões. Em solo compactado, o sistema radicular concentra-se próximo à superfície, tornando a planta mais susceptível aos déficits hídricos e com limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais (ROSOLEM et al., 1994).

O pisoteio animal pode compactar o solo nos primeiros 10 cm, acarretando em uma drástica diminuição no movimento interno da água e um aumento na densidade do solo, ocasionando consequências de diminuição na porosidade e trocas desfavoráveis na relação solo-água-atmosfera que afetam o desenvolvimento das raízes das plantas e a sua produtividade (PIZÓN, MESQUITA; 1991). Observou-se, em um estudo com sistema de pastejo rotacional intensivo, que os efeitos deletérios no solo pastejado tenderam a aumentar com o aumento da taxa de lotação animal. Apesar de alguns estudos evidenciarem que a movimentação dos animais pela pastagem melhora a taxa de infiltração e reduz os processos erosivos dos solos devido à quebra das crostas superficiais pelo impacto físico dos cascos dos animais no solo sem causar compactação, outros já evidenciaram que o pisoteio animal em solo seco causou destruição dos agregados de ocorrência natural e compactação na camada superficial do solo.

Em solo úmido, houve uma deformação nos agregados existentes, levando à criação de crostas superficiais de reduzida permeabilidade compostas de torrões de solo densos e instáveis (WARREN et al., 1986).

#### **2.4. Indicadores de qualidade física do solo**

Segundo Topp et al. (1997), a qualidade física do solo refere-se às propriedades que determinam as condições de resistência à penetração ou impedimento mecânico às raízes, transmissão de ar e armazenamento de água na zona radicular das culturas. Esses autores argumentam que solos com boa qualidade física apresentam características de armazenamento e transmissão de fluídos que permitem adequadas proporções de água e ar que maximizam a produção das culturas. É consenso que o funcionamento e crescimento das plantas demandam adequada capacidade de armazenamento de água e ar no solo, além da resistência mecânica e da temperatura não impeditivas às raízes. Pesquisas mostram que o espaço poroso ocupado com ar nas camadas superficiais dos solos deveria ser de pelo menos 10% da porosidade do solo (GRABLE; SIEMER, 1968; LETEY, 1985), bem como uma ampla faixa de água disponível no solo.

Neste contexto, várias propriedades têm sido utilizadas como indicadores de qualidade física do solo. Vieira (1975) e Brady (1979) explicam que a porosidade é determinada pela distribuição espacial das partículas sólidas no corpo do solo, sendo, portanto, menor a porosidade quanto maior o contato entre essas partículas, o que leva ao conceito de densidade do solo. A porosidade é obtida a partir das determinações da densidade de partículas e densidade do solo. A densidade do solo é um parâmetro físico amplamente utilizado para caracterizar as condições físicas do solo, sob diferentes sistemas de manejo. Além dos efeitos do manejo, os valores da densidade são dependentes do teor de argila e matéria orgânica dos solos, e, no caso de solos cultivados com culturas anuais, dos efeitos relativos das posições linha e entrelinha das culturas (SILVA e KAY et al., 1997).

A densidade do solo ( $D_s$ ) é uma propriedade física do solo com estreita relação entre a composição granulométrica do solo e do arranjo das partículas ou agregados, cujas alterações decorrem das mudanças na estrutura pelas práticas de manejo dos solos. Segundo Hall et al. (1977), as propriedades mais afetadas pelo manejo do solo são a densidade e o conteúdo de matéria orgânica. Desta forma, a degradação estrutural do solo por práticas inapropriadas de manejo resultam em aumento na densidade do solo e, por consequência, em mudanças

deletérias ou não em outras propriedades físicas que estejam relacionadas a ela, tais como a retenção de água, a infiltração, a aeração e a resistência do solo à penetração das raízes. Neste sentido, a densidade do solo pode ser usada para caracterizar o estado de compactação dos solos, bem como os efeitos de diferentes práticas de preparo e de manejo (RASIAH e AYLMORE, 1998; CORSINI e FERRAUDO, 1999).

Com o objetivo de estabelecer os efeitos de diferentes manejos na qualidade física do solo, Reynolds et al. (2002) propõem o uso de indicadores de qualidade física do solo, que consistem nas proporções de AC/PT e CC/PT, sendo: AC (porosidade drenada entre a saturação e o potencial equivalente a capacidade de campo); CC (o conteúdo de água do solo retido no potencial equivalente a capacidade de campo); e PT a porosidade total do solo. Solos com condições físicas adequadas apresentariam um balanço entre a retenção de água e a disponibilidade de ar no solo, com os seguintes valores:  $AC/PT = 0,34$  e  $CC/PT = 0,66$ . Estas proporções se baseiam em estudos que relatam que a máxima produção de nitrogênio disponível às plantas por processos aeróbicos ocorre quando cerca de 66% do espaço poroso é ocupado com água, ou, por consequência, quando cerca de 34% do espaço poroso é ocupado com ar. Os resultados de Skopp et al. (1990) indicam que a respiração microbiana decresce subitamente em condições mais úmidas ou mais secas, devido a falta de umidade ou reduzida difusão de oxigênio no solo. Reynolds et al. (2002) justificam sua utilização como parâmetros de qualidade física, estabelecendo que solos que apresentam estas relações mantêm conteúdos de água e ar desejáveis no solo por maiores períodos e mais frequentemente.

Resultados experimentais em solos canadenses comprovaram a eficiência desses indicadores para solos com textura média a argilosa (REYNOLDS et al., 2002). Os mesmos autores constataram que, em solos arenosos as relações AC/PT e CC/PT se invertem, comparadas às proporções consideradas ideais, e não se verifica a sensibilidade destes valores em relações aos diferentes manejos do solo. Uma das vantagens da utilização dos indicadores propostos por Reynolds et al. (2002) é a facilidade de obtenção e o baixo custo para determinação dos mesmos. Fidalski et al. (2008) sugerem que os indicadores capacidade de armazenamento de água e ar do solo são bons indicadores para avaliar os efeitos da intensificação de pastejo sobre a qualidade física dos solos. No estudo de Fidalski et al. (2008), em solos de textura arenosa, eles verificaram que a  $CA/Pt$  foi maior do que a  $CC/Pt$ , indicando a reduzida capacidade de retenção de água de solos com granulometria mais grosseira.

A curva de retenção de água no solo é fundamental para o desenvolvimento de estudos relacionados à dinâmica da água no solo, à modelagem de processos físico-hídricos e ao

crescimento das plantas. Ela é normalmente obtida através de medidas simultâneas do conteúdo de água  $\theta$  e do potencial mátrico da água  $\psi$ , de modo que a mesma é definida pela relação entre o teor de água e o potencial com que a água do solo está retida. O conteúdo de água retido no solo em determinada tensão é uma característica específica de cada solo e é resultado da ação conjunta e complexa de vários fatores conforme estabelecem Beutler et al. (2002). Desta forma, têm sido estabelecidas relações entre a retenção de água e outras propriedades do solo medidas rotineiramente, tais como a distribuição do tamanho da partícula (textura), o conteúdo de carbono orgânico e a densidade do solo (ARCHER; SMITH, 1972; VAN DEN BERG et al., 1997).

Os efeitos dos sistemas de manejo sobre a retenção de água têm sido objetos de estudo. Hill et al. (1985) estudaram o efeito de três sistemas de preparo sobre a retenção de água, em dois Mollisols, e constataram que a retenção de água, em ambos os locais, foi maior no preparo com a escarificação, comparado com o plantio direto e com o preparo convencional. Estes autores salientaram que solos sob preparo conservacionista deveriam reter mais água disponível às plantas bem como manter uma condutividade hidráulica mais elevada quando comparados com aqueles sob preparo convencional. Todavia, os resultados obtidos por Lilienfein et al. (1999) demonstraram que, sob preparo convencional, ocorreu uma redução da evaporação, aumentando a umidade do solo devido à quebra da continuidade dos poros na superfície. Considera-se, porém, que solos com diferentes texturas possuem diferentes características de retenção de água, sendo que solos de textura arenosa podem ter uma menor retenção de água em relação aos solos com textura argilosa (RASIAH; AYLMOORE, 1998). Além disso, o aumento do conteúdo de carbono orgânico do solo nos solos argilosos implica no aumento da retenção de água (FRANZLUEBBERS, 2002).

A água disponível para as plantas consiste na quantidade de água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (KLEIN et al., 2010). A capacidade de campo foi definida por Viehmeyer e Hendrikson (1934) como a quantidade de água retida em um solo previamente saturado após cessar o movimento de água gravitacional e o movimento capilar descendente ter se tornado praticamente nulo. O ponto de murcha permanente, por sua vez, consiste no conteúdo de água no solo no qual as folhas de uma planta que nele cresce atingem um murchamento irrecuperável mesmo quando colocada em uma atmosfera saturada com vapor de água (VIEHMEYER; HENDRIKSON, 1949).

Reeve et al. (1973) constataram uma correlação entre a densidade e a água disponível nos horizontes superficiais e subsuperficiais, sendo que em superfície o aumento da densidade

aumentou a água disponível, enquanto que em subsuperfície ocorreu a redução da água disponível para vários solos estudados. Tal constatação pode ser decorrente dos sistemas de manejo que alteraram algumas propriedades físicas dos solos, sendo suportada pelos estudos de O'Sullivan e Ball (1993), os quais verificaram que o manejo do solo pode alterar a água disponível através da modificação da densidade e da estrutura do solo nas diferentes camadas. Estes estudos indicaram que, em solos de textura argilosa, a água disponível aumenta com a porosidade até um certo ponto, e que, a partir daí, começa a se reduzir, enquanto que em solos de textura arenosa a água disponível tende a aumentar com o aumento da densidade. Neste sentido, os resultados de Reeve et al. (1973) também indicaram que o aumento da densidade em superfície aumentou a água disponível nos solos de textura arenosa. Além da textura, tem-se que, em superfície na qual o conteúdo de carbono orgânico geralmente é maior, parte da retenção de água pode ser atribuída ao carbono orgânico do solo (HALL et al., 1977; FRANZLUEBBERS, 2002). Por outro lado, em solos com menos de 30% de argila, não se constatou o efeito do carbono orgânico sobre a retenção de água (BEUTLER et al., 2002).

A modelagem da curva de retenção de água do solo tem sido realizada por meio de diversos modelos matemáticos (CRESSWELL; PAYDAR, 1996; RASIAH; AYLMORE, 1998). Diversos trabalhos, no entanto, têm demonstrado que a equação de Van Genuchten (1980), além de permitir os melhores ajustes para os dados de retenção de água no solo, possui certa versatilidade de aplicação (CRESSWELL, PAYDAR, 1996; RASIAH; AYLMORE, 1998), além de ser o modelo matemático mais amplamente utilizado em nível mundial.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agronômico do

Paraná de coordenadas (23° 00'4" S, 42°02'06"O, altitude 460 m), no município de Paranaíba, na região noroeste do Paraná, em solo classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico, de textura arenosa e relevo plano (EMBRAPA, 2007). O clima predominante da região é o Cfa subtropical úmido mesotérmico, segundo classificação de Köppen que se caracteriza pela predominância de verões quentes, baixa frequência de geadas severas e tendência de concentração de chuvas no verão. A caracterização granulométrica do solo é mostrada na Tabela 1. Os dados da tabela 1 foram obtidos do estudo de Costa (2012), realizado neste mesmo solo e experimento.

Tabela 1. Caracterização granulométrica e classe textural dos diferentes horizontes do Argissolo Vermelho Distrófico típico

<b>Horizonte</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Argila</b>	<b>Silte</b>	<b>Areia</b>	<b>Classe textural</b>
	m	-----	g kg <sup>-1</sup>	-----	
<b>A</b>	0 – 0,20	110	20	870	Areia franca
<b>Bt<sub>1</sub></b>	0,20 – 0,50	193	13	793	Franco arenoso
<b>Bt<sub>2</sub></b>	0,50 – 2,00	207	7	787	Franco argilo arenoso

O experimento foi implantado em 1997, com o objetivo inicial de avaliar o potencial de produção de bovinos de corte em sistema intermitente e carga animal variável sob diferentes níveis de intensificação do pastejo. Conforme Costa (2012), no período 2007-2009 houve um aumento do nível de intensificação da pastagem de *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio em função da adubação nitrogenada (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição dos níveis de intensificação de uso da pastagem, taxa de lotação, ciclos de pastejo e produção de massa seca de forragem no período de 2007-2009, referentes a um valor médio de ocupação de 209 dias no período de verão.

	<b>NI<sub>1</sub></b>	<b>NI<sub>2</sub></b>	<b>NI<sub>3</sub></b>	<b>NI<sub>4</sub></b>
--	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

<b>Nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	0	150	300	450
<b>Taxa de lotação (UA ha<sup>-1</sup>)</b>	1,26	5,57	7,45	8,23
<b>Ciclos de pastejo</b>	1,25	4,06	5,38	5,38
<b>Massa de forragem (kg MS ha<sup>-1</sup> ciclo de pastejo<sup>-1</sup>)*</b>	3689	5734	6351	6638

\* Corte a 0,20 m em relação ao nível do solo e 1 UA ha<sup>-1</sup>= 450 Kg de peso vivo (Fonte: Costa, 2012).

O capim IPR-86 Milênio foi semeado em outubro de 1995, explorado com diferentes níveis de intensificação do pastejo (NI) desde outubro de 1997, quando se iniciou a fertilização do solo com diferentes doses de nitrogênio. Os níveis de intensificação do pastejo dispostos na Tabela 2 foram baseados na taxa de lotação animal, ciclos de pastejo e massa de forragem que variaram em função da aplicação das doses crescentes de nitrogênio: 0, 150, 300 e 450 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, equivalente aos níveis de intensificação de NI<sub>1</sub> até NI<sub>4</sub>. A fonte de N utilizada foi o nitrato de amônio e os demais nutrientes foram aplicados de maneira a não restringir o desenvolvimento das plantas, por meio de adubações periódicas com superfosfato simples, cloreto de potássio e calcário, aplicados em superfície e sem incorporação. A caracterização química dos solos de cada um dos níveis de intensificação do pastejo pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização química do Argissolo Vermelho Distrófico típico nos diferentes níveis de intensificação de pastejo em amostras de solo coletadas no ano de 2007.

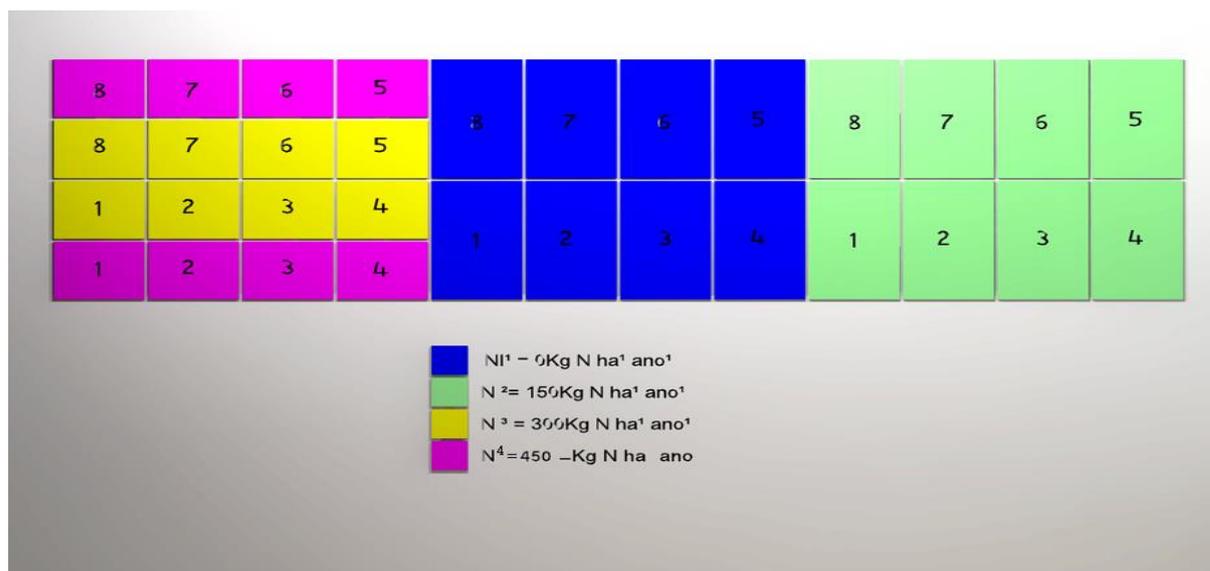
NI	Profundidad e	P <sup>(1)</sup>	C <sup>(2)</sup>	pH <sup>(3)</sup>	Al <sup>(4)</sup>	H <sup>+</sup> Al	Ca <sup>(4)</sup>	Mg <sup>(4)</sup>	K <sup>(1)</sup>	V
----	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	----------------------	-------------------	-------------------	------------------	---

	M	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					%
	0-0,10	9,48	8,51	6,18	0,00	1,99	1,83	1,17	0,23	61.80
<b>NI<sub>1</sub></b>	0,10-0,20	2,10	6,06	5,80	0,00	2,11	1,50	0,84	0,17	54.21
	0,20-0,40	1,00	4,43	5,48	0,00	2,27	1,37	0,83	0,14	50.70
	0-0,10	13,33	9,42	5,73	0,00	2,23	1,80	0,98	0,23	57.45
<b>NI<sub>2</sub></b>	0,10-0,20	2,95	5,40	5,65	0,00	2,20	1,49	0,83	0,11	52.65
	0,20-0,40	1,58	4,94	5,55	0,00	2,28	1,43	0,92	0,10	51.82
	0-0,10	11,95	9,73	4,98	0,04	3,01	1,53	0,94	0,40	48.76
<b>NI<sub>3</sub></b>	0,10-0,20	2,43	6,79	5,05	0,07	2,80	1,55	0,86	0,18	48.01
	0,20-0,40	1,28	4,53	5,08	0,01	2,64	1,36	0,87	0,09	46.77
	0-0,10	15,95	10,32	4,50	0,14	3,91	1,44	0,77	0,37	39.83
<b>NI<sub>4</sub></b>	0,10-0,20	3,45	6,65	4,53	0,19	3,36	1,35	0,62	0,19	39.11
	0,20-0,40	1,43	4,78	4,63	0,16	2,89	1,44	0,82	0,10	44.92

Mehlich 1; <sup>(2)</sup> Walkley-Black; <sup>(3)</sup> CaCl<sub>2</sub>; <sup>(4)</sup> KCl 1,0 M. (Fonte Costa,2012)

### 3.2 Planejamento experimental

O ajuste da taxa de lotação animal foi comum a todos os tratamentos tendo por base a produtividade da pastagem e a oferta de 70% de matéria seca de lâminas foliares verdes em relação à produção total da forragem. Além disso, considerou-se o consumo diário de 11 kg de folhas verdes por 450 kg de peso vivo animal. O manejo da pastagem foi realizado visando à manutenção do resíduo pós-pastejo entre 20-25% de lâminas verdes em relação à produção em cada nível de intensificação.



**Figura 2.** Representação esquemática da área experimental com disposição dos níveis de intensificação do pastejo.

No bloco, destacado em cores, a aplicação da adubação nitrogenada foi realizada durante 13 anos (1997-2009). Os resultados apresentados neste trabalho se referem às amostras e aos dados coletados da gleba em destaque (colorida) com as doses de adubação nitrogenada nas respectivas legendas.

Cada nível de intensificação foi dividido em 8 piquetes com áreas de 1.687 m<sup>2</sup> para os níveis de intensificação NI<sub>1</sub> e NI<sub>2</sub> e 839 m<sup>2</sup> para os níveis de intensificação NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub>. A divisão dos níveis de intensificação em piquetes teve o objetivo de permitir a implantação do sistema de manejo com lotação rotacionada.

Na divisão entre os diferentes níveis de intensificação, foi utilizada cerca com oito fios de arame liso para que não houvesse mistura dos animais entre os níveis de intensificação. Nas divisões internas e no acesso ao corredor, foram utilizadas cercas elétricas com dois fios de arame liso. Em todas as parcelas, os animais tiveram livre acesso à água e ao sal mineral.

Durante os seis primeiros anos (1997-2002), o manejo rotacionado da lotação considerou o período de ocupação do piquete de cinco dias de pastejo e 35 dias de descanso para todos os níveis de intensificação. Nos últimos seis anos, o sistema de condução foi alterado, levando em conta a altura do pasto em pré-pastejo (0,85 cm) para definir a entrada dos animais e uma altura limite (0,40 cm) para definir a saída dos animais do piquete. O manejo de lotação intermitente foi utilizado durante todo o período experimental, a fim de garantir ofertas de forragem semelhantes entre os diferentes níveis de intensificação.

### **3.3 Amostragem**

Para a avaliação dos indicadores de qualidade física do solo, considerou-se o delineamento experimental inteiramente ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas principais, foram dispostos os níveis de intensificação de pastejo, NI<sub>1</sub> até NI<sub>4</sub>, e nas subparcelas a posição de amostragem, área da touceira, (CT), e área entre touceiras, (ST), contabilizando 32 unidades experimentais por profundidade (0,0-10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m), totalizando 128 amostras.

Em cada parcela experimental foi retirada uma amostra indeformada utilizando anéis volumétricos de aço inox com 5 cm de altura e diâmetro. No momento da coleta, as amostras foram envoltas em papel alumínio e em seguida sob refrigeração até o momento das determinações. Em laboratório, as amostras foram saturadas por capilaridade em bandejas com lâmina de água até dois terços da altura do anel volumétrico para posteriores determinações.

### **3.4 Determinação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade**

A densidade foi determinada pela razão entre a massa de sólidos e o volume do cilindro das amostras que permaneceram por 24 horas em estufa a 105 °C (ou até atingirem o peso constante). As amostras secas foram pesadas, obtendo-se a massa de solo seco (Ms) (EMBRAPA, 1997).

A porosidade total foi calculada pela relação entre a massa de água em solo saturado e o volume da amostra. A macroporosidade foi determinada pela diferença entre o conteúdo de água no solo saturado e no potencial matricial de -6 kPa e a microporosidade foi determinada como sendo o volume de água retido a -6 kPa (EMBRAPA, 1997).

### **3.5 Determinação da curva de retenção de água no solo**

A determinação da curva de retenção de água nas amostras indeformadas foi feita conforme o procedimento descrito por Embrapa (1997). A determinação do conteúdo de água retido nos potenciais de -1,-2,-3,-4,-5, -6, -7, -8, -9 e -10 kPa foi realizada em mesa de tensão conforme Reynolds et al. (2002). Para a determinação dos potenciais -30, -50, -70 e -100 kPa, utilizou-se pressões aplicadas em câmaras com placas porosas conforme Klute (1986). O teor de água no potencial de -1500 kPa, equivalente ao ponto de murcha permanente, foi posteriormente estimado com uso do equipamento WP4-T.

Após as amostras entrarem em equilíbrio com o potencial aplicado, as mesmas foram pesadas e colocadas em estufa a 105 °C por 24 horas para secagem e posterior pesagem para determinação do conteúdo de água ( $\theta$ ).

A umidade gravimétrica,  $w$  (g/g), foi obtida por meio da equação 1:

$$W = \frac{mu - ms}{ms} \quad (1)$$

Sendo:  $\mu$  é a massa do solo úmido em cada potencial específico (kg); e  $Ms$  a massa de sólidos do solo (kg). A umidade volumétrica do solo ( $\theta, \text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) foi determinada por meio da equação 2.

$$\theta_w = W \times (Ds/Dag) \quad (2)$$

Onde:  $w$  o teor de água em base de massa ( $\text{kg kg}^{-1}$ );  $Ds$  a densidade do solo ( $\text{kg m}^{-3}$ ); e  $Dag$  a densidade da água assumida igual a  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

A Curva de retenção de água no solo foi ajustada por meio da equação 3 proposta por Genuchten (1980):

$$\theta = [\theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [(1 + \alpha \psi)^n]^{1-1/n}] \quad (3)$$

Em que  $\theta$ =conteúdo de água ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\psi$  = potencial mátrico (kPa);  $\theta_s$  = conteúdo de água na saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\theta_r$  = conteúdo de água residual ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\alpha$  e  $n$  são parâmetros do ajuste do modelo. Adotou-se a restrição para  $m = 1-1/n$  no ajuste do modelo aos dados.

### 3.6 Água disponível

Para a determinação da água disponível, considerou a diferença obtida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (CLAESSEN et al, 1997).

A capacidade de campo foi determinada como o teor de água retido no potencial matricial de -10 kPa obtido em mesa de tensão conforme EMBRAPA (1997). O ponto de murcha permanente é definido como a umidade volumétrica equivalente ao potencial matricial de -1500 kPa e foi determinado utilizando o aparelho denominado WP4-T Dewpoint Potential Meter (DECACON, 2003). As amostras foram previamente umedecidas, ficando em repouso por 24 horas para uniformizar a umidade e, posteriormente, submetidas à leitura. O WP4 consta de um sistema onde se introduz uma porção de solo peneirado, para dentro de uma câmara hermeticamente fechada. A umidade da câmara equilibra-se com o potencial da água no solo, sendo este calculado com base na temperatura do solo e do ar, no ponto de orvalho. Esse procedimento foi necessário para proceder a uma estimativa mais rápida do teor de água no potencial de -1500 kPa.



Figura 3. Psicrômetro modelo WP4-T.

### 3.7 Análise da distribuição de tamanho de poros do solo

A distribuição de tamanho de poros foi determinada utilizando as amostras indeformadas nas quais determinou-se o conteúdo de água (equação 2) nos potenciais -1,-2,-3,-4,-5,-6,-7,-8,-9,-10 kPa obtidos em mesa de tensão e -30,-50,-70 e - 100 kPa obtidos na câmara de placa porosa e o potencial de -1500 kPa estimado no equipamento WP4 – T.

A cada tensão aplicada obtêm-se um raio de poro equivalente por meio da equação 4:

$$r = \frac{2 \sigma}{\rho_a g h} \quad (4)$$

Nesta equação, utilizaram-se:  $72,75 \times 10^{-3} \text{ N/m}$  para o valor da tensão superficial da água (líquido de molhamento); o valor de  $1000 \text{ kg/m}^3$  para a densidade da água, considerou-se  $\alpha \approx 0$  (KUTILEK et al, 2006); e o valor da aceleração da gravidade igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Com a adoção desses valores, chegou-se a seguinte expressão para a relação entre  $r$  e  $h$ , respectivamente, o raio de poro e o valor de  $h$ :

$$r = \frac{1490}{h} \quad (5)$$

Na qual:

$h$  = potencial matricial investigado (dado em cm de água);

$r$  = raio de poro equivalente ( $\mu\text{m}$ ).

### 3.8 Capacidade de armazenamento de água e ar do solo

O indicador de capacidade de armazenamento de água do solo (CC/Pt) foi calculado por meio das razão entre o conteúdo de água do solo retido no potencial matricial equivalente à capacidade de campo (CC), determinada no potencial matricial de  $-10 \text{ kPa}$  e a porosidade total do solo (Pt), conforme descrito em Reynolds et al. (2002)

O indicador capacidade de armazenamento de ar do solo (CAt/Pt) foi calculado pelo quociente entre o volume de poros drenados no potencial matricial de  $-10 \text{ kPa}$  (CAt) e a porosidade total do solo (Pt), conforme descrito por Reynolds et al. (2002)

### 3.9 Análise estatística dos dados

As pressuposições para análise de variância entre os tratamentos foram atendidas para todos os indicadores de qualidade física do solo avaliados nas diferentes camadas de solo (Tabela 4). Os valores de “F”, para o teste de Levene, e “W” para o teste de Shapiro-Wilk, não foram significativos ( $p > 0,05$ ), indicando que as variâncias foram homogêneas (homocedasticidade) e os erros apresentaram distribuição normal, que torna a análise de

variância uma ferramenta eficaz para avaliar a possibilidade de existência de diferença entre os tratamentos avaliados.

Os dados obtidos foram tabulados e analisados para avaliação de homogeneidade da variância utilizando o teste de Levene e normalidade dos resíduos pelo índice de Shapiro-Wilk. As variáveis analisadas atenderam aos pressupostos e, quando isso não ocorreu, os dados foram transformados e testados. Estas avaliações foram realizadas pelos softwares estatísticos SAS e SISVAR. As médias dos efeitos isolados (nível de intensificação e local de amostragem) foram desdobradas, independente da significância dos valores de “F” das interações na análise de variância principal. Para comparação das médias, foi utilizado o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As pressuposições para análise de variância entre os tratamentos foram atendidas para todos os indicadores de qualidade física do solo avaliados nas diferentes camadas de solo (Tabela 4). Os valores de “F”, para o teste de Levene, e “W”, para o teste de Shapiro-Wilk, não

foram significativos indicando que as variâncias foram homogêneas (homocedasticidade) e os erros apresentaram distribuição normal, permitindo a utilização da análise de variância para avaliar a possibilidade de existência de diferença entre os tratamentos avaliados.

Tabela 4. Análise da homogeneidade da variância e normalidade dos erros dos índices de qualidade física densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e água disponível nas profundidades de 0-0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 - 0,30 e 0,30 – 0,40m.

	<b>Ds</b>	<b>Pt</b>	<b>Macro</b>	<b>Micro</b>	<b>Ad</b>
0 – 0,10 m					
<b>Levene F (Pr &gt; F)</b>	1,62 (0,18)	0,55 (0,79)	1,39 (0,26)	2,06 (0,09)	1,77 (0,14)
<b>Shapiro-Wilk W (Pr &lt; W)</b>	0,95 (0,16)	0,95 (0,16)	0,95 (0,16)	0,97 (0,52)	0,96 (0,23)
0,10 – 0,20 m					
<b>Levene F (Pr &gt; F)</b>	1,94 (0,11)	1,70 (0,16)	1,36 (0,27)	1,64 (0,17)	1,46 (0,23)
<b>Shapiro-Wilk W (Pr &lt; W)</b>	0,98 (0,73)	0,93 (0,05)	0,93 (0,05)	0,95 (0,19)	0,96 (0,28)
0,20 – 0,30 m					
<b>Levene F (Pr &gt; F)</b>	1,74 (0,15)	2,41 (0,06)	1,11 (0,39)	2,43 (0,06)	1,50 (0,22)
<b>Shapiro-Wilk W (Pr &lt; W)</b>	0,94 (0,10)	0,93 (0,06)	0,97 (0,41)	0,97 (0,53)	0,97 (0,38)
0,30 – 0,40 m					
<b>Levene F (Pr &gt; F)</b>	0,23 (0,97)	2,28 (0,07)	0,41 (0,89)	0,72 (0,65)	1,68 (0,16)
<b>Shapiro-Wilk W (Pr &lt; W)</b>	0,94 (0,13)	0,97 (0,47)	0,98 (0,76)	0,99 (0,94)	0,96 (0,24)

A intensificação do pastejo alterou a densidade do solo somente na posição entre touceiras (ST) da camada superficial do solo, 0 - 0,10 m (Tabela 5). Os valores de densidade do solo encontrados nos níveis de intensificação NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> foram superiores aos observados

no tratamento menos intensificado NI<sub>1</sub>. O aumento da densidade do solo nos tratamentos NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> é justificado pelo aumento da carga animal sobre o solo e a frequência de pastejo que estes tratamentos receberam ao longo dos anos (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Bertol et al. (2000) em Cambissolo álico cultivado com capim elefante anão e pastejados com lotação contínua. Os autores observaram aumento dos valores de densidade do solo nas camadas de 0 – 0,5 m e 0,5 – 0,10 m quando se aumentou o número de animais em pastejo, reduzindo, conseqüentemente a oferta de forragem.

O aumento da densidade do solo em áreas pastejadas tem sido associado a uma mudança da qualidade do solo que, em muitos casos, pode restringir o desenvolvimento das plantas. Reinert et al. (2008), trabalhando em Argissolo Vermelho distrófico típico, mesma classe de solo avaliada no presente trabalho e com classe textural semelhante, demonstraram que valores de densidade até 1,75 Mg dm<sup>-3</sup> as plantas apresentaram desenvolvimento normal das raízes, enquanto para o intervalo entre 1,75 e 1,85 Mg dm<sup>-3</sup> ocorreram restrições, com deformações na morfologia em grau médio. Na faixa de densidade acima de 1,85 Mg dm<sup>-3</sup> ocorreram deformações severas, engrossamento e concentração na camada superficial do solo. Os resultados apresentados na Tabela 5 indicaram que os valores de densidade do solo nos tratamentos mais intensificados não atingiram o valor crítico de 1,85 Mg dm<sup>-3</sup> proposto por Reinert et al. (2008).

Tabela 5. Densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>) em função do nível de intensificação do uso da pastagem (NI<sub>1</sub>, NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub>, NI<sub>4</sub>) e da posição da coleta das amostras (CT e ST).

	NI <sub>1</sub>		NI <sub>2</sub>		NI <sub>3</sub>		NI <sub>4</sub>	
0 – 0,10 m								
CT	1,46	Aa*	1,48	B a	1,46	B a	1,44	B a
ST	1,52	A b	1,62	A a	1,62	A a	1,67	A a
0,10 – 0,20 m								
CT	1,57	A a	1,62	A a	1,63	A a	1,59	A a
ST	1,59	A a	1,61	A a	1,60	A a	1,61	A a
0,20 – 0,30 m								
CT	1,64	A a	1,64	A a	1,67	A a	1,61	A a
ST	1,65	A a	1,68	A a	1,64	A a	1,65	A a
0,30 – 0,40 m								
CT	1,68	A a	1,69	A a	1,68	A a	1,66	A a
ST	1,67	A a	1,67	A a	1,69	A a	1,65	A a

\*Letras maiúsculas comparam a posição de amostragem nas colunas e minúsculas comparam os níveis de intensificação nas linhas; letras iguais não diferem pelo teste Skott – Knott ( $p < 0,05$ ).

A reduzida variação dos valores de densidade do solo na posição da touceira indica a similaridade da densidade entre os níveis de intensificação de pastejo mesmo na camada superficial do solo (Tabela 5). Estes resultados são justificados pelo direcionamento do pisoteio dos animais na posição entre touceiras devido ao hábito de crescimento cespitoso da espécie forrageira avaliada, *Panicum maximum* IPR-86 Milênio. A comparação entre as posições de amostragem evidencia estas afirmações. Maiores valores de densidade do solo foram observados na posição entre touceiras dos tratamentos mais intensificados (NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub>, e NI<sub>4</sub>). Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2007) e Pereira et al. (2010) em *Panicum maximum* cv Tanzânia e Imhoff et al. (2000) em capim-elefante (*Penisetum purpureum* Schum), que observaram maiores valores de densidade do solo na posição entre touceiras, quando comparada à posição da touceira.

A ausência de diferença da densidade do solo entre os tratamentos avaliados nas camadas de 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30 e 0,30 – 0,40 m indica que o efeito do pisoteio animal sobre a densidade do solo ficou restrito aos primeiros 0,10 m de profundidade (Tabela 5).

A porosidade total, a exemplo do que ocorreu com a densidade do solo, também apresentou diferença significativa entre os tratamentos apenas na camada superficial do solo de 0 – 0,10 m, conforme dados mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo em função do nível de intensificação do uso da pastagem (NI<sub>1</sub>, NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub>, NI<sub>4</sub>) e da posição da coleta das amostras (CT e ST).

	NI <sub>1</sub>		NI <sub>2</sub>		NI <sub>3</sub>		NI <sub>4</sub>	
0 – 0,10 m								
<b>CT</b>	0,42	Aa*	0,42	A a	0,43	A a	0,43	A a
<b>ST</b>	0,42	A a	0,39	B b	0,39	B b	0,37	B b
0,10 – 0,20 m								
<b>CT</b>	0,39	A a	0,39	A a	0,41	A a	0,40	A a
<b>ST</b>	0,40	A a	0,39	A a	0,40	A a	0,41	A a
0,20 – 0,30 m								
<b>CT</b>	0,40	A a	0,38	A a	0,37	A a	0,41	A a
<b>ST</b>	0,38	A a	0,38	A a	0,41	A a	0,40	A a
0,30 – 0,40 m								
<b>CT</b>	0,40	A a	0,37	A a	0,39	A a	0,40	A a
<b>ST</b>	0,39	A a	0,38	A a	0,40	A a	0,41	A a

\*Letras maiúsculas comparam a posição de amostragem nas colunas e minúsculas comparam os níveis de intensificação nas linhas; letras iguais não diferem pelo teste Skott – Knott ( $p < 0,05$ ).

Solos com boa qualidade física possuem uma estrutura adequada para garantir o bom desenvolvimento das raízes e proporcionam condições adequadas para o fornecimento de água, nutrientes e ar às plantas. A estrutura do solo é definida pelo arranjo entre as partículas sólidas (partículas de solo e matéria orgânica) e espaços livres ou poros. Já a quantidade, distribuição e disposição dos poros determinam a capacidade de retenção e infiltração de água, penetração das raízes e respiração. Assim, a redução do volume total de poros observada nos tratamentos mais intensificados (NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub>) da posição (ST) confirma que o pisoteio dos animais nas taxas de lotação e a frequência de pastejo utilizada (Tabela 2) alteraram o arranjo entre as partículas do solo e, por consequência a sua porosidade.

Quando ocorre a degradação da estrutura do solo pelo pisoteio, há diminuição no tamanho dos poros, especialmente daqueles de tamanho maior (macroporos), que leva redução na área da seção transversal para o fluxo de água, juntamente com percursos mais tortuosos para o movimento de fluido, afetando, com isso, o processo de infiltração conforme destacam Alves et al.(2007). Por exemplo, Costa (2012) avaliou a condutividade hidráulica do solo neste mesmo experimento e demonstrou que a intensificação do pastejo não alterou a infiltração de água no solo. Por outro lado, houve uma redução acentuada da infiltração de água no solo na posição entre touceiras quando comparada a região da touceira, justificando a alteração da estrutura do solo.

A distribuição do tamanho de poros no solo é mais importante que a simples quantificação da porosidade total por permitir uma melhor compreensão da dinâmica da água e do ar no solo (KIEHL, 1979; KLEIN, 1998). A presença de uma rede ideal de poros no solo também exerce expressiva influência sobre sua fertilidade, afetando as relações entre drenagem, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura, relacionando-se diretamente com o desenvolvimento e produtividade das culturas. Inúmeras classificações do diâmetro de poros são citadas na literatura, sendo que uma forma mais simplificada separa os poros em duas classes: macro e microporos. Os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo, enquanto, os microporos, também denominados poros capilares, representam os poros responsáveis pela retenção da água no solo. Neste trabalho, optou-se pela utilização da classificação proposta por Richards (1965) que define como macroporos e microporos os poros com diâmetro maior e menor que 50  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

A avaliação da macroporosidade do solo (Tabela 7) demonstrou que a redução da porosidade total nos tratamentos mais intensificados (NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub>) da posição ST na camada de solo de 0 - 0,10 m ocorreu devido à perda de poros com diâmetro maior que 50  $\mu\text{m}$  (macroporos).

Tabela 7. Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo em função do nível de intensificação do uso da pastagem (NI<sub>1</sub>, NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub>, NI<sub>4</sub>) e da posição da coleta das amostras (CT e ST).

NI <sub>1</sub>	NI <sub>2</sub>	NI <sub>3</sub>	NI <sub>4</sub>
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

0 – 0,10 m							
<b>CT</b>	0,23 Aa*	0,23	A a	0,22	A a	0,22	A a
<b>ST</b>	0,22 A a	0,16	B b	0,14	B b	0,14	B b
0,10 – 0,20 m							
<b>CT</b>	0,18 A a	0,19	A a	0,18	A a	0,17	A a
<b>ST</b>	0,18 A a	0,18	A a	0,15	A a	0,18	A a
0,20 – 0,30 m							
<b>CT</b>	0,12 A a	0,14	A a	0,10	A a	0,15	A a
<b>ST</b>	0,13 A a	0,15	A a	0,13	A a	0,13	A a
0,30 – 0,40 m							
<b>CT</b>	0,14 A a	0,11	A a	0,11	A a	0,12	A a
<b>ST</b>	0,12 A a	0,13	A a	0,11	A a	0,13	A a

\*Letras maiúsculas comparam a posição de amostragem nas colunas e minúsculas comparam os níveis de intensificação nas linhas; letras iguais não diferem pelo teste Skott – Knott ( $p < 0,05$ ).

A perda de macroporosidade na camada superficial do solo devido ao pisoteio dos animais tem sido frequentemente relatada na literatura científica. Tarrá et al. (2010), avaliando um Latossolo Amarelo álico na Região Amazônica, constaram diminuição significativa do volume de macroporos com o tempo de uso de pastagens (4, 5 e 8 anos), sugerindo que naquele solo há baixa resiliência dos macroporos, associado à perda da qualidade física do solo em função do manejo utilizado. Nas camadas de solo de 0,10–0,20; 0,20 – 0,30 e 0,30 – 0,40 m, não houve influência dos tratamentos no volume de macroporos entre os tratamentos avaliados, confirmando que estas camadas de solo não sofreram as alterações impostas pelo pisoteio animal.

A existência de poros no solo com diâmetro maior que 50  $\mu\text{m}$  (macroporos) permite a rápida aeração e fornecimento de oxigênio para a respiração do sistema radicular das plantas e permite a condução de água durante o processo de infiltração de água no solo. O volume mínimo de macroporos desejável no solo para satisfazer as exigências de aeração da maioria das plantas é cerca de 10% (ERICKSON, 1982). No solo do presente estudo, demonstrou-se que essa demanda de aeração pode ser suprida adequadamente, uma vez que a porcentagem mínima de macroporos encontrada foi 11% (Tabela 7).

A avaliação da microporosidade do solo, poros menores que 50  $\mu\text{m}$ , na camada de 0-0,10 m, demonstrou que os tratamentos mais intensificados (NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub>) da posição ST tiveram maiores valores de microporosidade em relação os mesmos tratamentos da posição CT (Tabela 8). Estes resultados sugerem que, nestes tratamentos, parte da macroporosidade foi transformada em microporos. Assim, a alteração da estrutura do solo, nestes tratamentos, provocou redução dos macroporos, provocando redução da porosidade total, apesar de que parte deste macroporos pode ter sido transformada em microporos.

Tabela 8. Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo em função do nível de intensificação do uso da pastagem (NI<sub>1</sub>, NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub>, NI<sub>4</sub>) e da posição da coleta das amostras (CT e ST).

	NI <sub>1</sub>		NI <sub>2</sub>		NI <sub>3</sub>		NI <sub>4</sub>	
0 – 0,10 m								
<b>CT</b>	0,19	A a*	0,19	B a	0,21	B a	0,21	B a
<b>ST</b>	0,20	A a	0,23	A a	0,25	A a	0,23	A a
0,10 – 0,20 m								
<b>CT</b>	0,21	A a	0,20	A a	0,23	A a	0,23	A a
<b>ST</b>	0,22	A a	0,21	A a	0,25	A a	0,23	A a
0,20 – 0,30 m								
<b>CT</b>	0,27	A a	0,24	A a	0,28	A a	0,26	A a
<b>ST</b>	0,25	A a	0,23	A a	0,28	A a	0,27	A a
0,30 – 0,40 m								
<b>CT</b>	0,26	A a	0,26	A a	0,28	A a	0,28	A a
<b>ST</b>	0,28	A a	0,26	A a	0,28	A a	0,29	A a

\*Letras maiúsculas comparam a posição de amostragem nas colunas e minúsculas comparam os níveis de intensificação nas linhas; letras iguais não diferem pelo teste Skott – Knott ( $p < 0,05$ )

A microporosidade nas demais camadas de solo não foi alterada, sugerindo que a capacidade de retenção de água no solo foi mantida independentemente do nível de intensificação avaliado ou da posição amostrada (Tabela 8).

#### **4.1 Influência da intensificação de pastejo e da posição de amostragem sobre a capacidade de aeração e armazenamento de água no solo**

Skopp et al. (1990) concluíram que a produtividade máxima das culturas, decorrente do aproveitamento do N mineralizado a partir da matéria orgânica, ocorre quando 66% do espaço poroso do solo estava ocupado com água e conseqüentemente, com 34% de ar. Utilizando estes resultados e o fato que os espaços porosos preenchidos com água e ar dependem, parcialmente, das características físicas do solo, Olness et al. (1998) propuseram como indicadores para quantificar a qualidade física dos solos a relação entre a capacidade de campo e a porosidade total do solo ou entre a capacidade de aeração total e a porosidade total do solo. A relação da capacidade de campo com a porosidade total foi denominada capacidade de armazenamento de água no solo (CC/Pt), enquanto a relação da capacidade de aeração total com a porosidade total foi denominada capacidade de armazenamento de ar no solo (CAT/Pt). Assim, esses autores indicaram que o balanço entre o conteúdo entre ar e água no solo seria atingido para valores de capacidade de armazenamento de ar de 0,34 ou capacidade de armazenamento de água de 0,66.

O Argissolo Vermelho Distrófico avaliado por ser um solo de textura arenosa contém baixa capacidade de armazenamento de água e alta capacidade de aeração do solo. Os resultados obtidos da capacidade de armazenamento de água (CC/Pt) (Tabela 9) e a capacidade de aeração do solo (CAT/Pt) (Tabela 10) demonstraram que, para a camada superficial de 0 – 0,10 m a posição de amostragem da posição da touceira nos níveis NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> ocorreu um aumento da capacidade de armazenamento de água (CC/Pt) e redução na capacidade de armazenamento de ar do solo.

Já na posição de amostragem entre as touceiras, desta mesma camada, ocorreu aumento na capacidade de retenção de água nos níveis NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> e redução na capacidade de armazenamento de ar, que podem ser justificados pela interferência do pisoteio animal. Para a posição de touceira, observa-se, em todos os níveis de intensificação, a baixa capacidade de retenção de água e valores elevados de aeração deste solo atribuídos a sua textura arenosa.

Fidalski et al. (2008), para solo de mesma textura do presente estudo, encontraram valores de CAT/Pt elevados e reduzidos valores de CC/Pt, demonstrando a baixa retenção de água desses solos e elevada aeração.

Tabela 9. Capacidade de armazenamento de água no solo (CC/Pt) em função do nível de intensificação do uso da pastagem (NI<sub>1</sub>, NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub>, NI<sub>4</sub>) e da posição da coleta das amostras (CT e ST).

	NI <sub>1</sub>		NI <sub>2</sub>		NI <sub>3</sub>		NI <sub>4</sub>	
0 – 0,10 m								
<b>CT</b>	0,34	B a*	0,34	B a	0,38	B a	0,38	B a
<b>ST</b>	0,37	A b	0,43	A a	0,46	A a	0,45	A a
0,10 – 0,20 m								
<b>CT</b>	0,40	A b	0,38	A b	0,52	A a	0,47	A a
<b>ST</b>	0,40	A a	0,38	A a	0,47	A a	0,44	A a
0,20 – 0,30 m								
<b>CT</b>	0,55	A a	0,52	A a	0,57	A a	0,53	A a
<b>ST</b>	0,52	A a	0,47	A a	0,57	A a	0,52	A a
0,30 – 0,40 m								
<b>CT</b>	0,55	A a	0,58	A a	0,57	A a	0,56	A a
<b>ST</b>	0,55	A a	0,55	A a	0,58	A a	0,55	A a

\*Letras maiúsculas comparam a posição de amostragem nas colunas e minúsculas comparam os níveis de intensificação nas linhas; letras iguais não diferem pelo teste Skott – Knott ( $p < 0,05$ ).

Para camada de 0,10 – 0,20 m na posição de amostragem CT, o nível NI<sub>3</sub> mais se aproximou dos níveis ideais proposto por Olness et al. (1998), de 0,66 para capacidade de retenção de água e 0,34 para capacidade de armazenamento de ar. Enquanto, que para região ST, os níveis NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> aproximaram-se dos ideais (Tabela 10).

Para as camadas de 0,20 – 0,30 e 0,30 – 0,40 m, de maneira geral, não houve diferenças significativas em ambos os índices avaliados independente da posição de amostragem avaliada. No entanto, é possível inferir que ocorre uma tendência de aumento na capacidade de retenção e diminuição da aeração, que podem ser justificados pela presença de maiores quantidade de argila nestes horizontes (Tabela 10).

Desta forma, através dos indicadores capacidade de armazenamento de água (CC/Pt) e capacidade de aeração total, foi possível demonstrar que a redução na macroporosidade na região ST não comprometeu a qualidade física deste solo, que acarretariam em redução do potencial do desenvolvimento da espécie forrageira avaliada.

Tabela 10. Capacidade de armazenamento de ar no solo (CAT/Pt) em função do nível de intensificação do uso da pastagem (NI<sub>1</sub>, NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub>, NI<sub>4</sub>) e da posição da coleta das amostras (CT e ST).

	NI <sub>1</sub>		NI <sub>2</sub>		NI <sub>3</sub>		NI <sub>4</sub>	
0 – 0,10 m								
<b>CT</b>	0,66	A a*	0,66	A a	0,62	A a	0,62	A a
<b>ST</b>	0,63	A a	0,57	B b	0,54	B b	0,55	B b
0,10 – 0,20 m								
<b>CT</b>	0,60	A a	0,62	A a	0,48	A b	0,53	A b
<b>ST</b>	0,60	A a	0,62	A a	0,53	A a	0,56	A a
0,20 – 0,30 m								
<b>CT</b>	0,45	A a	0,48	A a	0,43	A a	0,47	A a
<b>ST</b>	0,48	A a	0,53	A a	0,43	A a	0,48	A a
0,30 – 0,40 m								
<b>CT</b>	0,45	A a	0,42	A a	0,43	A a	0,44	A a
<b>ST</b>	0,45	A a	0,45	A a	0,42	A a	0,45	A a

\*Letras maiúsculas comparam a posição de amostragem nas colunas e minúsculas comparam os níveis de intensificação nas linhas; letras iguais não diferem pelo teste Skott – Knott ( $p < 0,05$ ).

#### 4.2 Influência da intensificação do pastejo e da posição de amostragem na curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo expressa a relação do conteúdo de água no solo e o potencial matricial, sendo afetada por uma série de fatores, mas principalmente pela textura e porosidade, tornando-se uma ferramenta útil para avaliar as interferências do manejo adotado sobre o solo. Desta forma, através da curva de retenção de água, foi possível avaliar a influência dos diferentes níveis de intensificação de pastejo sobre o solo nas posições de amostragem e nas camadas estudadas.

Na camada de amostragem de 0 – 0,10 m é possível observar que, no nível de intensificação NI<sub>1</sub>, a posição com touceira e sem touceira (Figura 4A), apresentou comportamento semelhante nas duas posições de amostragem com rápida drenagem de água nos potenciais mais altos, justificados pela presença de maior quantidade de macroporos,

comuns nos solos de textura arenosa; já nos menores potenciais, ficou evidente a baixa capacidade de retenção de água deste solo.

Nos níveis mais intensificados NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub>, (Figura 4B, C e D), a posição de amostragem sem touceira, apresentou menores teores de água em relação a posição com touceira, confirmando a redução da porosidade total.

Estes resultados distinguem-se daqueles de Pérez Gomar (2005) que verificou que a compactação pelo pisoteio bovino aumentou a densidade e aumentou a restrição de água.

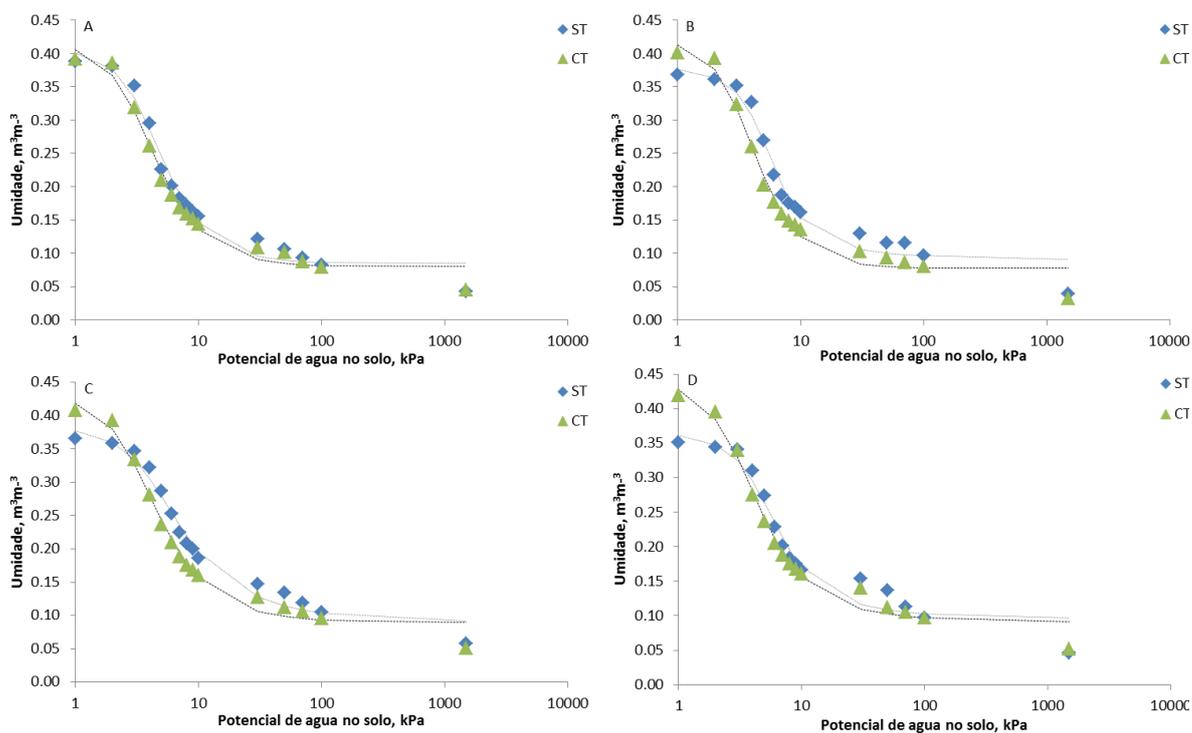


Figura 4. Curva de retenção de água no solo da camada de 0 - 0,10 m, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten, para as posições de amostragem sem touceira (ST) e com touceira (CT) e em cada nível de intensificação: NI<sub>1</sub> (A), NI<sub>2</sub> (B), NI<sub>3</sub> (C) e NI<sub>4</sub> (D).

Observa-se no nível de intensificação NI<sub>1</sub> da camada de 0,10 – 0,20 m (Figura 5A) comportamento semelhante na posição sem touceira e entre touceira, em que os potenciais mais

elevados apresentaram drenagem rápida, demonstrando ainda a influência dos macroporos; já nos potenciais mais baixos, ocorre ainda uma baixa capacidade de retenção de água, por ser o nível menos intensificado no qual o pisoteio animal não provocou alterações na estrutura do solo.

De forma similar, as curvas da camada de 0,10 - 0,20 m mostram que não ocorreram alterações. No nível de intensificação NI<sub>2</sub> (Figura 5 B), a região sem touceira e com touceira apresentou, nos potenciais mais altos, elevada drenagem e, nos potenciais mais baixos, reduzida capacidade de retenção de água, evidenciando que o pisoteio animal não atingiu esta camada.

Já no nível de intensificação NI<sub>3</sub> (Figura 5 C), observa-se que o solo na posição sem touceira apresenta, nos potenciais mais altos, aeração maior que a região com touceira, que pode ser justificado pela renovação do sistema radicular ser mais intenso nesta posição, ocasionada pela adubação nitrogenada e também deposição de matéria orgânica, decorrente da morte das raízes e dejetos dos animais.

No nível de intensificação NI<sub>4</sub> (Figura 5 D), nos potenciais mais altos, verificaram-se elevadas perdas de água com a redução do potencial e, em ambas nos potenciais mais baixos, reduzida capacidade de retenção de água.

Nota-se, a partir da camada de 0,20 – 0,30 m (Figuras 6 A, B, C e D) em todos os níveis de intensificação e em ambas as posições de amostragem com touceira e sem touceira, uma rápida perda de água com a redução do potencial e uma melhoria na capacidade de retenção nos potenciais mais baixos, demonstrando que a fração argila passa a ter influência nas camadas mais profundas. Este comportamento é ainda mais homogêneo na camada 0,30 – 0,40m (Figuras 7 A, B, C e D), sendo apresentado pelas curvas mais suaves com redução do potencial.

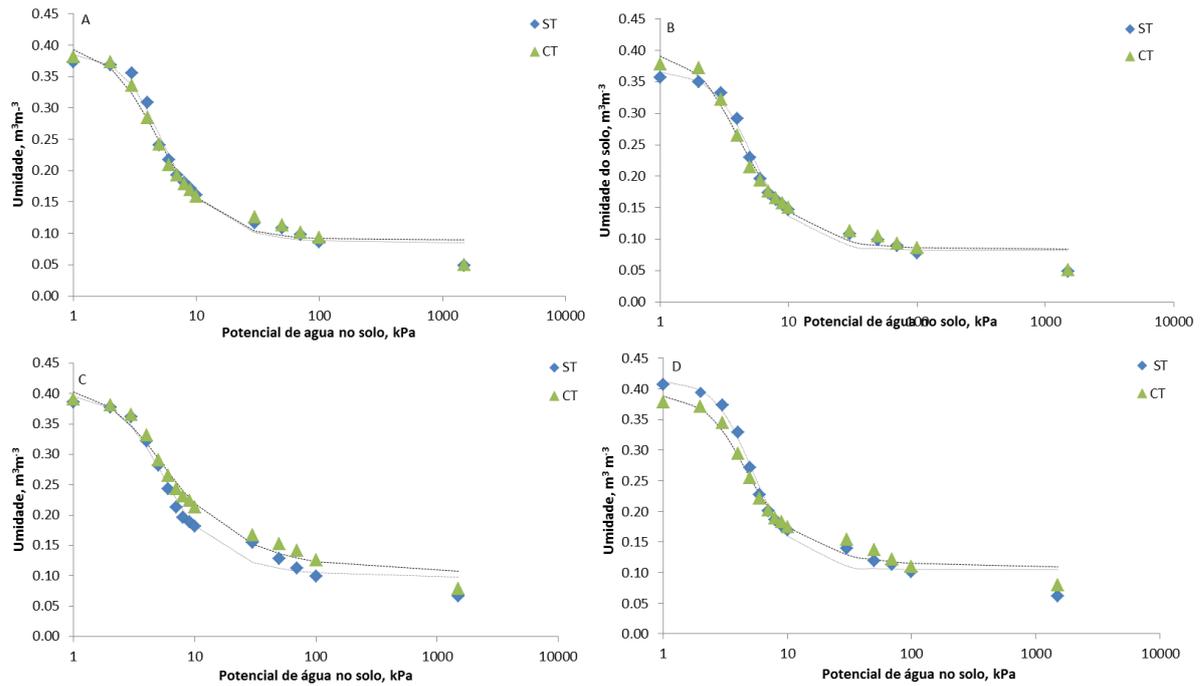


Figura 5. Curva de retenção de água no solo da camada de 0,10 - 0,20 m, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten, para as posições de amostragem sem touceira (ST) e com touceira (CT) e em cada nível de intensificação: NI<sub>1</sub> (A), NI<sub>2</sub> (B), NI<sub>3</sub> (C) e NI<sub>4</sub> (D).

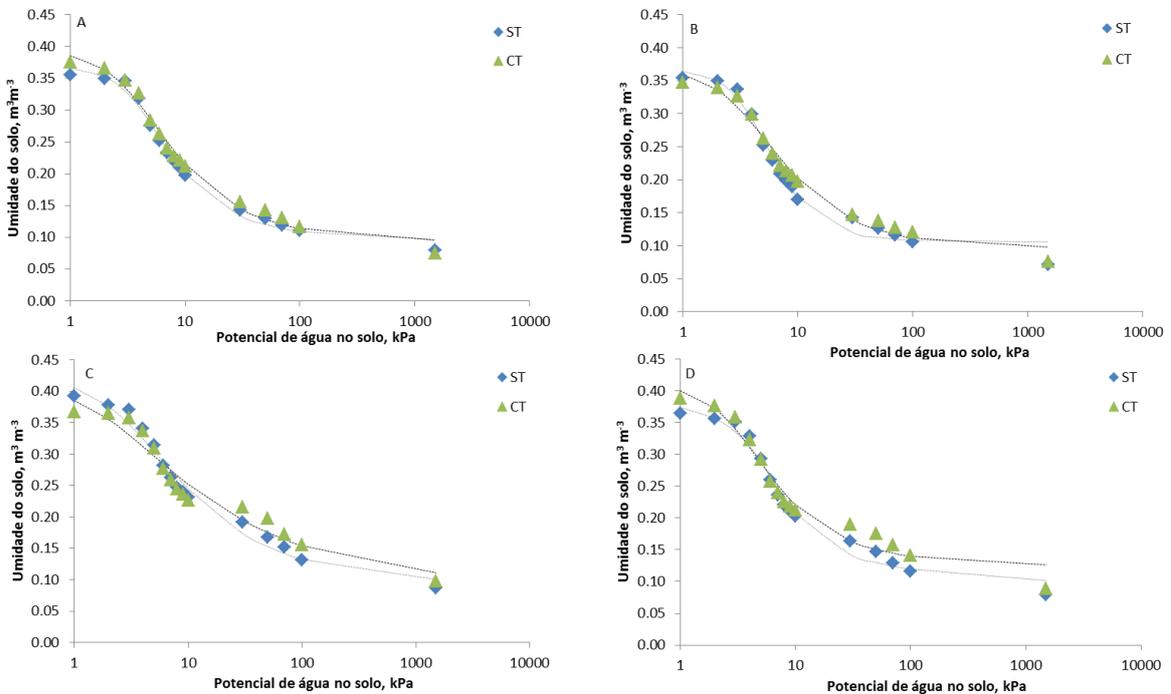


Figura 6. Curva de retenção de água no solo da camada de 0,20 - 0,30 m, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten, para as posições de amostragem sem touceira (ST) e com touceira (CT) em cada nível de intensificação: NI<sub>1</sub> (A), NI<sub>2</sub> (B), NI<sub>3</sub> (C) e NI<sub>4</sub> (D).

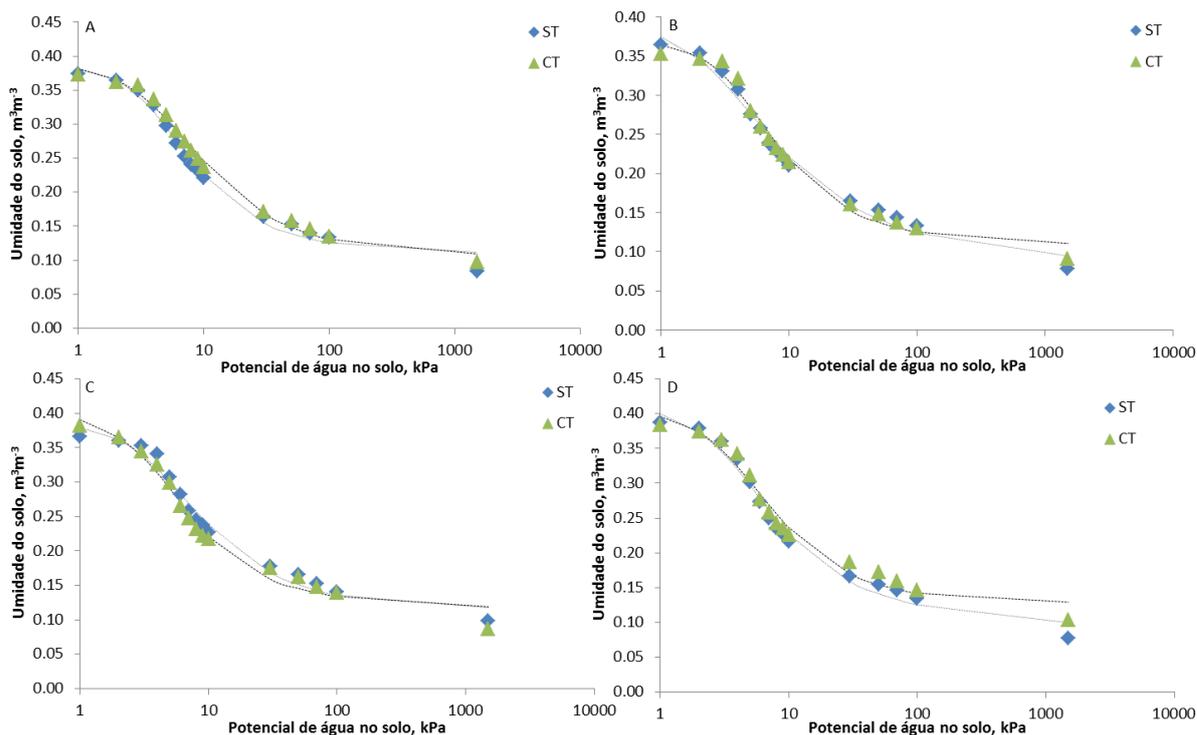


Figura 7. Curva de retenção de água no solo da camada de 0,30 - 0,40 m, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten, para as posições de amostragem sem touceira (ST) e com touceira (CT) em cada nível de intensificação: NI<sub>1</sub> (A), NI<sub>2</sub> (B), NI<sub>3</sub> (C) e NI<sub>4</sub> (D).

### 4.3 Influência da intensificação do pastejo e da posição de amostragem sobre a água disponível

A análise geral dos densidade, macroporosidade, microporosidade e água disponível evidenciou que o aumento da carga animal sobre o solo, nos tratamentos mais intensificados (NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub>) na posição entre touceiras (ST), provocou alteração na estrutura do solo da camada de 0 - 0,10 m, devido a redução do espaço poroso (porosidade total) que refletiu em aumento dos valores de densidade do solo. Os valores de densidade do solo nos tratamentos mais intensificados não atingiram o valor crítico de 1,75 mg dm<sup>-3</sup> proposto por Reinert et al. (2008), sugerindo que a intensificação do pastejo via adubação nitrogenada para aumentar a produção de biomassa e, conseqüentemente, permitir maior taxa de lotação animal, não propiciou restrição física do solo ao desenvolvimento das plantas.

Com esses resultados, a curva de retenção demonstrou que, para o Argissolo vermelho distrófico típico, com textura arenosa, do presente estudo, os efeitos da intensificação de pastejo sobre a espécie forrageira *Panicum maximum* Jacq IPR-86 Milênio se restringiram apenas a

camada de 0 – 0,10 m sobre a posição de amostragem sem touceira, especificamente entre os potenciais de -10 kPa e -100 kPa, com melhorias na retenção de água do solo.

O conteúdo de água no solo retido entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (água disponível no solo) nos diferentes tratamentos avaliados não apresentou diferença estatística entre os níveis de intensificação e posições de amostragem avaliadas nas diferentes camadas de solo amostradas (Tabela 11). Desta forma, a ação do pisoteio animal não alterou a disponibilidade de água no solo.

Tabela 11. Água Disponível ( $m^3 m^{-3}$ ) do solo em função do nível de intensificação do uso da pastagem (NI<sub>1</sub>, NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub>, NI<sub>4</sub>) e da posição da coleta das amostras (CT e ST)

	NI <sub>1</sub>		NI <sub>2</sub>		NI <sub>3</sub>		NI <sub>4</sub>	
0 – 0,10 m								
<b>CT</b>	0,10	Aa*	0,10	Aa	0,11	Aa	0,12	Aa
<b>ST</b>	0,11	Aa	0,11	Aa	0,12	Aa	0,12	Aa
0,10 – 0,20m								
<b>CT</b>	0,11	Aa	0,10	Aa	0,12	Aa	0,11	Aa
<b>ST</b>	0,11	Aa	0,10	Aa	0,12	Aa	0,12	Aa
0,20 – 0,30m								
<b>CT</b>	0,13	Aa	0,12	Aa	0,13	Aa	0,13	Aa
<b>ST</b>	0,12	Aa	0,11	Aa	0,12	Aa	0,13	Aa
0,30 – 0,40 m								
<b>CT</b>	0,12	Aa	0,12	Aa	0,13	Aa	0,12	Aa
<b>ST</b>	0,13	Aa	0,12	Aa	0,13	Aa	0,14	Aa

\*Letras maiúsculas comparam a posição de amostragem nas colunas e minúsculas comparam os níveis de intensificação nas linhas; letras iguais não diferem pelo teste Skott – Knott ( $p < 0,05$ )

#### **4.4 Influência da intensificação de pastejo e da posição de amostragem na distribuição do tamanho raio de poros na camada de 0 – 0,10 m**

Como os efeitos do pisoteio animal, condicionados pelos níveis de intensificação do pastejo e pela posição de amostragem, se restringiram mais especificamente camada superficial do Argissolo Vermelho Distrófico típico avaliado, foi realizado para a camada de 0 - 0,10 m um detalhamento da distribuição de poros (diâmetro), a fim de definir melhor quais tamanhos de poros foram alterados pela ação dos tratamentos (Tabela 12) e, com isso, compreender melhor o efeito dos níveis de intensificação e da posição de amostragem sobre a porosidade.

As pressuposições para análise de variância entre os tratamentos foram atendidas para todos os intervalos de poros testados (Tabela 10). Os valores de “F” para o teste de Levene e “W” para o teste de Shapiro-Wilk não foram significativos ( $p > 0,05$ ), indicando que as variâncias foram homogêneas (homocedasticidade) e os erros apresentaram distribuição normal, permitindo a utilização da análise de variância para avaliar a possibilidade de existência de diferença entre os tratamentos avaliados.

Tabela 12. Análise da homogeneidade da variância por Levene e normalidade dos erros por Shapiro- Wilk da distribuição de raio de poros ( $\mu\text{m}$ ) para as posições de amostragem (CT) e (ST) da profundidade 0 – 0,10 m

<b>Raio de poros (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Levene F (Pr &gt; F)</b>	<b>Shapiro - Wilk (Pr &lt; W)</b>
<b>&gt; 150</b>	2,03 (0,09)	0,99 (0,92)
<b>75 – 150</b>	1,01 (0,44)	0,93 (0,05)
<b>50 – 75</b>	1,72 (0,15)	0,98 (0,66)
<b>37 – 50</b>	0,33 (0,28)	0,97 (0,42)
<b>30 – 37</b>	1,27 (0,31)	0,96 (0,34)
<b>25 – 30</b>	0,94 (0,50)	0,99 (0,95)
<b>21 – 25</b>	0,97 (0,47)	0,97 (0,38)
<b>18,5 – 21</b>	1,38 (0,26)	0,97 (0,44)
<b>16,5 – 18,5</b>	1,70 (0,16)	0,94 (0,07)
<b>15 – 16,5</b>	0,55 (0,79)	0,98 (0,84)
<b>5 – 15</b>	0,55 (0,79)	0,96 (0,20)
<b>3 – 5</b>	1,76 (0,14)	0,96 (0,22)
<b>2 – 3</b>	1,60 (0,18)	0,97 (0,56)
<b>1,5 – 2</b>	1,74 (0,15)	0,96 (0,27)
<b>0,1 – 1,5</b>	1,03 (0,43)	0,97 (0,40)
<b>&lt; 0,1</b>	2,12 (0,08)	0,96 (0,28)

A distribuição de poros na camada de 0 - 0,10 m de solo foi alterada tanto pela intensificação do pastejo como pela posição de amostragem (Tabela 13). Os poros modificados apresentaram raio superior a 18,5  $\mu\text{m}$ . Os poros cujos raios são maiores que 30  $\mu\text{m}$  sofreram redução de volume devido à intensificação do pastejo ou pela concentração do pisoteio na área entre touceiras (ST). Por outro lado, os poros menores que 30  $\mu\text{m}$  e maiores que 18,5  $\mu\text{m}$  aumentaram com a intensificação e concentração do pisoteio animal (Tabela 13).

Avaliando a intensificação do pastejo, observa-se que os níveis de intensificação NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> tiveram maior quantidade de poros com diâmetro maior que 150  $\mu\text{m}$  e entre 35 e 50  $\mu\text{m}$  comparado ao menor nível de intensificação NI<sub>1</sub>. No intervalo de poros entre 30 e 35  $\mu\text{m}$ , somente os dois níveis mais altos de intensificação NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> tiveram maior quantidade de poros quando comparada ao tratamento NI<sub>1</sub>. Os resultados apresentados confirmam que a

intensificação do pastejo contribuiu para redução dos poros com maior diâmetro responsáveis pela aeração e condução de água no solo, confirmando os resultados da macroporosidade.

Tabela 13. Distribuição dos raios de poros ( $\mu\text{m}$ ) em cada nível de intensificação para as posições de amostragem (CT) e (ST) touceira na camada de (0 – 0,10 m)

<b>Raio de poros (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Local</b>	<b>NI<sub>1</sub></b>		<b>NI<sub>2</sub></b>		<b>NI<sub>3</sub></b>		<b>NI<sub>4</sub></b>	
<b>&gt;150</b>	<b>CT</b>	0.025	A a*	0.020	A a	0.017	A a	0.015	A a
	<b>ST</b>	0.031	A a	0.013	A b	0.018	A b	0.016	A b
<b>75 – 150</b>	<b>CT</b>	0.007	A a	0.008	A a	0.012	A a	0.013	A a
	<b>ST</b>	0.007	A a	0.007	A a	0.006	A a	0.007	A a
<b>50 – 75</b>	<b>CT</b>	0.052	A a	0.059	A a	0.058	A a	0.054	A a
	<b>ST</b>	0.022	B a	0.009	B a	0.013	B a	0.010	B a
<b>37 – 50</b>	<b>CT</b>	0.050	A a	0.060	A a	0.053	A a	0.065	A a
	<b>ST</b>	0.049	A a	0.025	B b	0.025	B b	0.029	B b
<b>30 – 37</b>	<b>CT</b>	0.045	A a	0.060	A a	0.045	A a	0.038	A a
	<b>ST</b>	0.062	A a	0.057	A a	0.035	A b	0.034	A b
<b>25 – 30</b>	<b>CT</b>	0.022	A a	0.026	B a	0.026	A a	0.032	B a
	<b>ST</b>	0.023	A c	0.037	A b	0.034	A b	0.048	A a
<b>21 – 25</b>	<b>CT</b>	0.018	A a	0.019	B a	0.021	B a	0.017	B a
	<b>ST</b>	0.021	A b	0.034	A a	0.028	A a	0.028	A a
<b>18,5 – 21</b>	<b>CT</b>	0.010	A a	0.011	A a	0.013	A a	0.013	B a
	<b>ST</b>	0.011	A b	0.014	A b	0.017	A a	0.019	A a
<b>16,5 – 18,5</b>	<b>CT</b>	0.008	A a	0.006	A a	0.008	A a	0.008	A a
	<b>ST</b>	0.011	A a	0.009	A a	0.008	A a	0.009	A a
<b>15 – 16,5</b>	<b>CT</b>	0.010	A a	0.008	A a	0.007	A a	0.007	A a
	<b>ST</b>	0.007	A a	0.009	A a	0.011	A a	0.009	A a
<b>5 – 15</b>	<b>CT</b>	0.045	A a	0.033	A a	0.034	A a	0.034	A a
	<b>ST</b>	0.043	A a	0.039	A a	0.039	A a	0.024	A a
<b>3 – 5</b>	<b>CT</b>	0.007	A a	0.010	A a	0.015	A a	0.024	A a
	<b>ST</b>	0.015	A a	0.018	A a	0.013	A a	0.024	A a

Tabela 13, Cont.;

2 – 3	CT	0.013	A a	0.007	A a	0.012	A a	0.006	A a
	ST	0.013	A a	0.008	A a	0.015	A a	0.009	A a
1,5 – 2	CT	0.008	A a	0.007	A a	0.010	A a	0.009	A a
	ST	0.011	A a	0.010	A a	0.014	A a	0.014	A a
0,1 – 1,5	CT	0.053	A a	0.049	A a	0.045	A a	0.047	A a
	ST	0.043	A a	0.057	A a	0.048	A a	0.054	A a
<0,1	CT	0.051	A a	0.037	A a	0.051	A a	0.045	A a
	ST	0.051	A a	0.040	A a	0.057	A a	0.048	A a

\*Letras maiúsculas comparam a posição de amostragem nas colunas e minúsculas comparam os níveis de intensificação nas linhas; letras iguais não diferem pelo teste Skott – Knott ( $p < 0,05$ )

A intensificação do pastejo foi responsável ainda pela transformação de poros maiores que 30  $\mu\text{m}$  em poros menores. Os poros com raio entre 21 e 25  $\mu\text{m}$  e entre 25 e 30  $\mu\text{m}$  tiveram maior quantidade de poros nos tratamentos NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> da posição ST quando comparados ao tratamento NI<sub>1</sub>. Na classe de poros entre 18,5 e 21  $\mu\text{m}$ , apenas os tratamentos NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> apresentaram maior quantidade de poros em relação ao tratamento NI<sub>1</sub>.

O direcionamento do pastejo na posição entre touceiras, condicionado pelo hábito de crescimento cespitoso da espécie forrageira avaliada, proporcionou redução dos poros com raio entre 37 e 50  $\mu\text{m}$  e 50 e 75  $\mu\text{m}$ . Para o primeiro intervalo, todos os níveis de intensificação tiveram maiores quantidades de poros na posição ST, enquanto para o segundo intervalo somente os tratamentos mais intensificados NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> proporcionaram redução da quantidade de poros quando se avaliou a posição ST.

De forma semelhante ao que aconteceu com a intensificação do pastejo, partes dos poros de maior raio foram transformadas em poros de menor raio. Na classe de poros entre 25 e 30  $\mu\text{m}$ , houve incremento de poros na posição ST em relação a área protegida pela touceira (CT) para os níveis de intensificação NI<sub>2</sub> e NI<sub>4</sub>, na classe de poros entre 21 e 25  $\mu\text{m}$  esse incremento ocorreu para os níveis de intensificação NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub> e para classe de poros entre 18,5 e 21  $\mu\text{m}$  o aumento da quantidade de poros se deu apenas para o nível de intensificação NI<sub>4</sub>.

Esses resultados confirmam também a participação da posição de amostragem em modificar a distribuição de poros no solo com redução do tamanho dos poros na posição entre touceiras (ST).

## 5 CONCLUSÕES

1. Com a intensificação do pastejo, nos níveis NI<sub>2</sub>, NI<sub>3</sub> e NI<sub>4</sub>, apenas na camada de 0 – 0,10 m verificou-se aumento na densidade, redução da porosidade total e da macroporosidade e aumento de microporosidade.
2. A distribuição de tamanho de poros da camada de 0 – 0,10 m permitiu identificar que o pisoteio proporcionou modificações na macroporosidade do solo que foi reduzida com reflexos no volume de microporos.
3. A macroporosidade, a capacidade de aeração total (CA<sub>t</sub>/Pt) e capacidade de armazenamento do solo (CC/Pt) permitiram demonstrar que, mesmo ocorrendo uma perda de macroporosidade, não comprometeram a capacidade de aeração do solo, nos níveis mais intensificados.
4. A curva de retenção de água permitiu constatar que, na camada de 0 - 0,10 m, a posição de amostragem sem touceira apresentou melhoria na retenção de água nos níveis mais intensificados, apesar de não alterar a disponibilidade de água no solo.
5. A região com touceira, mesmo nos níveis mais intensificados, para todos os índices de qualidade avaliados, não demonstrou redução na qualidade física.
6. As cargas aplicadas pelo pisoteio animal modificaram o solo na camada de 0 - 0,10 m.

## 6 REFERÊNCIAS

- 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, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.
- ANUALPEC. **Anuário da Pecuária Brasileira**. São Paulo: Agra FNP, 2010. 360p.
- ARCHER, J. R.; SMITH, P. D. The relation between bulky density, available water capacity, and air capacity of soils. **Journal Soil Science**, Madison, v.23, n.4, p.475-480, 1972.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. de; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de Capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n. 5, p. 1047-1054, 2000.
- BERTOL, I.; GOMES, K. E.; DENARDIN, R. B. N.; MACHADO, L. A. Z.; MARASCININ, G. E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33 n.5 p. 779-786, 1998.
- BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; COGO, N. P. Conservação do solo em pastagem. In: PEREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C.; FARIA, V. P. (Org.). **As pastagens e o meio ambiente** – Simpósio sobre manejo de pastagens, 23; FEALQ, Piracicaba, p.139-163, 2006.
- BEUTLER A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 849-856, 2003.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.829-834, 2002.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 5. ed. São Paulo: F. Bastos, 1979.
- CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Conceitos Gerais de Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/Comp1.htm>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2013.
- CANTARUTTI, R. B.; NASCIMENTO Jr, D.; COSTA, O. V. Impacto do animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: MATTOS, W. R. S. et al. (Org.). **Produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: FEALQ, 2001, p 826 – 837.
- CARTER, M. R., et al. Concepts of soil quality and their significance. In: Gregorich, E.G.; M.R. CARTER (Org). **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam: Elsevier Science, 1997. p. 1-20.
- CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212 p.

- CORSI, M.; GOULART, R. O sistema de produção de carne e as exigências da sociedade moderna. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM: As pastagens e o meio ambiente 23., 2006, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2006. p. 7-35.
- 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 e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 289-298, 1999.
- COSTA, F. S., et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 527-535, 2003.
- COSTA, M. A. T. **Atributos físicos e químicos de um Argissolo com pastagem (*Panicum maximum* Jacq. IPR – 86 Milênio) adubada com diferentes doses de nitrogênio**. 2012. 112 f. Tese (Doutorado) Universidade Estadual De Maringá, Maringá, 2012.
- CRESSWELL, H. P.; PAYDAR, Z. Water retention in Australian soils. I. Description and prediction using parametric functions. **Australian Journal of Soil Research**, v.34, p.195-212, 1996.
- DECAGON DEVICES, INC. **Operator's manual version 3 WP4 Dewpoint Potentia Meter**. Pulmann: Decagon Devices, 2003. 77p.
- DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil and Tillage Research**, v.67, p.41-64, 2002.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STWART, B. A. (Org.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p. 3-21.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de laboratório**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997.
- ERICKSON, A. E. Tillage effects on soil aeration. In: Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. **American Society of Agronomy**, Madison 1982, p. 91-104.
- EUCLIDES, V. P. B. Produção intensiva de carne bovina em pasto. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2001. **Anais...** Viçosa: UFV, 2001, p.55-82.
- FERREIRA, D. F. Sistema de análise de variância para dados balanceados. Software: SISVAR, versão 4.0. Lavras: DEX/UFLA, 1999.
- FIDALSKI, J. et al. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.11, p. 1583-1590, 2008.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its satratification with depth. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.66, p.197-205, 2002.
- GOMES. A da S. et al. **Caracterização de Indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40p.

GOMIDE, J. A. Manejo da pastagem para a produção de leite. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FORRAGICULTURA, 31, 1994, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ, p.141-168,1994.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 32, p. 180-186, 1968.

GREENWOOD, K. L.; McKENZIE, B. M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Queensland, v. 41, n. 8, p. 1231-1250, 2001.

HALL, D. G. M.; REEVE, M. J.; THOMASSON, A. J.; WRIGHT, V. F. **Water retention porosity and density of field soils**. Harpenden: Soil Survey, 1977, 75p.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.82, n.2, p. 121-145, 2005

HILL, R. L.; CRUSE, R. M. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 49, p. 1270-1273, 1985.

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

KARLEN, D. L. ; MAUSBACH, M. J. ; DORAN, J. W. ; CLINE, R. G. ; HARRIS, R. F. ; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 61, p. 4-10,1997.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: CERES, 1979. 264p.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p.1550-1556, 2010.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Org.). **Methods of soil analysis - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: ASA – SSSA, 1986. p.635-660.

KUTILEK, M.; et al. The Influence of Uniaxial Compression Upon Pore Size: Distribution in Bi-modal Soils. **Soil & Tillage Research**. v. 86, p. 27-37, 2006.

LEÃO, T. P., et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.28, p.415-423, 2004.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Org.). **The ecology and management of grazing systems**. Guilford: CAB International, 1996 p.3-36.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advision Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LILIENFEIN, J.; et al. course of matric potential in differently used savanna oxisols in Brazil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.63, p.1778-1785, 1999.

LUGÃO, S. M. B; RODRIGUES, L. R. A.; ABRAHÃO, J. J. S.; MALHEIROS, E. B. e MORAIS, A. Acúmulo de forragem e eficiência de utilização do nitrogênio em pastagem de *Panicum maximum* Jacq. (Acesso BRA-006998) adubadas com nitrogênio. **Acta Scientiarum** (Animal Science), Maringá, v. 25, n. 2, p.371-379, 2003.

NUNES, L. A. P. L. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no Município de Viçosa- MG**. 2003. 102p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração em Latossolo vermelho da microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11 n. 3, p.265-270, 2007.

OLNESS, A.; CLAPP, C. E.; LIU, R.; PALAZZO, A. J. Biosolids and their effects on soil properties. In: WALLACE, A.; TERRY, R. E. (Org.). **Handbook of soil conditioners**. New York, Marcel Dekker, 1998. p. 141-165.

O'SULLIVAN, M. F.; BALL, B. C. The shape of the water release characteristic as affected by tillage, compaction and soil type. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.25, p.339-340, 1993.

PAGOTTO, D. S. **Comportamento do sistema radicular do capim Tanzânia irrigado e submetido a diferentes intensidades de pastejo**. 2001. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2001.

PEREIRA, S.A. et al. Influence of different grazing systems on physical properties and aggregation in Savannah soils. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40 n. 3, p. 274-282, 2010.

PÉREZ GOMAR, E. **Qualidade física de um Vertissolo e produção de forrageira em campo nativo melhorado, com irrigação e pastoreio**. 2005. 85 f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PINZÓN, A.; AMEZQUITA, E. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedmonte amazónico de Colombia. **Past. Trop.**, v.13, p. 21-26, 1991.

RASIAH, V.; AYLMOORE, L. A. G. Sensitivity of selected water retention functions to compaction and inherent soil properties. **Australian Journal Soil Research**, v.36, p.317-326, 1998.

REEVE, M. J.; SMITH, P. D.; THOMASSON, A. J. The effect of density on water retention properties of field soils. **Journal of Soil Science**, v.24, n.3, p.355-367, 1973.

REICHERT, J. M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1805-1816, 2008.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, New York, v. 110, n. 1-2, p. 131-146, 2002.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. p. 128-152.

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

SARMENTO, P., et al.. Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq.cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32 n. 1, p. 183-193,2008.

SAS INSTITUTE. Statical Analyses System Institute. **SAS/STAT Procedure guide for personal computers**. Version 5. Cary: SAS Institute, 1999.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n.3, p.877-883, 1997.

SILVA, V. R.; REICHERT, M. J.; REINERT, J. D. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em Plantio direto. **Revista Ciência Rural**, 34: 399-406, 2004.

SKOPP, J.; JAWSON, M. D.; DORAN, J. W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.1619-1625, 1990.

TARRÁ I. L. C., et al., Tempo de uso em pastagens e volume dos macroporos do solo na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande v.14, p. 678-683, 2010.

TOPP, G. C., et al. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R. (Ed.). **Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health: Developments in Soil Science**, v. 25. Elsevier, New York, p. 21-58. 1997.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. **Tópicos em Ciências do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 195-276, 2002.

VAN DEN BERG, M. et al. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. **Geoderma**, v.78, p.161-180, 1997.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VIEHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil Science**, v.68, p.75-94, 1949.

VIEHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. **Soil Science**, v.32, p. 181-183, 1934.

VIEIRA, L.S. **Manual da ciência do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1975.

WARREN, S. D.; NEVILL, M. B.; GARZA, N. E. Soil response to trampling under intensive relation grazing. **Soil Science Society**, v. 50, p. 1336-1341. 1986.

ZIMMER, A. R.; EUCLIDES, V. P. B. Importância das pastagens para o futuro da pecuária de corte no Brasil. In: Simpósio de forragicultura e pastagens, 1, Lavras, 2000. **Anais...** Lavras: UFLA, 2000. p. 1-50.