



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA**

---

**ROGÉRIO RESENDE MARTINS FERREIRA**

**QUALIDADE FÍSICA DE CAMBISOLOS SOBRE DOIS  
MATERIAIS DE ORIGEM COM PASTAGENS EXTENSIVAS**

---

Londrina  
2008

**ROGÉRIO RESENDE MARTINS FERREIRA**

**QUALIDADE FÍSICA DE CAMBISSOLOS SOBRE DOIS  
MATERIAIS DE ORIGEM COM PASTAGENS EXTENSIVAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação,  
em Agronomia da Universidade Estadual de  
Londrina, como requisito parcial à obtenção do  
título de Doutor em Agronomia.

Orientador(a): Prof. Dr. João Tavares Filho  
Co- Orientador(a): Prof. Dr. Ricardo Ralisch

Londrina  
2008

**Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

S237i Santos, Esmael Lopes dos.  
Influência do genótipo sobre as concentrações de proteína e óleo em  
sementes de soja [Glycine max (L.) Merrill] / Esmael Lopes dos  
Santos. – Londrina, 2006.  
53f.

Orientador: Cássio Egídio Cavenaghi Prete.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de  
Londrina, 2006.  
Bibliografia: f. 15-24; 47-53.

1. Soja – Sementes – Teses. 2. Plantas oleaginosas – Teses. I. Prete,  
Cássio Egídio Cavenaghi. II. Universidade Estadual de Londrina. III.  
Título.

CDU 633.34

**ROGÉRIO RESENDE MARTINS FERREIRA**

**QUALIDADE FÍSICA DE CAMBISSOLOS SOBRE DOIS  
MATERIAIS DE ORIGEM COM PASTAGENS EXTENSIVAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação,  
em Agronomia da Universidade Estadual de  
Londrina, como requisito parcial à obtenção do  
título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Adriana Ap. Ribon – UCDB

---

Profa. Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves –  
UEL

---

Dra. Graziela Moraes de Cesare Barbosa – IAPAR

---

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller –  
UNICENTRO

---

Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães – UEL

---

Prof. Dr. João Tavares Filho – Orientador  
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 18 de dezembro 2008.

## **OFEREÇO**

Aos meus pais, irmãos e amigos, pela confiança,  
perseverança e incentivo.

## **DEDICO**

Ao Instituto Voçorocas e ao Centro Regional  
Integrado de Desenvolvimento Sustentável.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Prof. João Tavares Filho, e ao meu co-orientador, Prof. Ricardo Ralisch, não só pela constante orientação neste trabalho, mas, sobretudo, pela amizade.

Aos meus pais, irmãos e amigos, meus diamantes que brilham todos os dias.

Às equipes do Projeto Maria de Barro e do Projeto Tecendo a Rede Voçorocas, pelo apoio, logística e amizade.

Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e ao Fundo Nacional do Meio Ambiente, pelo apoio financeiro e acreditar no meu trabalho.

Aos colegas do Insituto Voçorocas e do Centro Regional Integrado de Desenvolvimento Sustentável fica toda minha gratidão.

Aos produtores rurais da Bacia Alto Rio Grande, no Estado de Minas Gerais, desejo que esta tese seja o início de uma nova realidade.

*“As ciências naturais abrangerão as ciências humanas, as ciências humanas abrangerão as ciências naturais.”*

*Marx: Manuscrito econômico-filosófico.*

FERREIRA, Rogério Resende Martins. **Qualidade física de cambissolos sobre dois materiais de origem com pastagens extensivas**. 2008. 120f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

## RESUMO

A qualidade física do solo é fundamental para a sustentabilidade global dos agroecossistemas. O objetivo da tese foi avaliar a qualidade do solo através de atributos físico-hídricos, macrofauna, características mineralógicas, morfológicas e químicas de áreas erodidas por voçorocas sob pastagens extensivas de *Brachiaria decumbens* em cambissolos originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático. O estudo foi realizado no município de Nazareno - MG, em pastagens de campos limpos dos gêneros *Paspalum*, *Panicum*, *Eragrostis*, *Setaria*, *Axonopus* e *Aristida* que foram removidas e o solo preparado com arado de disco seguido de grade aradora e corrigido com calcário dolomítico, antes do plantio de *Brachiaria decumbens* sobre Cambissolos originados de Gnaisse-Granítico Leucocrático. Em seguida, na área, não foram realizadas calagem, adubação e introdução de lavoura com o objetivo de recuperar a fertilidade das pastagens por meio da fertilização das culturas anuais, permanecendo o sistema de pastagens extensivas. A declividade média dessa área varia de 8 a 10%. A segunda área difere da primeira devido à introdução de lavoura de milho com calagem, adubação sobre Cambissolos originados de Micaxisto. Em seguida permaneceu o sistema de pastagem extensiva. A declividade média dessa área varia de 9 a 12%. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático em relação à área de Micaxisto apresenta baixa proporção de palhada ao qual resulta um sinal de superpastejo. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta maior média de cupinzeiros e formigueiros em relação à área de Micaxisto. Os Cambissolos com pastagens extensivas de *Brachiaria decumbens* originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático tiveram modificações morfológicas nas camadas de 0-20cm com modificações físicas confirmadas pelas curvas de retenção de água. Nos volumes, F,  $\Delta\mu$  e  $\Delta$  as curvas têm maior declividade com queda mais acentuada no teor de água com o aumento da tensão aplicada. Considerando a tensão de -6KPa como o limite entre macroporos e microporos (retenção de água) observa-se que o tratamento em Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta redução da macroporosidade em superfície e profundidade, o qual dificulta a drenagem da água no perfil do solo, fazendo que ocorra um rápido encharcamento da superfície e subsequente aumento do escoamento superficial com maior exposição aos processos de erosão. A curva de retenção de água no volume NAM da área de Granito-Gnaisse Leucocrático tem maior declividade em relação à curva da área de Micaxisto no volume NAM devido a maior proporção de caulinita no horizonte C, apresentando maior quantidade de microporos. Os sistemas de pastagens extensivas em Cambissolos com diferentes materiais de origem provocam alteração na qualidade físico-hídrica do solo na profundidade de 0-10 cm. A área de Micaxisto apresenta textura arenosa nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e textura média nas camadas de 20-40 cm e 40-60 cm sendo indicativo de processos erosivos e migração da argila para as camadas mais profundas. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta textura média em todas as profundidades, maiores teores de silte e areia fina, maior densidade nas camadas de 0-10 e 40-60 cm, baixa macroporosidade em todas as profundidades sendo mais susceptível à erosão em relação à área de Micaxisto.

**Palavras-chave:** Gnaisse-granítico leucocrático. Micaxisto. Cobertura vegetal. Curva de retenção de água. Mineralogia do solo.

FERREIRA, Rogério Resende Martins. **Physical quality of inceptisols from two materials of origin with extensive pasture.** 2008. 120p. Thesis (Doctor degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

### ABSTRACT

The physical quality of soil is fundamental for the global sustainability of agroecosystems. The objective of the thesis was to evaluate the soil quality through physical-hydric and macrofauna attributes, and mineralogical, morphological and chemical characteristics of areas eroded by gully erosion under extensive pastures of *Brachiaria decumbens* in inceptisols originating from Micaschist and Leucocratic Granite Gneiss. The study was carried out in the municipal district of Nazareno - MG, in pastures of clean fields of the genuses *Paspalum*, *Panicum*, *Eragrostis*, *Setaria*, *Axonopus* and *Aristida* which were removed and the soil prepared with moldboard plow followed by heavy bars and corrected with dolomitic limestone, before the planting of *Brachiaria decumbens* on Inceptisols originating from Leucocratic Granite Gneiss. Soon afterwards, liming, manuring and crop introduction were not done in the area with the objective of recovering the fertility of the pastures via the fertilization of the annual cultures, maintaining the extensive pasture system. The average steepness of that area varies from 8 to 10%. The second area differs from the first due to the introduction of corn farming with lime, manuring on Inceptisols originating from Micaschist. Next, the extensive pasture system remained. The average steepness of that area varies from 9 to 12%. The Leucocratic Granite Gneiss area, in relation to the Micaschist area, presents low proportion of straw which is a sign of overgrazing. The Leucocratic Granite Gneiss area presents a higher average of termite mounds and anthills in relation to the Micaschist area. Inceptisols originating from Micaschist and Leucocratic Granite Gneiss with extensive pastures of *Brachiaria decumbens* had morphologic modifications in the 0-20cm layers with physical modifications confirmed by water retention curves. The volumes,  $F$ ,  $\Delta\mu$  and  $\Delta$  of the curves have higher steepness with more accentuated fall in the water level with the increase of the tension applied. Considering the tension of -6KPa as the limit between macropores and micropores (water retention) it is observed that the treatment in Leucocratic Granite Gneiss presents reduction of the surface and depth macroporosity, which hinders the drainage of the water in the soil profile, causing a fast surface flooding to occur and subsequent increase in the surface drainage resulting in higher exposure to the erosion processes. The water retention curve in the NAM volume of the Leucocratic Granite Gneiss area has higher steepness in relation to the Micaschist area curve in the NAM volume due to larger kaolinite proportion in the C horizon, presenting a higher amount of micropores. The extensive pasture systems in Inceptisols with different origin materials provoke alteration in the physical-hydric quality of the soil at the depth of 0-10 cm. The Micaschist area presents sandy texture in the 0-10 and 10-20 cm layers and medium texture in the 20-40 cm and 40-60 cm layers, being indicative of erosive processes and migration of the clay to the deepest layers. The Leucocratic Granite Gneiss area presents medium texture at all depths, higher silt levels and fine sand, higher density in the 0-10 and 40-60 cm layers, low macroporosity at all depths, being more susceptible to erosion in relation to the Micaschist area.

**Keywords:** Leucocratic granite gneiss. Micaschist. Vegetative cover. Water retention curve. Solo mineralogy.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
2.1 INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DOS SOLOS E EFEITOS DOS SISTEMAS DE MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS .....	17
2.1.1 Cobertura vegetal e erosão hídrica .....	17
2.1.2 Perfil Cultural .....	20
2.1.3 Matéria orgânica .....	23
2.1.4 Estabilidade de agregados .....	24
2.1.5 Macrofauna do solo .....	27
2.1.6 Densidade e porosidade .....	29
2.1.7 Retenção de água .....	34
2.2 A BACIA ALTO RIO GRANDE .....	35
2.2.1 Solos .....	39
2.2.2 Características mineralógicas, morfológicas e químicas de áreas erodidas por voçorocas em cambissolos .....	42
2.2.2.1 Horizontes A, B, C .....	43
2.2.2.2 Silte nos horizontes A e B .....	45
2.2.2.3 Horizonte B .....	47
2.2.2.4 Horizonte C (saprolito) .....	49
2.2.3 Geologia .....	51
2.2.4 Hidrografia .....	53
2.2.5 Clima e vegetação .....	54
2.2.6 Sistemas agrários .....	54
<b>3 ARTIGO A: DEGRADAÇÃO FÍSICA DE CAMBISSOLO DE DOIS     MATERIAIS DE ORIGEM EM ÁREA DE DOMÍNIO DE     PASTAGEM EXTENSIVA</b> .....	58
3.1 RESUMO .....	58
3.1 ABSTRACT .....	59
3.2 INTRODUÇÃO .....	60
3.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	61
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65

3.5 CONCLUSÕES.....	71
<b>4 ARTIGO B: QUALIDADE FÍSICA DE CAMBISSOLO SOB PASTAGEM</b>	
<b>EXTENSIVA</b> .....	72
4.1 RESUMO .....	72
4.1 ABSTRACT .....	73
4.2 INTRODUÇÃO.....	74
4.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	75
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	77
4.5 CONCLUSÕES.....	81
<b>6 CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	82
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	84
<b>APÊNDICES</b> .....	111
APÊNDICE A –Dados físicos e químicos de Cambissolo Háplico Tb distrófico em área de Gnaiss- granítico leucocrático.....	112
APÊNDICE B – Dados de tensão de Cambissolo Háplico Tb distrófico em área de Gnaiss- granítico leucocrático .....	113
APÊNDICE C – Dados físicos e químicos de Cambissolo Háplico Tb distrófico em área de Micaxisto.....	114
APÊNDICE D – Dados de tensão de Cambissolo Háplico Tb distrófico em área de Micaxisto .....	115
<b>ANEXOS</b> .....	116
ANEXO A – Difractogramas de raios x e porcentagens de ferro e alumínio dos horizontes A, B e C de Cambissolo.....	117
ANEXO B – Difractogramas de raios x e teores de gibsit e caulinita das frações silte e pseudo-silte dos horizontes A e B de Cambissolo.....	118
ANEXO C – Difractogramas de raios x e análises químicas do horizonte B de Cambissolo .....	119
ANEXO D – Análise térmica gravimétrica e fotomicrografia do horizonte C de Cambissolo .....	120

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, cresce a preocupação com o uso sustentável e a qualidade dos recursos naturais (ARAÚJO et al., 2007), especialmente do solo e da água, devido ao aumento das atividades antrópicas. Dessa forma, considerando que o cultivo intensivo normalmente degrada o solo, pela redução de sua cobertura, estoque de matéria orgânica e estabilidade de agregados, promove a compactação, a erosão e, assim, a queda da produtividade, é necessário avaliar espécies adequadas para superar restrições químicas e físicas, bem como recuperar a qualidade do solo, principalmente quando submetido a sistemas de pastagens extensivas (ARGENTON et al., 2005). Em áreas degradadas sob sistema extensivo, normalmente, não se leva em consideração a capacidade de suporte do pasto que permita a manutenção de determinado número de gemas ativas para rebrotamento da forrageira, nem o período de ocupação que permite à forrageira completar o período ideal de rodízio do gado (MOREIRA et al., 2005).

No Cerrado Brasileiro, dos 204 milhões de hectares, estima-se que aproximadamente 50 milhões são ocupados por pastagens cultivadas (MARCHÃO et al. 2007), dos quais, atualmente 70 a 80% encontram-se em algum estágio de degradação. Cerca de 100 milhões de hectares de pastagens cultivadas, 60% são cultivadas com espécies do gênero *Brachiaria* (RAO et al., 1996). Considerando a grande extensão de pastagens naturais e plantadas na região do Cerrado e, ainda, que a maioria destas se encontra degradada ou em processo de degradação, é possível prever impactos significativos no fluxo e na qualidade dos recursos hídricos, tanto pela ação erosiva das enxurradas, quanto pelo assoreamento e poluição dos reservatórios hídricos, resultantes da deposição dos sedimentos carreados pela enxurrada (ARAÚJO et al., 2007). Além disso, tem havido uma pressão social e econômica para a produção de alimentos nos últimos anos, o que provoca a inclusão de áreas sob solos de baixa aptidão agrícola, como os cambissolos (FONSECA et al., 2007).

Os Cambissolos sobre materiais de origem Gnaisse-Granítico Leucocrático e Micaxisto são unidades pedológicas comuns na Bacia Alto Rio Grande, situada no Estado de Minas Gerais, sendo explorados com pastagens extensivas, além de comporem grande parte do entorno dos reservatórios de usinas hidrelétricas, como Itutinga (52 MW), Camargos (48 MW) e Funil (180 MW) (GIAROLA et al., 1997). Devido à sua gênese, esses solos são altamente susceptíveis a problemas ambientais, como elevadas perdas de solo e contaminações, especialmente da água, tanto subterrânea quanto superficial. Esses problemas

estão associados ao fato de que os cambissolos são unidades pedológicas em formação, caracterizadas com horizonte B incipiente, normalmente com elevados teores de silte, sobretudo em profundidade. Estes, por sua vez, são componentes texturais pouco desejáveis no contexto conservacionista tropical, devido à sua capacidade de se desprender pelo impacto de gotas de chuva e/ou irrigação (salpicamento) e produzir um selamento superficial, dificultando a infiltração de água e aumentando o escoamento superficial e a erosão (RESENDE et al., 2002).

Considerando que o sistema de pastagem extensiva de *Brachiaria decumbens* em Cambissolo afeta sua qualidade física, com redução de sua cobertura, estoque de matéria orgânica, estabilidade de agregados, além de promover a compactação, a erosão e, assim, a queda da produtividade, é necessário avaliar essa qualidade física e, para tal, três hipóteses foram testadas:

1. A qualidade física do solo, representada pelo seu funcionamento físico-hídrico, é superior nos sistemas de pastagens extensivas de cambissolo originado de Micaxisto, quando comparado ao originado de Gnaisse-Granítico Leucocrático;
2. A cobertura e a macrofauna do solo respondem igualmente às condições impostas pelas práticas de manejo extensivo nos Cambissolos originados dos dois diferentes substratos e,
3. A ordem cambissolo está relacionada com a erosão acelerada (voçorocas), cuja evolução tem relação com as características pedogenéticas.

Dessa forma, o objetivo geral da tese foi avaliar a qualidade física de cambissolos originados de diferentes substratos sob pastagens extensivas de *Brachiaria decumbens* e, os objetivos específicos são:

1. Avaliar os atributos físico-hídricos de cambissolos originadas de dois diferentes substratos manejado com pastagens extensivas.
2. Avaliar a degradação física e a macrofauna de cambissolos sob diferentes materiais de origem em área de domínio de pastagem extensiva.
3. Descrever, segundo as referências bibliográficas as características mineralógicas, morfológicas e químicas de áreas erodidas por voçorocas em cambissolos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Os sistemas agrícolas que associam a monocultura contínua ao uso de equipamentos inadequados de preparo do solo resultam em rápida degradação do solo. O mesmo acontece quando se faz uso de pastagens constituídas de forrageiras exigentes em fertilidade, num regime extensivo de pastejo. Para aproveitamento dessas áreas, como alternativa de implantação de novas pastagens, têm-se utilizado forrageiras mais rústicas, como as do gênero *Brachiaria* (MOREIRA et al., 2005).

Estima-se que o Brasil possua, atualmente, cerca de 100 milhões de hectares de pastagens cultivadas, das quais mais de 60% são de espécies do gênero *Brachiaria* (RAO et al. 1996). A *Brachiaria brizantha* é originária de uma região vulcânica da África, onde os solos geralmente apresentam bons níveis de fertilidade, porém a maioria de suas espécies é adaptada a solos de baixa fertilidade (RAO et al. 1996, SANTOS et al., 2008a). Conforme Valle e Miles (1994), estima-se que pastagens de braquiárias ocupem mais de 40 milhões de hectares no Brasil e a *Brachiaria decumbens* Stapf., junto com a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, representam mais de 85 % dessa área (SANTOS; MONTEIRO, 1999). Segundo Kluthcouski et al. (2003) e Fonseca et al. (2007), a *Brachiaria* sp. é a principal pastagem cultivada na região Centro-Oeste, devido à sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas da região, sua grande produção de fitomassa, relativa facilidade de eliminação e por não ser hospedeira de patógenos das principais culturas.

O manejo animal extensivo, em geral, não obedece ao ciclo de desenvolvimento das forrageiras. Com o passar do tempo, as forrageiras não conseguem manter bom desenvolvimento, devido ao consumo da massa verde pelo animal, a falta de reposição dos nutrientes, a acidificação do solo, a perda da matéria orgânica e a compactação do solo diminuindo a eficiência das pastagens. Com isso, pragas, plantas daninhas e, principalmente, a erosão hídrica, nos seus diversos estágios, passam a configurar na paisagem dessas pastagens. Dependendo do estágio de degradação das pastagens e, conseqüentemente, do índice de cobertura do solo, têm sido relatadas perdas do solo ao redor de 17 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (SANTOS 1993, MOREIRA et al., 2005). Segundo Kichel et al. (1997), a degradação de pastagem é um termo usado para designar um processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade e da capacidade de regeneração natural de uma dada pastagem, tornando-a incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, e de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras. Para Schaefer et al. (2002), a

degradação das pastagens ocorre com perda de matéria orgânica proporcional à sua concentração no solo, além de perdas de nutrientes como P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>.

Müller et al. (2001) confirmaram que, em áreas degradadas, a redução da produção da pastagem é acompanhada pela diminuição do número de raízes no perfil do solo e pela concentração do sistema radicular próximo à superfície, tornando a planta mais susceptível a déficits hídricos e com limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais.

A adoção de mesma lotação durante todo o ano é uma prática comum para maioria dos criadores da região sudeste do Brasil, o que ocasiona utilização do pasto além da capacidade de suporte no período de estiagem, fato que contribui para acelerar o processo de degradação (SILVA et al., 2004). Os produtores que trabalham com pastejo contínuo em *Brachiaria decumbens* não realizam, em sua maioria, investimentos consideráveis no sistema (MACEDO, 2001; LEÃO et al., 2004). O pisoteio animal em toda superfície e, às vezes, repetidamente no mesmo local, pode promover drásticas alterações nas condições físicas do solo para o crescimento do sistema radicular. A extensão e a natureza destes efeitos são determinadas pela taxa de pisoteio, pelo tipo de solo e, principalmente, pela umidade do solo na ocasião do pastejo. O pastejo realizado em condições de umidade elevada maximiza a degradação física do solo, prejudicando o crescimento de plantas (BETTERIDGE et al., 1999).

Segundo Albuquerque et al. (2001), a compactação do solo causada pelo pisoteio animal tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de áreas cultivadas em sistema de integração lavoura-pecuária. O processo de compactação reduz a densidade e a macroporosidade do solo, aumenta a resistência deste para o crescimento radicular, em condições de baixa umidade, e reduz a sua oxigenação quando úmido. Deste modo, a maioria dos estudos que avaliam os efeitos do pisoteio sobre a qualidade física do solo se baseiam na quantificação da densidade do solo (MAPFUMO et al., 2000) e outras propriedades físicas afetadas pela compactação, tais como: resistência à penetração (IMHOFF et al., 2000a,2000b), características de retenção de água (BELL et al., 1997) e infiltração (FRANCIS et al., 1999; LEÃO et al., 2004). Para Flores et al. (2007), a utilização de sistemas de manejo do solo que envolvam pastejo animal pode acarretar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o que pode afetar o crescimento e desenvolvimento radicular (SILVA et al., 2000) e a produção das culturas implantadas na seqüência do pastejo (SILVA et al., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2001; SALTON et al., 2002).

A magnitude dessas alterações, principalmente nos atributos físicos do solo, está na dependência do manejo que é aplicado nas áreas sob pastejo, podendo variar com a textura, o teor de matéria orgânica (SMITH et al., 1997), a biomassa vegetal sobre o solo (SILVA et al., 2000, 2003; MELLO, 2002), a espécie de planta, a intensidade e tempo de pastejo e a espécie e categoria animal (SALTON et al., 2002). Por alterarem atributos físicos relacionados com a compactação do solo, essas alterações também podem alterar o comportamento compressivo do solo (SILVA; REINERT; REICHERT, 2002).

Para Lanzanova et al. (2007), o grau de compactação provocado pelo pisoteio bovino é influenciado pela textura do solo, sistema de pastejo (LEÃO et al., 2004), altura de manejo da pastagem (CASSOL, 2003), quantidade de resíduo vegetal sobre o solo (BRAIDA et al., 2004) e umidade do solo (BETTERIDGE et al., 1999). No entanto, o efeito do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo é limitado às suas camadas mais superficiais podendo ser temporário e reversível (MORAES; LUSTOSA, 1997; CASSOL, 2003). Para Moreira et al. (2005), em áreas degradadas sob sistema extensivo, normalmente, não se leva em consideração a capacidade de suporte do pasto que permita a manutenção de determinado número de gemas ativas para rebrotamento da forrageira, nem o período de ocupação que permita à forrageira completar o período ideal de rodízio do gado. Bertol et al. (2000) relatam que o excesso de carga animal ocasionado por diferentes lotações sobre as pastagens pode afetar algumas propriedades do solo, aumentar a susceptibilidade à erosão hídrica e diminuir a capacidade produtiva.

Para a maioria das regiões pastoris dos estados da região Sudeste do Brasil, verifica-se a ocorrência da redução no crescimento das forrageiras tropicais, sobretudo no inverno seco, face à baixa umidade do solo, queda de temperatura e radiação solar (SANTOS et al., 2008a). Na região do Cerrado, a redução da disponibilidade de água no solo pode prejudicar ou até mesmo limitar o desenvolvimento de algumas forrageiras (MULLER et al., 2002) e pode se tornar um fator limitante no estabelecimento de pastagens de inverno (LIMA et al., 2006). Logo, a transformação de ambientes naturais, como o Cerrado, em sistemas agrícolas tem provocado a degradação de extensas áreas, em consequência de sua exploração inadequada. Além disso, tem havido uma pressão social e econômica para a produção de alimentos nos últimos anos, que tem provocado a inclusão de áreas sob solos de baixa aptidão agrícola (FONSECA et al., 2007).

Os Cambissolos são unidades pedológicas em formação, com baixa aptidão agrícola, caracterizadas com horizonte B incipiente, normalmente com elevados teores de silte, sobretudo em profundidade. Estes, por sua vez, são componentes texturais pouco

desejáveis no contexto conservacionista tropical, devido à sua capacidade de se desprender pelo impacto de gotas de chuva e/ou irrigação (salpicamento) e, produzir um selamento superficial, dificultando infiltração de água e aumentando o escoamento superficial e a erosão. Os Cambissolos, por apresentarem, geralmente, pequena espessura de solum e pobreza química acentuada, quando localizados em relevo movimentado, têm-se constituído em sistemas muito instáveis (RESENDE et al., 2002).

A “qualidade do solo” (KARLEN et al., 1997; MARCHÃO et al., 2007) é um conceito antigo para quantificar os efeitos das ações antrópicas no ambiente, notadamente aqueles relacionados com a sustentabilidade das práticas agrícolas (SOJKA; UPCHURCH, 1999; WANDER; DRINKWATER, 2000; ANDREWS et al., 2003). Assim como o ar e a água, a qualidade do solo está diretamente relacionada com a “saúde” e produtividade dos ecossistemas terrestres. No entanto, quanto aos solos, possivelmente devido às influências de fatores relativos à sua gênese, variabilidade, uso, manejo e dadas as diversas funções que pode desempenhar, tem sido difícil para os pesquisadores estabelecer em critérios universais para definição e quantificação da sua qualidade (GLOVER et al., 2000; MARCHÃO et al., 2007). Por essa razão, vários conceitos foram propostos.

Segundo Ingaramo (2003) e Kitamura et al. (2008), para avaliação da qualidade do solo, algumas das principais propriedades e fatores físicos considerados adequados para descrevê-la são: porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição de tamanhos de partículas e profundidade em que as raízes crescem. Stenberg (1999) enfatiza que nenhum indicador, individualmente, conseguirá descrever e quantificar todos os aspectos de qualidade do solo, pois deve haver relação entre todos os atributos do solo. Os critérios para seleção de indicadores relacionam-se principalmente com sua utilidade em definir os processos do ecossistema.

Para Doran e Parkin (1994) e Kitamura et al. (2008), os indicadores devem seguir os critérios de: envolver processos ocorrentes no ecossistema; integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos; ser acessível e aplicável no campo; ser sensível a variações de manejo e de clima; e ser componente de banco de dados de solos, sempre que possível.

Em física do solo, a qualidade está associada àquele solo que: permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, córregos e subsuperfície; responde ao manejo e resiste à degradação; permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e permite o crescimento das raízes (REICHERT et al., 2003). De acordo

com Doran e Parkin (1994) e Kitamura et al. (2008), entre as propriedades físicas propostas como indicadores básicos na avaliação da qualidade do solo incluem-se a densidade e a taxa de infiltração de água no solo.

Segundo Alves e Cabeda (1999), a infiltração de água é um dos fenômenos que melhor refletem as condições físicas internas do solo, pois uma boa qualidade estrutural leva a uma distribuição de tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes e à capacidade de infiltração de água no solo. Com relação à densidade do solo, quando ocorre a degradação de sua estrutura, o efeito imediato é no seu aumento, acarretando a redução da macroporosidade. Anjos et al. (1994) observaram, em solos degradados, que há relação inversa entre densidade do solo e porosidade total. Pelo exposto, sugerem-se a densidade e infiltração de água como indicadores da qualidade do solo em estudo.

Para Doran e Zeiss (2000) e Passos et al. (2007), um eficiente indicador deve ser sensível às variações do manejo bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferentemente, de fácil e barata mensuração. Ainda, deve ser sensível às alterações na qualidade do solo, induzidas por modificações recentes no manejo do solo.

Para Islam e Weil (2000) e Passos et al. (2007), os indicadores podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH e disponibilidade de nutrientes; os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como profundidade, camadas restritivas, textura e mineralogia; e, entre esses dois extremos, os intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de qualidade do solo.

Segundo Beutler et al. (2001), os atributos físicos porosidade e densidade do solo apresentaram bom desempenho como indicadores da qualidade, distinguindo os efeitos proporcionados pelos sistemas de manejo do solo. Assim, contribuem para o monitoramento do manejo de solos da região dos cerrados.

Para Reichert et al. (2003) e Alves et al. (2007), a avaliação da qualidade do solo tem dimensão espacial e temporal. O intervalo entre medições para que o indicador avalie mudanças, portanto, depende do tempo necessário para que dado manejo produza alterações quantificáveis, e sua frequência no espaço deve considerar as variações espaciais provocadas pelo solo.

Todos têm em comum a capacidade do solo de funcionar efetivamente no presente e no futuro, sendo o mais amplo aquele da Sociedade Americana de Ciência do Solo, que define qualidade do solo como “a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água, promovendo a saúde humana e a habitação” (SINGER; EWING, 2000; MARCHÃO et al., 2007).

Portanto, a dificuldade para quantificação da qualidade do solo está relacionada ao método para transformar a natureza complexa e específica de cada solo em atributos mensuráveis, que possam refletir o seu “estado” para funcionar, possibilitando avaliações sistemáticas independentes de seus múltiplos usos (SOJKA; UPCHURCH, 1999; WANDER; DRINKWATER, 2000; MARCHÃO et al., 2007). Quantificar a qualidade do solo não é tarefa fácil; a dificuldade advém do fato de que a qualidade do solo depende de suas propriedades intrínsecas, de suas interações com o ecossistema e, ainda, de prioridades de uso, influenciadas inclusive, por aspectos socioeconômicos e políticos. No entanto, a qualidade física do solo é ainda uma área de pesquisa em expansão (LAL, 2000; REYNOLDS et al., 2002; COSTA et al., 2006).

## **2.1 INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DOS SOLOS E EFEITOS DOS SISTEMAS DE MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS**

### **2.1.1 Cobertura Vegetal e Erosão Hídrica**

A utilização de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase atualmente, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações no rendimento das culturas. A cobertura do solo por plantas e, ou, seus resíduos determina também maior conteúdo de água no solo, pelo aumento da capacidade de retenção e redução da evaporação (CAMPOS et al., 1994). Como consequência, a maior umidade e a menor temperatura em solos cobertos por resíduos de culturas (SALTON; MIELNICZUK, 1995) favorecem a germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plantas (ARGENTON et al., 2005). As melhorias nas propriedades físicas do solo com plantas de cobertura podem

advir do maior aporte de resíduos orgânicos e da baixa taxa de mineralização (SPAGNOLLO et al., 2002). O aumento do carbono orgânico em sistemas conservacionistas é, geralmente, acompanhado pelo aumento dos teores de nutrientes, principalmente N, adicionados pelos resíduos das plantas de cobertura, com conseqüente aumento da produtividade da cultura principal (HEINRICHS et al., 2001; SPAGNOLLO et al., 2002; GIACOMINI et al., 2003). Portanto, além dos benefícios observados na estrutura do solo, as culturas intercalares nos sistemas conservacionistas aportam mais nutrientes, controlam a erosão, reduzem a ocorrência de plantas indesejáveis e, assim, melhoram a qualidade do solo (ARGENTON et al., 2005).

A cobertura do solo, proporcionada pelos resíduos culturais deixados na superfície, tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, pois promove a dissipação da energia cinética das gotas da chuva, diminuindo a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, e aumentando a infiltração de água. Atua, ainda, na redução da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, no potencial erosivo da enxurrada (COGO et al., 2003; ZHOU et al., 2002). A porcentagem de cobertura do solo proporcionada pelos restos de culturas é fundamental na redução das perdas de solo por erosão hídrica (PIRES et al., 2006; PANACHUKI et al., 2006).

A cobertura do solo é o fator isolado mais determinante na erosão hídrica, sendo que a rugosidade da superfície e as propriedades físicas nas camadas, superficial e subsuperficial do solo (MARTINS et al., 2002) também contribuem fortemente (PIRES et al., 2006). A rugosidade superficial do solo constitui o microrrelevo e se refere ao enrugamento da superfície, ocasionado por microelevações e microdepressões espacialmente distribuídas (LINDEN; VAN DOREN JUNIOR, 1986). O microrrelevo superficial é influenciado pelo preparo do solo (BERTOL et al., 2006b; CASTRO et al., 2006), que afeta o volume de poros da camada preparada e que, com a cobertura por resíduos vegetais, influencia a armazenagem de água na superfície, a infiltração de água no solo, a velocidade e o volume de enxurrada, a retenção de sedimentos (DARBOUX; HUANG, 2005) e, conseqüentemente, as perdas de solo (KAMPHORST et al., 2000; BERTOL et al., 2006a). O microrrelevo superficial é dependente: do tipo e da intensidade de preparo, e do teor de água do solo antecedente ao mesmo; da quantidade, tipo e manejo de resíduo vegetal existente no solo; e do tipo de solo (KAMPHORST et al., 2000; BERTOL et al., 2006b; CASTRO et al., 2006). O decaimento da rugosidade é influenciado pelo volume e intensidade de chuvas e de enxurrada, e pelo tipo e manejo do solo (ELTZ; NORTON, 1997; BERTOL et al., 2006b; CASTRO et al., 2006). Ainda, a rugosidade é afetada pela densidade e porosidade do solo, e pela estabilidade de agregados em água (BERTOL et al., 2006b), que dependem do manejo do solo e, por isso,

influenciam a qualidade da estrutura e regulam a velocidade e o grau de sua degradação (BERTOL et al., 2007).

Vários trabalhos enfatizam a importância da rotação de culturas, com o uso de plantas de cobertura do solo, no cultivo das espécies vegetais, já que, além de proteger o solo contra os agentes erosivos, a rotação contribui para melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (OLIVEIRA et al., 2002; SILVA et al., 2003). Para Silva et al. (2000a) a erosão hídrica deve ser estudada considerando-se a erodibilidade do solo, que representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e o transporte de partículas, ou seja, sua predisposição à erosão. A erosão hídrica do solo ocasiona perda de nutrientes (SCHICK et al., 2000; BERTOL et al., 2003; GUADAGNIN et al., 2005), além de contaminar os mananciais e outras áreas fora do local de origem da erosão (SCHICK et al., 2000) e diminuir a produtividade agrícola pelo empobrecimento do solo. A contaminação dos mananciais, neste caso, é ocasionada pela enxurrada superficial, a qual transporta sedimentos coloidais que contêm nutrientes, em geral, em altas concentrações. Além disso, a água da enxurrada transporta nutrientes solúveis, alguns deles em altas concentrações (SCHICK et al., 2000; GUADAGNIN et al., 2005), podendo provocar a eutrofização das águas onde se depositam.

A concentração de determinado nutriente na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelo tipo de solo, pelas adubações e pelo tipo de manejo empregado (SCHICK et al., 2000; GUADAGNIN et al., 2005). A quantidade total do nutriente transportado pela erosão hídrica, no entanto, depende da sua concentração no material erodido e do volume total desse material perdido pela erosão (SCHICK et al., 2000; BERTOL et al., 2003; GUADAGNIN et al., 2005). A fração coloidal e a matéria orgânica são os primeiros constituintes a serem removidos pela erosão hídrica, tendo em vista a sua baixa densidade (SEGANFREDO et al., 1997; SCHICK et al., 2000; SILVA et al., 2005). Segundo Martins et al. (1999), a associação entre o desenvolvimento vegetal e a atividade microbiana é fator importante na recuperação de solos degradados, pois, mesmo quando profundamente alterados, eles podem manter uma comunidade microbiana ativa (ALVES et al., 2007).

Para Cavalieri et al. (2006) e Silva et al. (2007), o uso de plantas de cobertura, além de oferecerem as condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura, fundamentam a sustentabilidade dos sistemas de produção. A importância de uma vigorosa colonização do solo pelo sistema radicular das gramíneas reside, também, no fato de que as espécies dessa família têm grande importância na reestruturação da camada arável,

tornando o solo mais resistente à ação do impacto das gotas de chuva e menos propenso à erosão (MOREIRA et al., 2005).

### **2.1.2 Perfil Cultural**

O método do “perfil cultural” (HENIN et al., 1960) adaptado aos solos tropicais por Tavares Filho et al. (1999) é fundamentado no estudo da morfologia do solo e consiste na delimitação dos volumes antopizados distintos (modificados pelo manejo do solo), tanto em profundidade como lateralmente, a partir de critérios como: forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais, presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes; forma e dureza de agregado e torrões, dentre outros fatores (GUIMARÃES et al., 1997; TAVARES FILHO et al., 2001; NEVES et al., 2003).

Trata-se de uma classificação piramidal em dois níveis: numa primeira etapa estuda-se o modo de organização do perfil considerado (Tabela 01) diferenciando-se os volumes de solo visivelmente alterados pelo manejo agrícola (AM), do visualmente não alterado pelo manejo agrícola (NAM), para em seguida descrever cada tipo de organização dos volumes (AM) com maior riqueza de detalhes possíveis.

Posteriormente descreve-se o estado interno dos torrões (Tabela 02). Considerando-se a estrutura dos agregados, a porosidade, a estabilidade em água, a coesão a seco e as faces de ruptura e o enraizamento.

O método foi aplicado poucas vezes em estudos de pastagens (MÜLLER et al., 2001; FREGONEZI, 2001). As justificativas para a adoção do método são:

- avaliar o maior número possível de interações existentes e determinar quais são as ações e as formas de exploração mais adequadas para cada solo (GUIMARÃES et al., 1993);
- analisar e diagnosticar a origem do estado observado (confrontação com dados históricos), utilizando critérios morfológicos previamente definidos (RALISCH et al., 1995; TAVARES FILHO, 1995);
- escolher os locais de coleta de amostras para análises físicas, químicas e biológicas (TAVARES FILHO, 1995; NEVES et al., 2003);
- auxiliar no estudo do sistema radicular (TAVARES FILHO et al., 1999; NEVES et al., 2003).

**Tabela 1** – Modos de organização do perfil de solo<sup>(1)</sup> (TAVARES FILHO et al., 1999).

Nível de análise	Simbologia	Definição
I	AM	Volume de solo visualmente alterado pelo manejo, isto é, pelo maquinário agrícola e pelas raízes
	NAM	Volume de solo visualmente não alterado pelo manejo
II  (somente para volume AM)	L	Volume de solo livre, solto, constituído por terra fina, solo pulverizado, agregados e torrões de tamanho variados (de 0 a 10cm) sem nenhuma coesão. Comum na superfície de solos trabalhados. Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções. A estabilidade em água e a coesão a seco entre agregados desse volume são nulas, mas a estabilidade e a coesão dos agregados podem ser altas. A porosidade a olho nu é importante.
	F	Volume de solo fissurado, em que a individualização de torrões é facilitada pela fissuração, sendo estes de tamanho variados. Quando presentes nesse volume, as raízes se desenvolvem preferencialmente entre os torrões, nas fissuras existentes. Podem ser bem ramificadas e orientadas em todas as direções, mas normalmente apresentam aspecto achatado. A porosidade é essencialmente fissural.
	Z	Volume de solo formado essencialmente de estrutura laminar. As raízes quando presentes nesse volume, são tortuosas e com desenvolvimento horizontal. Normalmente não são ramificadas e além da tortuosidade, apresentam aspecto bem achatado.
	C	Volume de solo em que os elementos (agregados e terra fina) estão unidos, formando um volume bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça, sendo impossível a individualização de torrões a olho nu. Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções, quando o volume não for compacto, e, ou, não ramificadas, achatadas e tortuosas, orientadas horizontalmente, quando o volume for compacto. A porosidade é essencialmente de empilhamento de agregados, podendo apresentar cavidades arredondadas e, ou, poros tubulares.

<sup>(1)</sup> Nos modos de organização L e F, além do estado interno dos torrões, devem-se classificar os torrões pelo tamanho: 1 a 5cm = pequenos; 6 a 10cm = médios; > 10cm = grandes.

**Tabela 2** – Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado (TAVARES FILHO et al., 1999).

Nível de análise	Simbologia	Definição
III	$\mu$ (Agregado não compacto)	Estado interno dos torrões caracterizados por uma distribuição de agregados com estrutura interna e externa porosa, fácil de ser observada a olho nu, com predominância de poros do tipo amontoamento de agregados. Normalmente, apresenta raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, não achatadas, com orientação vertical não prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são rugosas e a coesão a seco é pequena.
	$\Delta$ (Agregado compacto)	Estado interno de torrões compactados, caracterizados por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa (poliédrica, cúbica ou prismática), devido à forte pressão externa, com uma porosidade visível a olho nu muito pouca desenvolvida, com predominância, quando existir, de poros tubulares e, ou, cavidades arredondadas, podendo existir fissuras. Quase não apresenta raízes e estas, quando presentes, possuem poucas ramificações. São achatadas, com orientação vertical prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são principalmente lisas e a coesão a seco é muita elevada.
	$\mu\Delta/\Delta\mu$ (Agregado <sup>+</sup> compacto)	Estado intermediário entre agregados compactos e não compactos, com duas possibilidades: <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Estado (<math>\mu\Delta</math>): agregados que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente as características do estado não compacto <math>\mu</math> sobre as características do estado compacto <math>\Delta</math> (definidos acima);</li> <li>(2) Estado (<math>\Delta\mu</math>): agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado não compacto <math>\mu</math> (definido acima).</li> </ol>

**Obs:** Durante a análise do perfil cultural, se forem observados volumes de solo com problema de hidromorfia, volumes com concentração de matéria orgânica ou resultantes de atividade biológica, estes devem ser indicados com a seguinte simbologia: **h** para indicar hidromorfia; **b** para indicar atividade biológica, e **mo** para indicar matéria orgânica.

### 2.1.3 Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) compreende componentes vivos e não-vivos. Os componentes vivos são as raízes de plantas, a fauna e os microrganismos do solo, sendo que os últimos correspondem a 60 - 80 % do total. Os componentes não-vivos incluem a matéria macrorrgânica, constituída de resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não-humificadas. As substâncias não-humificadas incluem carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucléicos, pigmentos e uma variedade de ácidos orgânicos. Por sua vez, as substâncias humificadas, que constituem de 70 a 80 % da matéria orgânica na maioria dos solos minerais, são compostas pelas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas. As substâncias húmicas são produtos das transformações químicas e biológicas dos resíduos vegetais e animais, assim como da atividade da microflora do solo. A elevada estabilidade das substâncias húmicas é atribuída à sua estrutura química complexa e às suas interações com minerais de argila e com cátions metálicos, que se expressam na formação dos agregados (PASSOS et al., 2007).

Como a microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo, a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo, como as promovidas pela aplicação de resíduos orgânicos (DEBOSZ et al., 2002; SALTON et al., 2008). Para Fonseca et al. (2007), a biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo, sendo esta considerada um reservatório lábil de nutrientes, que atua de forma ativa na decomposição de resíduos, no fluxo de energia no solo e na ciclagem de nutrientes.

Dentre os componentes da MOS, os microrganismos são um dos mais afetados pelo uso e manejo do solo, exercendo ação importante na agregação dos solos. Práticas de cultivo aumentam a oxidação da MOS pela quebra dos agregados do solo, expondo novas superfícies ao ataque de microrganismos. Um dos principais atributos do solo relacionados a sua qualidade é a formação de macroagregados estáveis, os quais são responsáveis pela estrutura do solo, entre outras propriedades emergentes (MIELNICZUK et al., 2003; PASSOS et al., 2007).

Em sistemas agrícolas, a dinâmica da matéria orgânica é influenciada não só pelo manejo, por meio da seleção de culturas e formas de preparo do solo, mas também pela adição de fertilizantes e materiais orgânicos, que influem positivamente nos processos de

decomposição e mineralização da matéria orgânica (LEITE et al., 2003; PORTUGAL et al., 2008). Para Busato et al. (2005), uma importante função da matéria orgânica do solo diz respeito ao fornecimento de nutrientes aos vegetais, principalmente em relação ao P, elemento mais limitante no desenvolvimento da agricultura em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais. Nesses solos, o componente orgânico representa parte considerável do conteúdo disponível de P (TURNER et al., 2003), que contribui para a nutrição das plantas, pela sua mineralização. Segundo Sarmiento et al. (2008a), quando a matéria orgânica do solo é mineralizada, transformando o material orgânico em substâncias orgânicas (ácidos orgânicos e húmus) e mineralizadas (nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais, gás carbônico, água, etc.), há aumento das cargas negativas do solo e elevação do pH. A ocorrência de sítios negativamente carregados responde à habilidade de a matéria orgânica reter cátions no complexo sortivo do solo, cuja contribuição pode atingir até 80 % da CTC do solo. Estudos de Fonseca et al. (2007), em Latossolo vermelho distrófico após três anos de avaliação de matéria seca de culturas de arroz, milho e soja, sempre consorciadas com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, e feijão solteiro no outono-inverno, sob a palhada da braquiária dessecada, em sistema plantio direto, aumentou cerca de 30% no teor de matéria orgânica na camada superficial do solo (0-5 cm), em áreas sob rotação pastagem/lavoura. Alvarenga e Davide (1996) constataram que áreas de pastagem não diferiram estatisticamente de áreas de cerrado, indicando se tratar de um ambiente altamente conservador de matéria orgânica.

#### **2.1.4 Estabilidade de Agregados**

A agregação é um dos parâmetros que podem ser utilizados para medir a qualidade do solo, pois a manutenção da estrutura do solo facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade. A estabilidade dos agregados é influenciada por diversas características do solo, como textura (FELLER et al., 1996), teor de óxidos de ferro e alumínio, teor de matéria orgânica (FELLER et al., 1996; BERTOL et al., 2000) e atividade microbiana (TISDALL; OADES, 1979) e também pelo manejo do solo (NEVES et al., 2006). Os agregados são fatores de grande importância para a conservação do solo por conferirem maior resistência ao processo erosivo, proteção à matéria orgânica e, conseqüentemente, à população microbiana. Por outro lado, a matéria orgânica exerce um importante papel na formação de agregados, como agente cimentante (FONSECA et al., 2007).

As partículas primárias livres e agregados de tamanho de silte são unidos por agentes ligantes persistentes, como matéria orgânica humificada ou complexos com cátions polivalentes, óxidos e aluminossilicatos, formando microagregados (20 a 250  $\mu\text{m}$ ) (TISDALL; OADES,1982). Esses microagregados estáveis são unidos por agentes ligantes temporários (raízes ou hifas de fungos) e transientes (polissacarídeos derivados de microrganismos ou plantas), resultando em macroagregados ( $> 250 \mu\text{m}$ ). Dessa forma, os microagregados foram classificados como mais estáveis e menos suscetíveis às práticas agrícolas de manejo do que os macroagregados. Logo em seguida, Oades (1984) acrescenta uma alteração ao modelo hierárquico, na qual propõe que raízes e hifas atuam como núcleos de formação de microagregados e, por serem ligantes temporários, ao se decomporem, formam fragmentos recobertos por mucilagens e incrustados de argilas, dando origem a novos agregados. Quando uma das culturas do sistema é a pastagem, esses efeitos ocorrem de forma acentuada e relativamente rápida, provavelmente devido ao abundante sistema radicular formado pela pastagem logo após sua implantação (SALTON et al., 2008). Em uma fase preliminar, a formação de microagregados (diâmetro inferior a 0,25 mm) está relacionada à interação da matéria mineral entre si e com compostos orgânicos. Posteriormente, o crescimento de raízes e hifas de fungos, juntamente com resíduos de vegetais, insetos e outros organismos, estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas, como macroagregados estáveis, com tamanho superior a 0,25 mm. Essas estruturas correspondem a um nível de organização mais elevado. A ocorrência de fluxos de energia reduzidos resulta em nível de organização baixo, em que a estrutura do solo é simples, com predomínio de microagregados, ao passo que com elevado fluxo de energia e matéria o nível de organização atingido é mais elevado, ocorrendo agregados maiores e formando estruturas grandes e complexas. Assim, solos que apresentem maior agregação podem ser considerados em estado de ordem superior ao de solos semelhantes com menor agregação (VEZZANI, 2001; SALTON et al., 2008).

O efeito das pastagens na agregação do solo é atribuído ao crescimento e à atividade do sistema radicular das gramíneas (SILVA; MIELNICZUK, 1997; SILVA et al., 1998; LIU et al., 2005). O aporte de C ao solo, via raízes especialmente, é fundamental para existência de macroagregados. Macroagregados formados por processos físicos, por meio de operações mecânicas de máquinas e equipamentos ou pelo pisoteio de animais, podem não ser estáveis. Contudo, o que confere maior estabilidade aos agregados são agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos, entre outros.

Sistemas de manejo que proporcionem agregados mais resistentes são desejáveis, pois manterão a estrutura do solo sem grandes alterações quando submetidos a forças externas, como pisoteio de animais e operações mecanizadas, além de maior resistência à perdas por erosão. Esses pressupostos estão de acordo com as informações existentes que relacionam estabilidade dos agregados ao aporte de carbono (C), via produção de matéria seca das culturas (HAYNES; BEARE, 1997) e à presença de C no solo, que é importante constituinte dos agentes ligantes (BLAIR et al., 2005), bem como à maior atividade biológica no solo (BRONICK; LAL, 2005).

Silva et al. (1998) avaliaram a estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso do Cerrado e observaram maiores valores para o cultivo de milho após *Brachiaria ruziziensis* em comparação a milho após outras espécies de adubos verdes, apesar de o solo ser submetido ao preparo convencional. Outro fator a ser considerado para justificar a maior estabilidade dos agregados relaciona-se à ação da fauna do solo Stefan e Zhang (1997). No experimento de Dourados, nas áreas com pastagem permanente e em rotação com soja, observaram maior presença da fauna do solo, sobretudo de oligoquetas (SILVA et al., 2006b). Como os processos de estabilização dos microagregados são relativamente permanentes, as alterações causadas pela adição de C ao solo ocorrem predominantemente em macroagregados (TISDALL; OADES, 1982). Agregados estáveis são importantes para proporcionar boa estrutura do solo, provendo o interior deste com espaços porosos para desenvolvimento das raízes, da fauna do solo e circulação de ar e água. Sistemas de manejo do solo com pastagem permanente ou em rotação com lavoura em plantio direto favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com lavouras ou com lavouras em rotação com pastagens em ciclos maiores que três anos (SALTON et al., 2008).

Para Salton et al. (2008), a atividade do sistema radicular das gramíneas, associada à ausência de revolvimento do solo, contribui efetivamente para formação de macroagregados estáveis, o que está em conformidade com os dados apresentados por Pinheiro et al. (2004), em que um Latossolo do Rio de Janeiro apresentou diâmetro médio ponderado de 4,2 mm sob pastagem de gramínea, 3 mm sob plantio direto e 2 mm sob sistema convencional. Panachuki et al. (2006), comparou sistemas cultivados e verificou que o sistema de pastagem apresentou, na camada de 0 a 5 cm, os maiores valores de diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado em relação ao sistema plantio direto. Esta diferença entre os sistemas representa melhor estrutura física nas áreas sob pastagem, ocasionada, possivelmente, pela ação do sistema radicular das gramíneas e do maior teor de

matéria orgânica, que atua como elemento estabilizador da estrutura, promovendo a formação de agregados maiores e mais estáveis. Os autores constataram diminuição dos valores de diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado na medida em que aumentou a profundidade, corroborando com os dados de Lima et al. (2003), que consideram esta ocorrência motivada, provavelmente, pela diminuição dos teores de CO sempre que a profundidade do solo aumenta.

### **2.1.5 Macrofauna do Solo**

Os invertebrados com diâmetro corporal acima de 2 mm constituem a macrofauna, à qual pertencem os grupos de minhocas, coleópteros em estado larval e adulto, centopéias, cupins, formigas, diplópodes, isópodes e aracnídeos (LAVELLE et al., 1997). Esses invertebrados são fundamentais ao funcionamento do ecossistema, pois ocupam todos os níveis tróficos na cadeia alimentar do solo e afetam a produção primária de maneira direta e indireta. Vários trabalhos evidenciaram que o tipo de manejo do solo acarreta inúmeras modificações na estrutura da comunidade de macroinvertebrados, em diferentes graus de intensidade em virtude de mudanças de habitat, fornecimento de alimento e criação de microclimas (DECAËNS et al., 2003; MERLIM et al., 2005). Essas modificações geralmente ocorrem na diversidade e densidade populacionais, características que têm sido utilizadas como potencial bioindicador da qualidade do solo (SILVA et al., 2006a,2006b; SILVA et al., 2007).

O sucesso dos sistemas plantio direto e integração lavoura/pecuária no Cerrado deve-se ao fato de que a palhada, acumulada pelas plantas de cobertura ou das pastagens, e restos culturais de lavouras comerciais proporcionam um ambiente favorável à recuperação ou à manutenção das propriedades biológicas do solo (MENEZES; LEANDRO, 2004) e favorecem, também, às comunidades da macrofauna edáfica (MARCHÃO et al., 2007; SILVA et al., 2007). A presença de cobertura morta nestes sistemas estimula a fauna edáfica, as raízes e a microflora do solo, o que permite manter o solo em equilíbrio e permanentemente protegido contra a degradação. Da mesma forma, a manutenção de uma cobertura vegetal na superfície do solo impede a perda da diversidade da macrofauna edáfica e favorece a atividade dos organismos “engenheiros” do ecossistema, entre eles os grupos Oligochaeta, Formicidae e Isoptera (BARROS et al., 2003).

A macrofauna tem diferentes efeitos nos processos que condicionam a fertilidade do solo, pela regulação das populações microbianas responsáveis pela humificação e mineralização (LAVELLE et al., 1997) e pela formação de agregados, que podem proteger parte da matéria orgânica do solo de uma mineralização rápida, por meio de sua ação mecânica, como os Oligochaeta, Formicidae e Isoptera. Normalmente, altas densidades do grupo Isoptera (cupins) são comuns em áreas de pastagens, geralmente com baixa fertilidade química (percentagem de matéria orgânica e alta relação C/N) e ausência de adubação (SANTOS et al., 2008b). Os cupins de montículo constituem pragas importantes nas pastagens, pois, além de estarem distribuídos em extensas áreas, seus ninhos dificultam os tratos culturais e agravam o processo de degradação das pastagens (GALLO et al. 2002, FERNANDES et al. 1998). Segundo Fontes (1998), a ação prejudicial às pastagens pode ser atribuída a dois tipos de cupins, os construtores de ninhos epígeos, naquelas condições em que a densidade é elevada, e os consumidores de folhas vivas como alimento. Algumas espécies são úteis, pois reciclam os nutrientes minerais do solo e, ao confeccionarem galerias, aumentam a porosidade do solo e participam ativamente da regeneração de ambientes devastados (FONTES, 1998, MIKLÓS, 1998).

Segundo Lee e Wood (1971), as plantas são, direta ou indiretamente, as fontes de recurso alimentar para os cupins, sendo, portanto, importantes na abundância e na distribuição das espécies. Segundo Valério (1995), é questionável a redução de área útil das pastagens, como possível dano indireto atribuído aos cupins que formam montículos. Esse autor menciona que, em levantamentos realizados no Estado do Mato Grosso do Sul, a área média de cada cupinzeiro foi inferior a  $0,5\text{m}^2$ , sendo importante a necessidade de se conhecer melhor o papel exercido nas pastagens por muitas espécies de cupins de montículo, uma vez que não se tem verificado danos causados por esses insetos. Cosenza e Carvalho (1974) concluíram que a eliminação do cupim de montículo não alterou a produção de matéria seca, nem a qualidade da pastagem, tampouco a cobertura vegetal. Esses autores também argumentaram que esses cupins poderiam até ser benéficos, sob o ponto de vista da fertilidade do solo. Essa observação foi feita também por Fernandes et al. (1998) e Czapak et al. (2003).

Dias et al. (2006, 2007) ao estudarem leguminosas perenes em sistema silvipastoril, observaram que a presença das leguminosas contribuiu para o aumento da diversidade da fauna de solo, o que demonstra que a diversidade vegetal favorece a macrofauna do solo. Para Santos et al. (2008b), os tratamentos sorgo, braquiária e sistema integrado lavoura-pecuária foram os que apresentaram maior diversidade, sobretudo dos grupos de indivíduos habitantes da liteira ou serrapilheira de superfície. Silva et al. (2006a) e

Marchão et al. (2007) também observaram que sistemas de integração lavoura-pecuária favoreceram a colonização do solo por alguns grupos da macrofauna, entre eles Coleoptera e Oligochaeta. Dias et al. (2007) observaram que a introdução de leguminosas perenes (*Mimosa artemisiana* e *Mimosa tenuiflora*) em pastagem de *Brachiaria brizantha*, favoreceu a presença de Oligochaeta; o grupo Isoptera não foi influenciado pela época, em razão da baixa densidade. Benito et al., (2004); Silva et al., (2007) observaram baixa densidade do grupo Isoptera (cupins), apesar de sua grande abundância em solos do Cerrado.

### 2.1.6 Densidade e Porosidade

A propriedade física mais estudada e monitorada é a densidade do solo. A variação nos valores da densidade, em sua maior parte, é proveniente das diferenças no volume total de poros, de modo que densidade e porosidade estão muito relacionadas e por isso são apresentadas de forma conjunta.

A densidade do solo tem sido um dos atributos usados para avaliação do estado estrutural do solo (SPERA et al., 2004b). Esta é de grande importância para os estudos agrônômicos, pois permite avaliar atributos como porosidade, condutividade hidráulica, difusividade do ar, entre outros, além de ser utilizada como indicador do estado da compactação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Por possuir estreita relação com outros atributos, a grande maioria das pesquisas converge para o fato de que, com o seu aumento, ocorre diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, absorção iônica, assim como o conseqüente aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração do solo. Esse fato desencadeia, no geral, diminuição da produtividade agrícola (CARVALHO et al., 1999; FOLONI et al., 2003; MERCANTE et al., 2003; SECCO et al., 2005; MELLO FILHO et al., 2006; SANTOS et al., 2006; LIMA et al., 2007). A maior densidade do solo nas áreas do cerrado pode ser decorrente do efeito do pisoteio do gado e uso de máquinas agrícolas. Esses pressupostos são corroborados por estudos de Corsini e Ferraudo (1999), Goedert et al. (2002) e Souza et al. (2005).

Valores críticos de densidade do solo são relacionados a condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, à infiltração e ao transporte de água, bem como às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera (FONSECA et al., 2007). Densidade entre 1,27 e 1,57 g cm<sup>-3</sup> é restritiva ao crescimento radicular e à infiltração de água

no solo (ALVARENGA et al., 1996; CORSINI; FERRAUDO, 1999). De maneira geral, o valor de  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$  é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (ARSHAD et al., 1996; SOUZA et al., 2005). Reichert et al. (2003) consideram como densidade crítica, para o bom desenvolvimento do sistema radicular, valor igual a  $1,55 \text{ g cm}^{-3}$  para solos de textura média. Camargo e Alleoni (1997) propuseram que o valor crítico relativo à densidade do solo, de um Latossolo Vermelho, deve ser de  $1,1 \text{ g cm}^{-3}$ . Maria et al. (1999) indicam  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$  para Latossolo Roxo, afirmando que a partir desta densidade ocorre restrição ao desenvolvimento radicular quando o solo se encontra em capacidade de campo, caracterizando compactação do solo. Segundo Goedert et al. (2002), valores entre  $0,7$  e  $1,0 \text{ g cm}^{-3}$  podem ser considerados normais em Latossolo Vermelho, propondo que  $0,9 \text{ g cm}^{-3}$  seja o máximo permitido quando se deseja sustentabilidade no uso de latossolos. Corsini e Ferraudo (1999) consideram que o índice crítico ao desenvolvimento radicular em solos arenosos é de  $1,75 \text{ g cm}^{-3}$ , e em argilosos de  $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ . Tais relatos evidenciam que o nível crítico para densidade do solo varia de acordo com o solo e que não existe consenso sobre um valor específico (CARVALHO et al., 2004).

Trein et al. (1991) observaram que, após aplicação de elevada taxa de lotação animal em curto período de tempo, houve aumento da resistência do solo à penetração mecânica, diminuição da macroporosidade e redução significativa da infiltração de água no solo na camada de  $0-0,075 \text{ m}$  de um Argissolo Vermelho cultivado com pastagens de inverno. Bertol et al. (1998) observaram resultados semelhantes ao avaliarem diferentes taxas de oferta de forragem de uma pastagem natural da Região Fisiográfica Depressão Central do Rio Grande do Sul, quando aplicaram taxas menores que  $4$  e  $8 \%$  em relação a taxas de  $10$  a  $16 \%$  de oferta de forragem. Flores (2004) não encontrou diferença significativa na densidade e na porosidade de um Latossolo submetido ao pastejo de inverno em pastagem constituída por aveia-preta (*Avena strigosa* Schreber) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), manejada a alturas entre  $0,10$  e  $0,40 \text{ m}$ . Cassol (2003) encontrou aumento na infiltração de água diretamente proporcional ao incremento da altura de resíduo da pastagem, evidenciando a degradação da qualidade do solo quando se utiliza elevada pressão de pastejo, em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. A compactação do solo decorrente do pisoteio bovino, durante os três anos de duração do estudo, segundo os valores de densidade do solo, limitou-se à camada superficial de  $0-5 \text{ cm}$  de profundidade. Nas camadas subseqüentes, não houve diferença significativa entre os valores observados, e, para três freqüências de pastejo, estes variaram entre  $1,32$  e  $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ . Trein et al. (1991), aplicando uma carga animal elevada (200 animais por hectare) durante reduzido período de tempo (40

h), num Argissolo Vermelho do RS sob pastagem de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreber) + trevo (*Trifolium subterraneum* L.), também verificaram compactação do solo na camada superficial, com valores de densidade passando de 1,39 para 1,56 g cm<sup>-3</sup>, antes e após a realização do pastejo, respectivamente.

Derpsch et al. (1986), Trein et al. (1991) e Albuquerque et al. (2001) observaram que, em plantio direto, a densidade do solo é maior na camada superficial e decresce nas maiores profundidades, mas os autores consideraram como camada superficial a de 0-20 cm, e como subsuperficial a camada BA ou o horizonte Bw de Latossolos Roxos abaixo de 20 cm. Nesses casos, os autores localizaram a camada compactada entre 10 e 20 cm de profundidade, coincidindo com o pé-de-grade ou pé-de-arado. Spera et al. (2004a), relataram aumento de densidade no perfil do solo sob pastagens e em plantio direto. O mesmo resultado foi observado no sistema integração lavoura-pecuária, em que a *Brachiaria brizantha* foi associada à cultura da soja. Em relação à testemunha (cerrado), todos os sistemas de manejo, incluindo a pastagem contínua de *Brachiaria decumbens*, apresentaram incremento na densidade na camada de 0–5 cm.

As alterações causadas na porosidade do solo, além de modificar as taxas de trocas gasosas, alteram a disponibilidade de água para as plantas. Neste sentido, Silva et al. (1986), em Latossolo Roxo textura argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, e Oliveira et al. (2004), em Latossolo Vermelho distrófico, constataram que o uso do solo em relação a uma condição natural modifica a retenção de água, por alterar a distribuição de tamanho dos poros e os teores de matéria orgânica. Quando ocorre a degradação da estrutura do solo, há modificações no arranjo de suas partículas, provocando diminuição no tamanho dos poros, especialmente daqueles de tamanho maior (macroporos), o que leva à 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 (SOUZA; ALVES, 2003; ALVES et al., 2007). Os macroporos estão relacionados com processos vitais para as plantas, devendo ser preservados. A redução da macroporosidade tende a se refletir na porosidade total e no aumento de densidade de solo (SPERA et al., 2006). Considerando que as raízes da maioria das culturas podem crescer com macroporosidade acima de 10 % (KLEIN; LIBARDI, 2002b) e que o conteúdo de água armazenada deve ser maior que o de ar, o solo ideal é aquele que apresenta proporção de macro:microporos de 1:2, garantindo suficiente aeração, permeabilidade e armazenamento de água.

Moreira et al. (2005) estudaram duas áreas de pastagens, uma denominada área recuperada, com pastagem produtiva de *Brachiaria brizantha*, e outra denominada área

degradada, também com pastagem de *B. brizantha*, porém, já degradada, ambas em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. As pastagens recuperadas apresentaram maior quantidade de macroporos no solo, a partir de 7,5 cm de profundidade, com o aumento desses ao longo do perfil até 30 cm profundidade. Na camada de solo até 7,5 cm, os valores de macroporosidade foram semelhantes nas duas áreas, indicando que esse atributo foi sensível à ação do pisoteio na superfície, independentemente da maior quantidade de matéria orgânica produzida e da maior colonização do perfil do solo pelo sistema radicular da forrageira

Estudos de Panachuki et al. (2006) Latossolo Vermelho aluminoférrico típico no sistema de pastagem, a macroporosidade foi maior na profundidade de 5 a 20 cm, enquanto no sistema de plantio direto foi maior na profundidade de 0 a 5 cm. Spera et al. (2004b) observaram que as rotações trigo-soja-ervilhaca-milho-aveia branca-soja; trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca-milho-aveia branca-soja; pastagem perene de inverno e pastagem perene de verão apresentaram menor porosidade total do que a floresta nas camadas 0-5cm e 10-15cm. Albuquerque et al. (2001) também observaram em floresta maior porosidade total na camada superficial em relação a lavouras sob plantio direto e sob preparo convencional de solo com arado e grade. Esses resultados são concordantes com os obtidos por Spera et al. (2006) em sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, pastagens perenes de inverno e pastagens perenes de verão, nos quais os autores observaram maiores valores para porosidade total na camada 0-5cm em relação à camada 10-15cm.

Estudos de Flores et al. (2007) em semeadura direta por 10 anos, com aveia forrageira (*Avena strigosa*), como planta de cobertura no inverno, e soja (*Glycine max*), no verão, na qual foi utilizada com pastejo animal em Latossolo Vermelho distroférico típico, com textura argilosa, após quatro meses de pastoreio contínuo, não se verificou efeito das pressões de pastejo sobre os valores de densidade do solo. A macroporosidade e a porosidade total na camada de 0,0–2,5 cm foram maiores na área sem pastejo, em relação às demais pressões de pastejo; o contrário aconteceu com a microporosidade. Assim, nas condições do experimento (mistura forrageira de inverno, composta de aveia forrageira + azevém, em quatro alturas da pastagem: 10, 20, 30 e 40 cm; as alturas da pastagem eram controladas pelo manejo da carga animal nos poteiros; entre os blocos, duas faixas de 10 m de largura foram isoladas do pastejo, as quais se constituíram no tratamento testemunha), os resultados rejeitam a hipótese de que, com aumento da pressão de pastejo, estabelecer-se-iam níveis crescentes de compactação do solo, com respectiva diminuição da macroporosidade e da porosidade total e aumento da microporosidade. Resultados semelhantes já haviam sido observados por Cassol

(2003) no primeiro ciclo de pastejo da área experimental submetida a um período de pastejo de 104 dias.

Os microporos são responsáveis pelo armazenamento de água disponível (RUIZ, 2003; PORTUGAL et al., 2008). Reduções acentuadas de microporosidade prejudicam principalmente o armazenamento de água no solo e o seu aumento pode indicar compactação do solo, quando associado à diminuição da macroporosidade (FONSECA et al., 2007). O índice muito elevado pode levar a uma aeração deficiente quando o solo estiver próximo à capacidade de campo, uma vez que grande proporção dos poros estará ocupada por água, dificultando a atividade microbiana e a respiração radicular das plantas (WENDLING et al., 2003). Bertol et al. (2000) verificaram aumento na densidade e na percentagem de microporos do solo na profundidade de 0–5 cm de 1,1 para 1,4 kg dm<sup>-3</sup> e de 34,3 para 39,3 %, respectivamente, e diminuição na percentagem de macroporos de 7,8 para 6,4 %, quando aumentaram a lotação animal de 1.216 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de peso corporal para 2.263 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (oferta de forragem de 16 e 4 % do peso corporal), respectivamente, em um Cambissolo Álico (300 g kg<sup>-1</sup> de argila, 360 de areia e 340 de silte). Segundo Bertol et al. (2000) e Sarmiento et al. (2008b), a camada do solo mais alterada pelo pastejo é a superficial.

Estudos de Spera et al. (2006) em Latossolo Vermelho distrófico nos sistemas (I - trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca-milho; II - trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca+azevém-milho; III - trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca-pastagem de milheto; IV - trigo trigo soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca+azevém-pastagem de milheto; V - trigo-soja-aveia branca-soja pastagem de aveia preta+ervilhaca-pastagem de milheto; VI - trigo-soja-aveia branca-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca+azevém-pastagem de milheto), observaram que entre os sistemas de produção de grãos com pastagens, ocorreram diferenças entre as médias para microporosidade. Resultados concordantes foram obtidos por Spera et al. (2004b), que observaram, na camada 0- 5cm, valores para microporosidade de solo nos sistemas: trigo-soja-ervilhaca- milho-aveia branca-soja; trigo-soja-pastagem de aveia preta+ervilhaca-milho-aveia branca-soja; pastagem perene de estação fria e pastagem perene de estação quente inferiores aos da floresta.

Estudos de Lanzasova et al. (2007) em Argissolo Vermelho-Amarelo aluminoso típico sob três sistemas de manejo da pastagem de inverno (aveia-preta, *Avena strigosa Schreber* + azevém, *Lolium multiflorum* Lam.), caracterizados pela frequência de pastejo: (1) Sem Pastejo, (2) Pastejo a cada 28 dias e (3) Pastejo a cada 14 dias, observaram que a microporosidade do solo não foi significativamente alterada pelos sistemas de manejo

das pastagens em nenhuma das camadas de solo estudadas. Contudo, a macroporosidade e a porosidade total sofreram influência do pisoteio bovino. O pastoreio e a redução do intervalo, de 28 para 14 dias de pastejo, diminuíram significativamente a macroporosidade e a porosidade total na camada superficial, passando de 0,11 para 0,07 e de 0,56 para 0,51  $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ , respectivamente, e ambas diferiram, significativamente, da área não-pastejada. No menor intervalo de pastejo usado, a redução da macroporosidade foi da ordem de 2,5 vezes, quando comparados aos valores da área não-pastejada. As áreas pastejadas com intervalo de 28 dias mantiveram valores de macroporosidade iguais ou superiores ao limite crítico de 0,10  $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$  em todas as camadas. Em contrapartida, no sistema pastoreio de 14 dias, verificou-se valores baixos de macroporosidade (0,07  $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ ) em todas as camadas, inferiores, portanto, ao limite crítico, o que aumenta o risco de déficit de  $\text{O}_2$  às raízes e reduz a continuidade de poros e a permeabilidade do solo. A observância de efeitos da frequência de pastejo na macroporosidade e porosidade total, em maiores profundidades, em comparação com a densidade do solo e a microporosidade, deve-se ao fato de estas serem propriedades mais sensíveis e susceptíveis ao processo de compactação do solo.

### **2.1.7 Retenção de Água**

A retenção de água no solo é considerada uma avaliação adequada para estimar sua qualidade física e estrutural (MARCHÃO et al., 2007). A retenção de água do solo é característica específica de cada solo, sendo resultado de ação conjunta e complexa de vários fatores, como o teor e mineralogia da fração argila (FERREIRA et al., 1999), teor de matéria orgânica, estrutura e densidade do solo (BEUTLER et al., 2001). A faixa de tensão entre 0 e -6 KPa (macroporos), a condutividade hidráulica é alta, sendo parte considerável de água drenada em pouco tempo, o que justifica o cálculo de disponibilidade de água para as plantas, em Latossolos da região dos Cerrados, com base na água retida sob tensões entre -6 e -100 KPa (OLIVEIRA et al. 2004). Em solos altamente intemperizados, a água disponível para as plantas em geral está retida na faixa de tensões de 0 e -100 KPa (SANTOS, 1997).

Estudos de Marchão et al. (2007) em Latossolo Vermelho sob uso de cultivos contínuos, integração lavoura-pecuária e sistemas de preparo do solo na fase lavoura, observaram que as curvas de retenção de água em relação entre os diferentes sistemas, verificam-se, graficamente, tendência de aproximação das curvas com o aumento da

profundidade, o que reforça a hipótese da similaridade do solo nas camadas mais profundas, a partir de 20–25 cm, onde não haveria mais efeito dos sistemas de manejo e uso do solo. Os autores verificaram na camada superficial (0–5 cm) que todas as curvas de retenção de água dos sistemas de manejo foram significativamente diferentes da curva de retenção de água do cerrado. A partir da camada 10–15 cm, em geral, não houve diferença significativa entre os tratamentos sob sistema integrado lavoura-pecuária e a área sob cerrado, porém, observaram, nesta camada, que o sistema plantio direto foi significativamente diferente do cerrado, e não diferiu dos demais. Da mesma forma, nessa mesma profundidade, o tratamento sob pastagem contínua não diferiu de nenhum dos demais sistemas de cultivo.

Alguns trabalhos têm utilizado a curva de retenção de água do solo para comparar o efeito dos sistemas de manejo do solo (CARVALHO et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2004; LIMA et al., 2006), porém, em muitos casos, a comparação utilizando a curva como índice de qualidade física não leva a conclusão clara sobre o efeito do manejo. Todavia, devido a mudanças na forma da curva de retenção de água relativa com a degradação do solo, Dexter (2004) e Marchão et al. (2007) consideram que a curva de retenção de água tem potencial para ser utilizada como índice de qualidade física do solo em sistemas de uso e manejo que alterem mais drasticamente a distribuição de poros por tamanho, ou mesmo entre tipos de solos.

## **2.2 A BACIA ALTO RIO GRANDE**

A região do Alto Rio Grande, à montante do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Camargos, é uma das regiões estratégicas, do ponto de vista energético, para o Estado de Minas Gerais. Por meio de dois rios principais, Grande e Aiuruoca, forma-se o reservatório da referida usina, o qual é responsável direto pela produção de sua energia, além de manter dois outros reservatórios a sua jusante, os quais são a “fio d’água”, nas usinas de Itutinga e do Funil (MELLO et al., 2007)

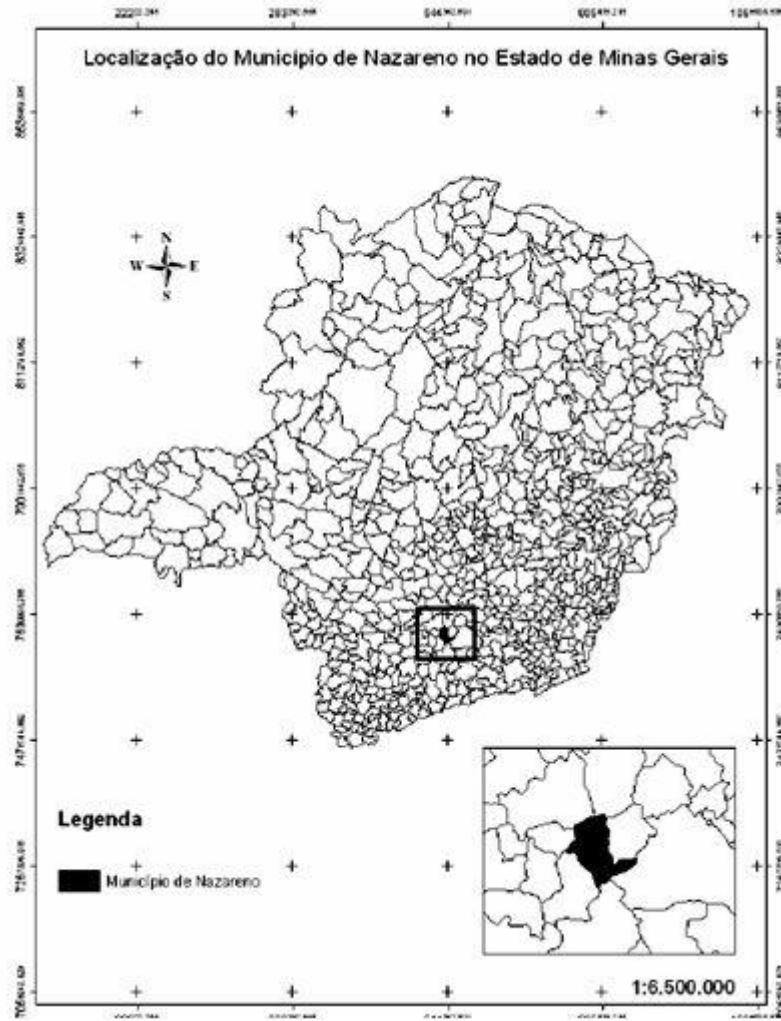
O manejo adequado dos solos da região é de fundamental importância para promoção de um desenvolvimento agropecuário sustentável, o qual vem crescendo nos últimos anos. A região pode ser dividida em três diferentes unidades de planejamento: sendo uma delas junto à Serra da Mantiqueira, próximo às principais nascentes da região, cuja aptidão está associada à proteção ambiental, especialmente para perenização de cursos

d'água; uma outra sob domínio de Cambissolos de baixa fertilidade, utilizada basicamente para sustentar pastagem extensiva de gado; e a terceira sob domínio de Latossolos, mais próxima ao reservatório de Camargos, com aptidão para lavouras (GIAROLA et al., 1997).

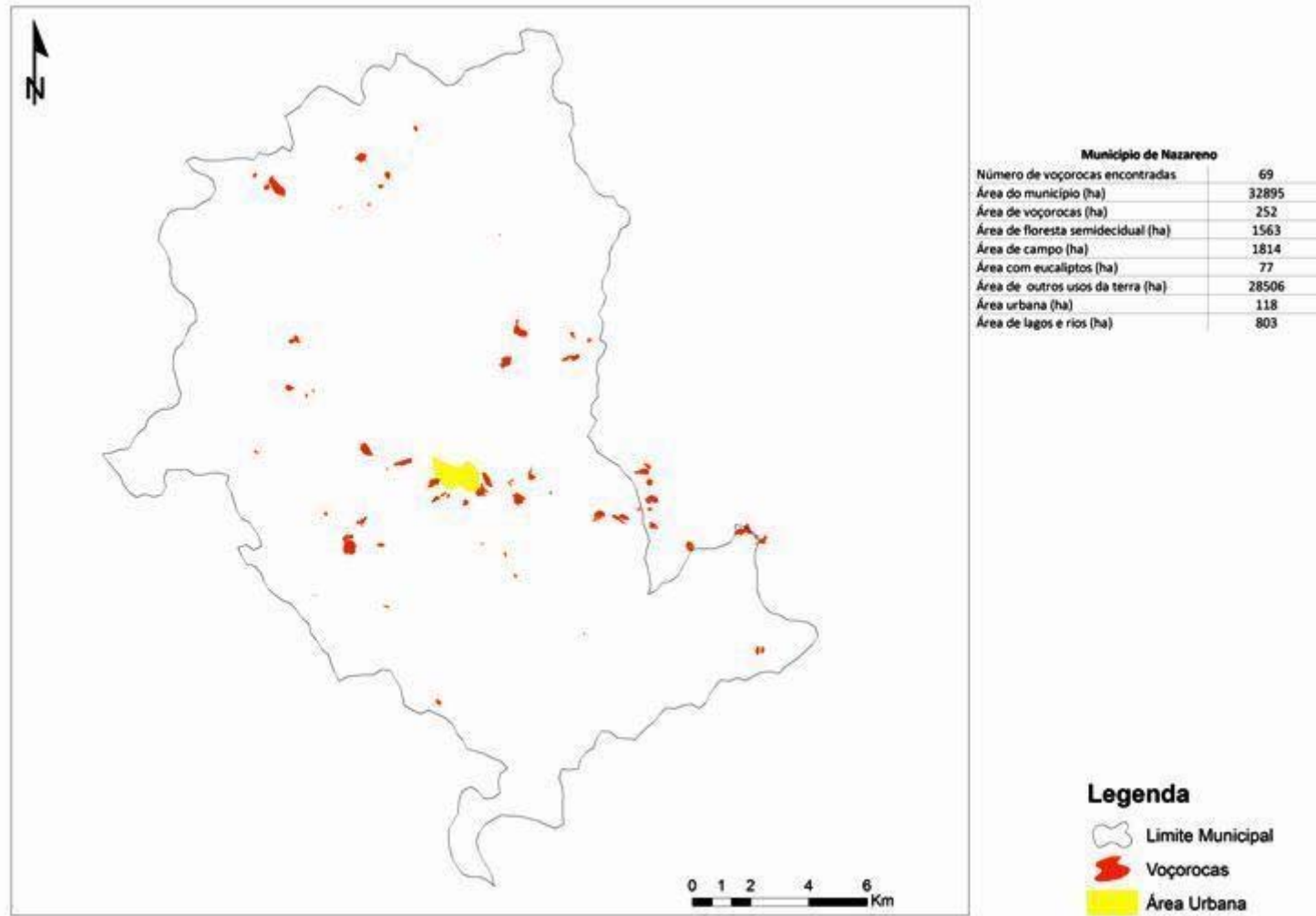
As pastagens em Cambissolos da região Alto Rio Grande se formaram com a introdução dos bovinos no século XVIII. Este sistema vem sendo utilizado em regime de pastoreio contínuo extensivo por mais de duzentos anos como forma de aproveitamento econômico destes campos. Com o decorrer do tempo, os rebanhos aumentaram, as lotações elevaram-se, houve a subdivisão dos campos e, como consequência, o superpastejo ocorre, hoje, na maioria das pastagens da região.

O município de Nazareno-MG (Figura 01), onde este estudo foi desenvolvido, é considerado representativo deste último ambiente, segundo estudos desenvolvidos por Ferreira (2005a), Ferreira (2005b), Horta (2006). A história do município foi construída com base na exploração mineral e agropecuária, nas quais os cuidados e atenções com o ambiente foram negligenciados. O quadro atual é formado por severos impactos destacados pela presença de variados processos erosivos, notadamente as voçorocas (Figura 02) (FERREIRA, 2005a).

As diversas formas de erosão ocorrentes constituem-se no maior problema verificado em toda a Bacia Alto Rio Grande. O expressivo número de voçorocas existentes (região dos campos), associados a uma erosão entressulcos severa, especialmente na região serrana, são responsáveis pelo carreamento de toneladas de solo anualmente para os cursos d'água. Este fato pode ser comprovado pelos problemas com erosão hídrica e reduções da recarga natural de água, que estão causando prejuízos diretos em 84% das propriedades rurais da região, sendo que em 78% há ocorrências de voçorocas com nascentes (FERREIRA, 2005a). Os prejuízos estão associados à população como um todo dos 64 municípios que compõem a Sub-Bacia, num total aproximado de 15.000 km<sup>2</sup> e 750.000 habitantes (MARQUES et al., 2002). Isso se deve ao assoreamento de cursos hídricos, que compromete o abastecimento de água, os potenciais energéticos dos reservatórios de Itutinga/Camargos/Funil. Segundo Santos (1998), a taxa de assoreamento na represa da Usina Hidrelétrica do Funil é de 0,1 m ano<sup>-1</sup>, sendo mantidas as taxas atuais de erosão e transporte de sedimentos.



**Figura 01** – Localização do município de Nazareno- MG (HORTA, 2006).

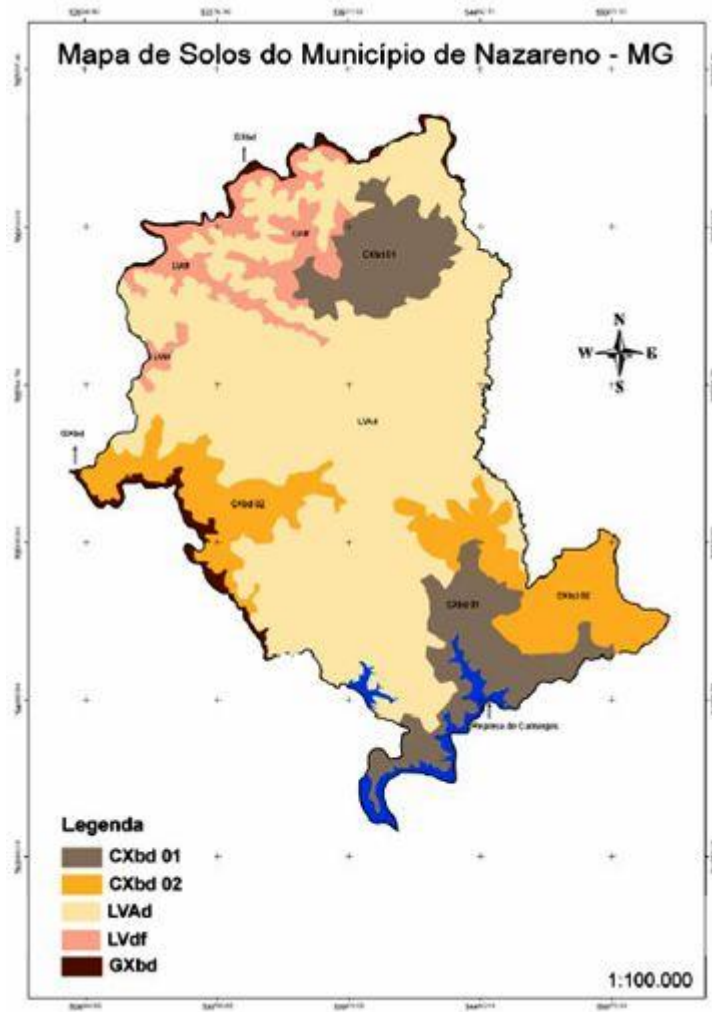


**Figura 02** – Mapa de voçorocas do município de Nazareno-MG (FERREIRA, 2005a).

### 2.2.1 Solos

Levantamentos pedológicos realizados por Giarola et al. (1997), Motta et al. (2001), Curi et al. (2005) e Horta (2006) (Figura 03) caracterizam os principais solos do município de Nazareno: Cambissolos (CXbd), Latossolos Vermelhos-Amarelo (LVA) e Latossolos Vermelhos (LV). Os solos são, geralmente, derivados de rochas pelíticas pobres, o que os tornam favoráveis a processos erosivos. Os LVAs são solos muito profundos, assim como os LVs, os quais possuem uma modesta diferenciação na sua seqüência de horizontes A-Bw-C. Tanto nos LVAs como nos LVs, o horizonte A mais comum é o moderado e, os primeiros, apresentam, de forma geral, uma pequena diferença textural do horizonte A para o B (OLIVEIRA et al.; 1992). São solos, comumente distróficos ou álicos, com teores de bases trocáveis, geralmente, baixos e teor moderado de umidade. Na maioria das vezes, apresentam-se bem acentuadamente drenados. São, na maioria das vezes, distróficos ou álicos, mas podem, também, ser eutróficos (OLIVEIRA et al.; 1992; RESENDE et al., 2002). Os Cambissolos são caracterizados pela seqüência de horizontes A-Bi-C e localizam-se nas áreas mais jovens do relevo. Em termos de ambiente, são um grupo muito heterogêneo, podendo, quando originados de ardósia ou filitos ter como cobertura vegetal campo limpo ou campo sujo. (OLIVEIRA et al., 1992; RESENDE et al., 2002).

Na área de estudo em sistemas de pastagem extensiva de *Brachiaria decumbens* (Figura 04), os solos foram classificados, conforme EMBRAPA (1999), como Cambissolo Háptico Tb distrófico típico, textura argilosa (CXbd), caulínico, com baixos teores de óxidos de ferro, apresentando estrutura em blocos e baixa permeabilidade, justificando maiores valores de perdas de solo. O CXbd apresenta tendência de perda de nutrientes conforme segue:  $K > Ca > P > Mg$ . De modo geral, as maiores perdas de P acompanham as maiores perdas de carbono orgânico e as maiores taxas de perdas de solo, o que se deve ao fato deste nutriente ser preferencialmente perdido por erosão, transportado adsorvido à fração coloidal mineral, e em parte ao P orgânico (HORTA, 2006). Os processos de eluviação, transferência de partículas e de lixiviação, ou seja, a dissolução das partículas argilosas por ácidos húmicos e transferência dos elementos solúveis até a rede hidrográfica, estão muito ativos, concordando com Schick et al. (2000). Os menores valores de argila na camada superficial dos solos são devidos aos processos de erosão, onde há remoção preferencial de argila e silte (FERREIRA, 2005b).



**Figura 03** – Levantamento pedológico do município de Nazareno-MG (HORTA, 2006): CXbd01 e CXbd02: Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, argiloso, A moderado álico. LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, argiloso a muito argiloso, A moderado. LVdf: Latossolo Vermelho Distroférico húmico e típico muito argiloso, A moderado e A húmico álico. GXbd: Gleissolo Háplico Tb distrófico.



**Figura 04** – Pastagem extensiva de *Brachiaria decumbens* em Cambissolo Háptico Tb distrófico típico sob Micaxisto (foto superior) e Gnaiss-Granítico Leucocrático (foto inferior).

### **2.2.2 Características mineralógicas, morfológicas e químicas de áreas erodidas por voçorocas em Cambissolos**

Grande parte do nordeste e sudeste do Brasil localiza-se em áreas de rochas graníticas e gnáissicas do embasamento cristalino. Na maioria destas áreas, sobretudo nas mais úmidas, o embasamento está recoberto por espessa capa de regolito, muito susceptível à erosão por voçorocas (MORAIS et al., 2004). As voçorocas são as formas de erosão mais visível dentre outras formas menos visíveis, mas não menos atuantes como a erosão laminar, em sulcos ou por *piping* (FIGUEIREDO et al., 2002).

Por conta de sua grande área de ocorrência, as voçorocas constituem um dos principais riscos ambientais no Brasil (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; DAEE/IPT, 1990). Embora ocorram naturalmente no tempo geológico (BACELLAR, 2000), grande parte das voçorocas ativas resulta de atividades antrópicas mal planejadas (MORAIS et al., 2004).

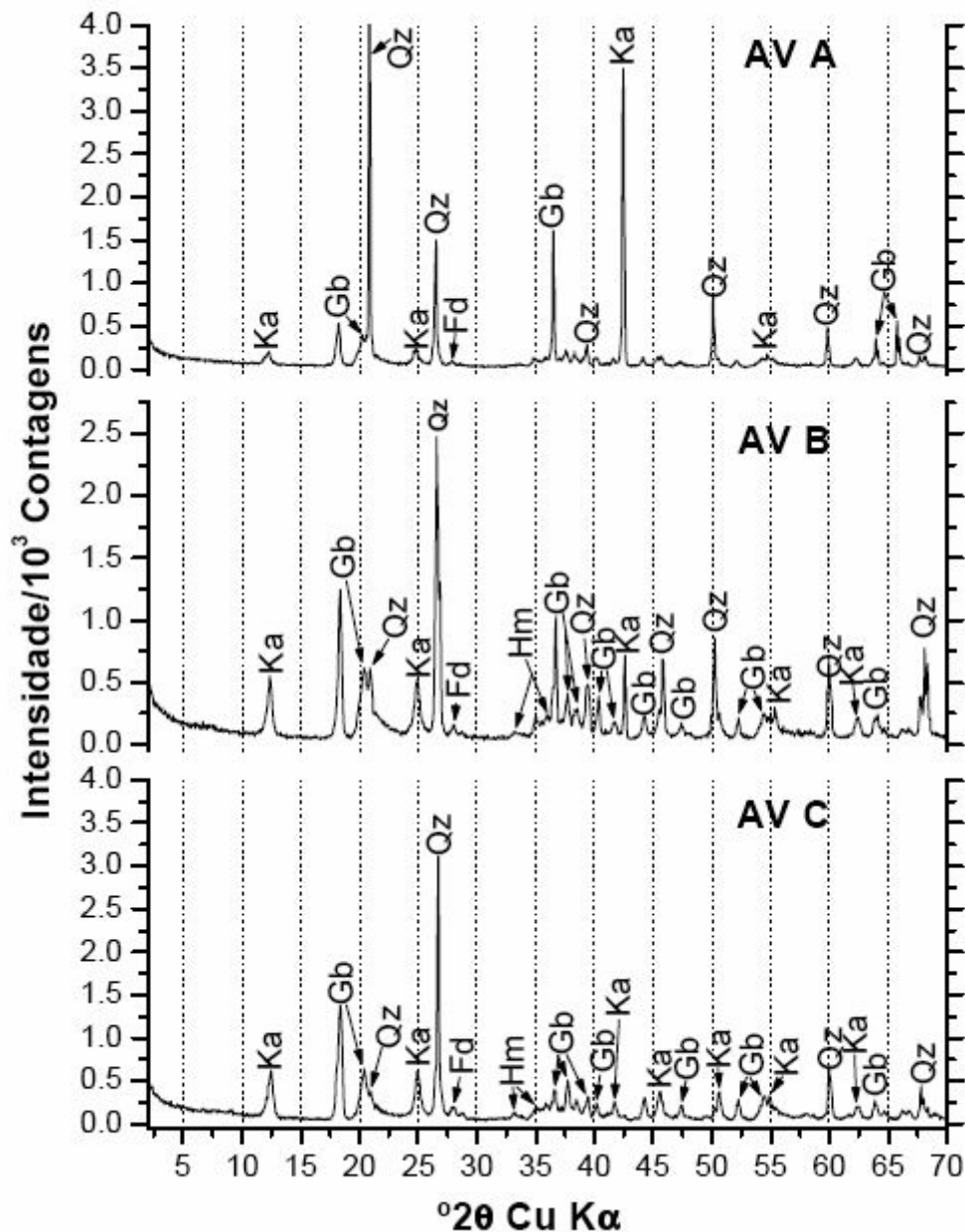
O estudo da conjunção de características mineralógicas e químicas é fundamental para subsidiar interpretações das interações. Segundo Resende et al. (2002), nas áreas do embasamento cristalino, os horizontes superficiais, sobretudo o B, são mais resistentes à erosão que o horizonte C (saprolito). Assim as voçorocas tendem a se desenvolver plenamente, quando o saprolito é exposto aos processos de erosão (PARZANESE, 1991). Todavia, apesar de quase sempre mais alta que a dos horizontes superficiais, a erodibilidade dos saprolitos (horizonte C) de rochas do embasamento pode variar até dentro de um mesmo tipo de rocha, dependendo de variações composicionais e texturais (BACELLAR, 2000).

Muitos estudos de horizonte B ferruginosos têm apresentado resultados que estabelecem estreita relação entre a mineralogia dos óxidos de ferro, processos de microagregação de partículas (ARDUINO et al., 1989; GOLDBERG, 1989; COLOMBO; TORRENT, 1991; PINHEIRO-DICK; SCHWERTMANN, 1996; ALEKSEEVA et al., 1999) e susceptibilidade erosiva (GALVÃO; SCHULZE, 1996; RHOTON et al., 1998; FIGUEIREDO et al., 1999).

### 2.2.2.1 Horizontes A, B e C

Estudos químicos e mineralógicos de terra fina de Figueiredo et al. (2002) no Complexo Bação em cambissolos álicos em substrato rochoso sob o qual o regolito se desenvolve em gnaiss Funil, cuja unidade litológica tem como característica básica um maior bandamento, maior migmatização e maior riqueza em bitotita (SALAROLI, 1999; VILELA, 1999; BACELLAR, 2000). Sua composição global é granodiorítica com bandas variando de composição tonalítica (bandas escuras) a de granitóides ricos em quartzo (bandas claras) (BACELLAR, 2000). Os minerais predominantes são o quartzo e o feldspato cálcico (plagioclásio), que se alternam em faixas de enriquecimento, ora maior em quartzo, ora maior em plagioclásio. Tiveram as amostras submetidas à difração de raios X (Figura 05) revelaram uma mineralogia análoga a outras de clima tropical úmido e sub-úmido, com predominância de minerais secundários aluminossilicatos e oxi-hidróxidos. Os cambissolos são constituídos predominantemente por quartzo, caulinita, gibsita e pequena quantidade de hematita e feldspato. O horizonte A é formado predominantemente por quartzo, gibsita e caulinita. Os horizontes B e C, apesar de apresentarem uma associação mineralógica semelhante, com predominância de quartzo, caulinita e gibsita, adicionalmente incluem a presença de hematita e de feldspato. As análises químicas com DCB (diotitionito-citrato-bicarboato de sódio), (Tabela 03), indicaram baixas concentrações de ferro, onde todas as amostras analisadas mostraram concentrações abaixo de 5 % mesmo após quatro extrações, corroborando com as análises de difração de raios X, que apresentaram baixas concentrações de oxi-hidróxidos de ferro (picos de baixa intensidade).

O Cambissolo apresenta-se como fornecedor de material produzido pelo aprofundamento do intemperismo. Entretanto, a intensidade de saída do material de alteração superficial não permitiu uma maior evolução do perfil de alteração deste segmento, como evidencia a classificação de Cambissolo. Ao mesmo tempo, a presença de feldspato (mineral primário) conjuntamente com os oxi-hidróxidos indica uma fase atual de avanço do intemperismo neste segmento, sugerindo uma atenuação a intensidade erosiva, evidenciada pela presença de voçorocas em estágio de estabilização. Entretanto há ocorrência de minerais primários (feldspato), mesmo que em baixa concentração. As análises químicas indicaram baixas concentrações de oxi-hidróxidos de ferro.



**Figura 05** – Difratoformas de raios X do perfil de Cambissolo. Horizontes A, B e C. Qz- quartzo, Ka- caulinita, Gb- gibsita, Hm- hematita, Fd- feldspatos (FIGUEIREDO et al., 2002).

**Tabela 03** – Porcentagens de ferro ( $\text{Fe}_d$ ) e alumínio ( $\text{Al}_d$ ) extraídos por DCB (ditionito- citrato- bicarbonato de sódio) e quantificados por absorção atômica, com suas respectivas profundidades. AV-Cambissolo (FIGUEIREDO et al., 2002).

Amostra	Profundidade (cm)	$\text{Fe}_d$ (%)	$\text{Al}_d$ (%)
AV-BA	40-84	2,69	0,59
AV-B	84-150	2,70	0,54
AV-C	150-200+	2,20	0,33

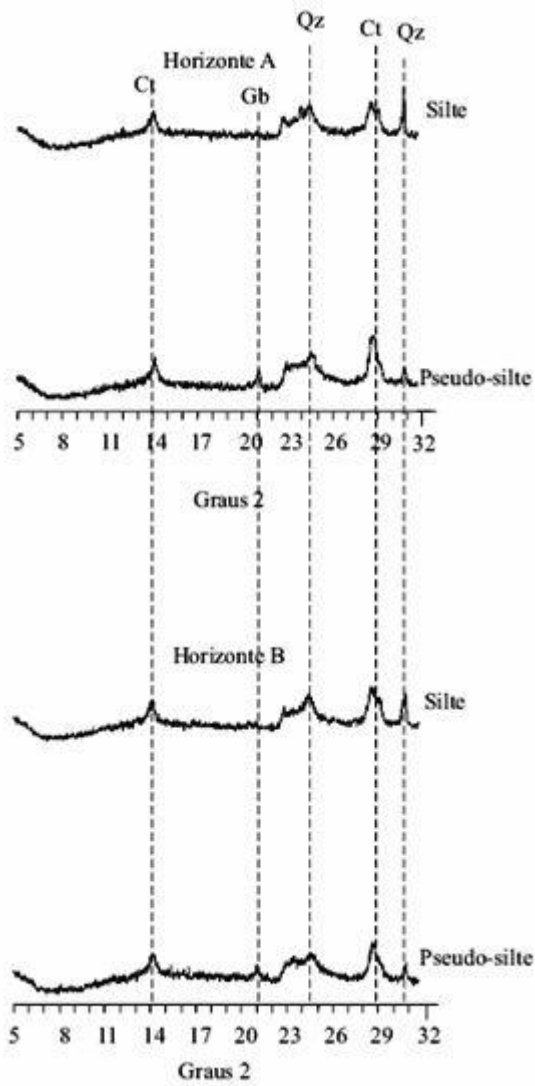
### 2.2.2.2 Silte nos horizontes A e B.

Estudos sobre a constituição mineralógica da fração silte nos horizontes A e B em Cambissolos em filito e gnaiss da Bacia Alto Rio Grande (Minas Gerais) foram realizados por Vitorino et al. (2003) através de difração de raios X com irradiação realizada no intervalo de 5 a  $32^{\circ}2\theta$  e análise térmica diferencial (ATD) para quantificação de caulinita e gibbsita. Conceitua-se pseudo-silte a possibilidade da fração silte de conter agregados de partículas de argila (VITORINO et al., 2003).

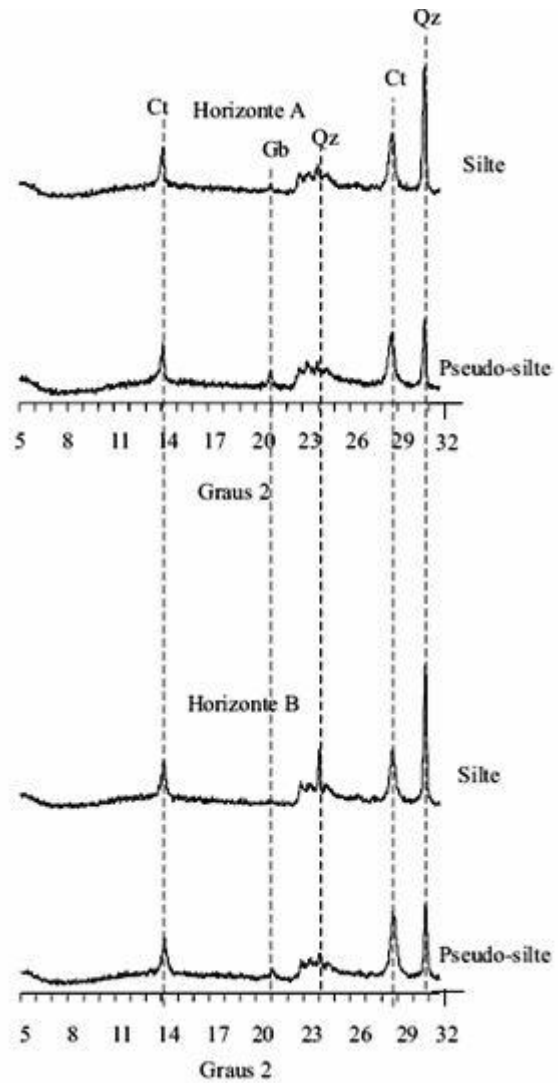
Os Cambissolos apresentaram reflexos intensos de caulinita (Figuras 06 e 07), chegando a ser maiores que os de quartzo no caso do CXbd em filito (Figura 07), os quais se mantiveram após a sonificação do pseudosilte. Isso provavelmente está associado ao fato de esses solos terem se desenvolvido sobre um material pré-intemperizado, conforme relatos de Resende et al. (1988) de que alguns Cambissolos podem resultar da remoção acentuada de material de antigos Latossolos, formados a partir do horizonte C subjacente ao Latossolo propriamente dito. Nesse caso, o Cambissolo atual não possui minerais facilmente intemperizáveis. Mineralogicamente é como se fosse um Latossolo, só que com maior teor de silte, no qual, freqüentemente, encontra-se o mesmo mineral que domina a fração argila, a caulinita.

O intenso reflexo de caulinita na fração silte dos Cambissolos pode estar relacionado também com a presença de pseudomorfos de caulinita do tamanho de silte (PINTO, 1971). Uma vez que esses solos se desenvolveram a partir do horizonte C de antigos Latossolos, estando, portanto, mais próximos da rocha de origem, os pseudomorfos de caulinita, comuns no horizonte Cr de muitos solos, quebram-se em direção à superfície (RESENDE et al., 1997), aumentando sua superfície específica.

Ocorreu, entretanto, uma destruição de microagregados presentes na fração pseudo-silte desses solos, representado pelos menores teores de gibbsita e, principalmente, de caulinita na fração silte em relação ao pseudo-silte e na fração argila desagregada (Tabela 04).



**Figura 06** – Difrátogramas de raios X das frações silte e pseudo-silte dos horizontes A e B do Cambissolo Háplico argila de atividade baixa distrófico originado de filito (CXbd1). Ct: caulinita; Gb: gibsitita; Qz: quartzo (VITORINO et al., 2003).



**Figura 07** – Difrátogramas de raios X das frações silte e pseudo-silte dos horizontes A e B do Cambissolo Háplico argila de atividade baixa distrófico originado de gnaiss (CXbd2). Ct: caulinita; Gb: gibsitita; Qz: quartzo (VITORINO et al., 2003).

**Tabela 04** – Teores de gibsita (Gb) e caulinita (Ct) e relação Gb/(Gb+Ct) em amostras desferrificadas das frações pseudo-silte e silte nos horizontes A e B dos cambissolos em filito e gnaisse (VITORINO et al., 2003).

Horizontes	Pseudo-silte			Silte		
	Gb	Ct	Gb/(Gb+Ct)	Gb	Ct	Gb/(Gb+Ct)
	-----( $\text{g Kg}^{-1}$ )-----			-----( $\text{g Kg}^{-1}$ )-----		
	Cambissolo Háplico Tb distrófico originado de filito					
A	8,30	208,77	0,25	2,15	18,47	0,10
B	80,22	330,86	0,20	1,87	18,69	0,09
	Cambissolo Háplico Tb distrófico originado de gnaisse					
A	45,01	260,09	0,15	2,66	25,94	0,09
B	53,36	417,62	0,11	2,12	44,90	0,05

A correlação direta com teores de gibsita e inversa com teores de caulinita refletem a importância desses constituintes na formação e estabilização de agregados do tamanho de silte, corroborando com Ferreira et al. (1999) e Pedrotti (2000), que concluíram serem esses os constituintes mineralógicos que maior influência exercem sobre as propriedades associadas à estrutura do solo. Assim, solos mais caulínicos devem apresentar estrutura menos resistente ao rompimento pela agitação mecânica, sendo mais fáceis de serem dispersos pelo método tradicional de agitação, ao passo que solos mais gibbsíticos devem ser mais difíceis de serem dispersos. Tais resultados são concordantes com os apresentados por Netto (1996).

### 2.2.2.3 Horizonte B

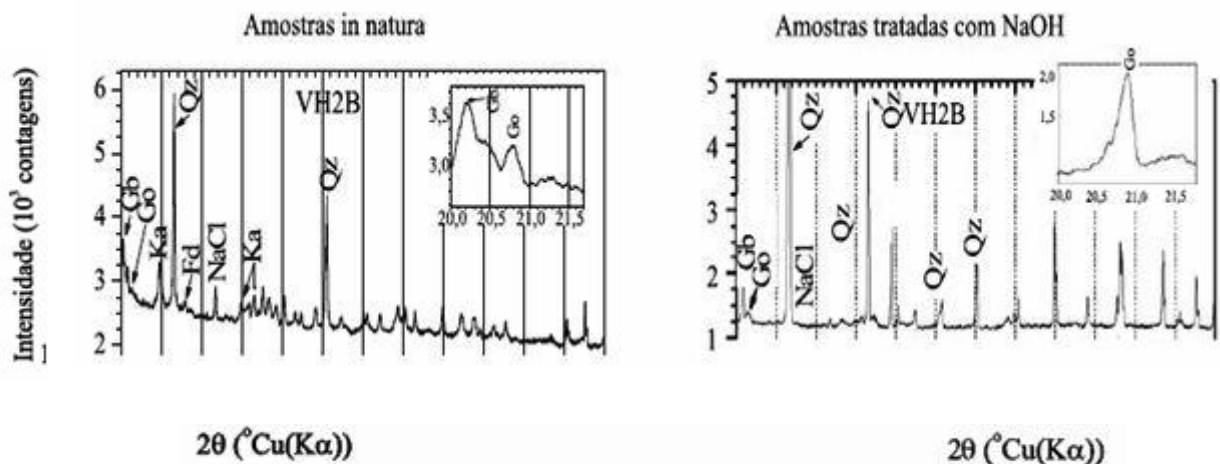
Estudos de Figueiredo et al. (2006) em Cambissolo do Complexo Bação tiveram como objetivo efetuar a caracterização mineralógica dos óxidos de ferro de horizontes B. Os resultados da análise química por fluorescência de raios X (Tabela 05) indicou conteúdos elevados de  $\text{SiO}_2$  seguido dos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Os conteúdos residuais de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{K}_2\text{O}$  podem estar associados a eventuais minerais primários relictos, sendo que os de potássio podem ser atribuídos a pedoambientes de baixa acumulação de bases.

**Tabela 05** – Análises químicas (índice de intemperismo) das amostras de Cambissolo no horizonte B ferruginoso no embasamento cristalino granito-gnáissico (Figueiredo et al., 2006).

Amostra <sup>(1)</sup>	Cor Munsell (úmida)	Granulometria (g Kg <sup>-1</sup> )			Classe Textural	Composição química (g Kg <sup>-1</sup> )				
		Argila	Silte	Areia		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
VH2B	2,5YR 5/8	409	262	328	Argiloso	396	330	45,2	2,8	6,0

(1) VH2B amostra coletada do horizonte Bi do Cambissolo.

Os difratogramas de raios X das amostras in natura revelam a dominância tanto de minerais resistentes ao intemperismo, quanto de minerais advindos do processo de intemperismo, como geralmente ocorre em solos intertropicais (Figura 08). As reflexões diagnósticas de intensidades mais expressivas, em 0,335 nm (26,61° 2 $\theta$ ), 0,358 nm (24,89° 2 $\theta$ ) e 0,427 nm (20,80° 2 $\theta$ ), confirmam a presença relativamente abundante de quartzo (polítipo SiO<sub>2</sub>) e, em menor proporção, de minerais secundários: caulinita (fórmula ideal, Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) e gibbsita ( $\alpha$ Al(OH)<sub>3</sub>), respectivamente. Goethita ( $\alpha$ Fe(OH)<sub>3</sub>) pode ser inferida pelo reflexo diagnóstico de baixa intensidade em 0,422 nm (21,05° 2 $\theta$ ), mostrado na região ampliada dos difratogramas entre 20,00 e 21,75° 2 $\theta$  (Figura 08). As reflexões de goethita são mais claramente observáveis nos difratogramas das amostras tratadas com NaOH (Figura 08). A ocorrência de hematita é duvidosa, embora um reflexo incipiente apareça nos difratogramas, em torno de 33° 2 $\theta$ . Semiquantitativamente, os minerais foram dispostos na seguinte ordem de ocorrência: quartzo >> gibbsita > caulinita > goethita.



**Figura 08** – Difratogramas de raios X (método do pó) das amostras in natura e após tratamento com NaOH 5 mol L<sup>-1</sup>. Ka: caulinita; Gb: gibbsita; Go: goethita; Qz: quartzo; NaCl: padrão interno (Figueiredo et al., 2006).

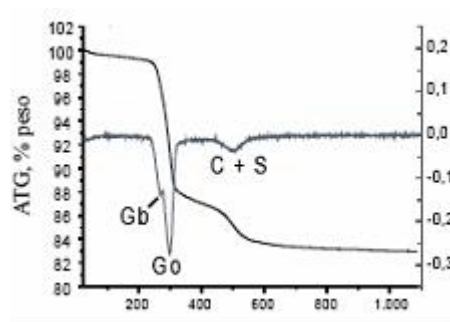
#### 2.2.2.4 Horizonte C (saprolito)

Estudos na região do Complexo Bação (Quadrilátero Ferrífero) no estado de Minas Gerais, apresentam afloramento de rochas gnáissicas de composição predominantemente granodiorítica (DOOR, 1969), com manto de intemperismo de até 50m de espessura e horizonte C de até 40m, composto por quartzo, feldspato (variavelmente alterado para caulinita), ilita e muscovita (SOBREIRA, 2000), predominância de cambissolos.

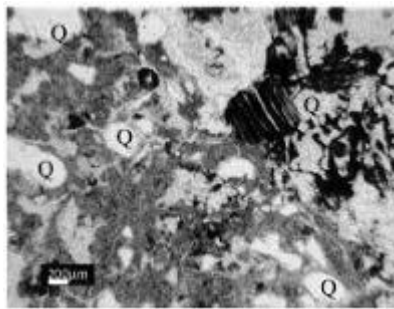
A erodibilidade dos cambissolos tem sido avaliada por métodos de campo, como as parcelas de erosão, como estabilidade de agregados, penetração ao cone, desagregação, dispersão, expansão livre e *pin-hole* (PARZANESE, 1991; SOBREIRA, 1998; SILVA, 2000; BACELLAR, 2000; SANTOS, 2001). Os dados confirmam que os saprolitos dos gnaiesses da região são normalmente muito erodíveis, tanto nos processos de erosão superficial como subsuperficial, especialmente no processo de *piping* (SILVA, 2000; MORAIS et al., 2004). Contudo, a erodibilidade destes saprolitos pode variar significativamente (BACELLAR, 2000). Os resultados de análise mineralógica por lupa binocular mostraram que os cambissolos são basicamente compostos por quartzo, feldspato e fragmentos de rocha. As frações submetidas à análise mineralógica por difração de raios X confirmaram o predomínio do quartzo, seguido da caulinita e da muscovita (MORAIS et al., 2004).

Figueiredo et al. (2004) estudou a evolução recente dos cambissolos no Complexo Bação, fazendo uma avaliação da alteração superficial e da pedogeomorfologia, a partir de estudos macromorfológicos e micromorfológicos, obtidos de análises mineralógicas e químicas. A toposseqüência estudada corresponde uma vertente de perfil longitudinal convexo- côncavo- convexo, com declividade variando de 30- 35% no terço superior. O extrato vegetacional corresponde a cerrado degradado com fisionomias de campo limpo e campo cerrado associado a *Brachiaria brizantha* nas pastagens plantadas. A cobertura superficial é não pedregosa. Os perfis de solos ocorrentes apresentam o horizonte B com variadas espessuras e diferentes graus de evolução. O horizonte B é incipiente e aponta para um perfil de natureza câmbica. O perfil apresenta um horizonte C saprolítico que, gradualmente, passa para um horizonte B incipiente com estruturas parentais (foliação) do embasamento gnáissico identificáveis microscopicamente. Microscopicamente o horizonte C (Figura 10) mostra litorrelíquias gnáissicas em associação com o esqueleto quartzoso com ferruginizações nas bordas e nos espaços intergrãos e com um plasma incipiente, argilo-

ferruginoso, mineralogicamente composto por caulinita-gibbsita, goethita, com traços de sericita (Figura 09).



**Figura 09** – Análise térmica gravimétrica e sua derivada, mostrando a composição do plasma incipiente do horizonte C de Cambissolo (FIGUEIREDO et al., 2004).



**Figura 10** – Fotomicrografia em luz plana do horizonte C de Cambissolo (FIGUEIREDO et al., 2004).

O comportamento do cambissolo está relacionado com a erosão linear acelerada (voçorocas), cuja evolução parece não ter relação direta com as características pedogenéticas apresentadas, mas, sim com a ocorrência de redes de fraturamentos e falhas geológicas observadas na área (BACELLAR, 2000). Ou seja, após o encaixamento da rede de drenagem, as vertentes sofreram desequilíbrios hidrológicos de subsuperfícies com o rápido rebaixamento do nível piezométrico. Assim a movimentação hídrica subsuperficial concentrada em falhas e fraturas pode ter desencadeado os voçorocamentos. Desse modo, a ocorrência de voçorocas em vários estádios evolutivos parece não ter relação direta com as características pedogenéticas apresentadas. A sua gênese está mais relacionada com as falhas e fraturas em conjunção com desequilíbrios hidrológicos subsuperficiais. A única influência pedogenética observada está relacionada com a ocorrência dos solos pouco espessos na baixa vertente, cujo horizonte C poderia ser mais facilmente interceptado pela erosão superficial

concentrada, fator desencadeador de voçorocamentos no sentido montante da vertente. Tal situação seria inteiramente plausível, pois o fluxo hídrico superficial chegaria ao segmento de baixa vertente com alto potencial erosivo maximizado pelo aumento da declividade.

### 2.2.3 Geologia

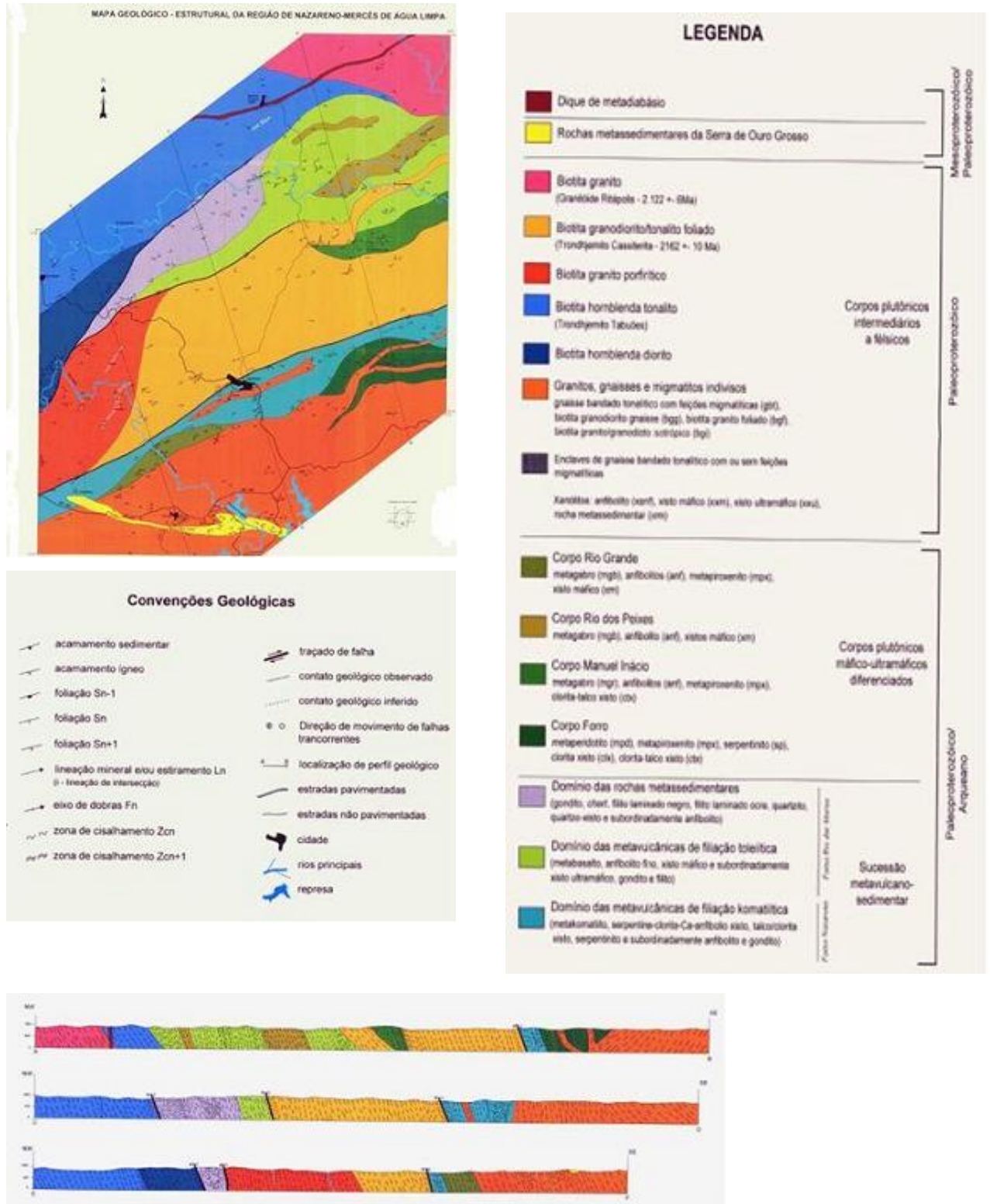
Levantamento geológico realizado por Toledo (2002) no município de Nazareno (Figura 11) caracteriza que os Cambissolos com material de origem Micaxisto e Gnaiss-Granítico Leucocrático são altamente susceptíveis a problemas ambientais, como elevadas perdas de solo e contaminações, especialmente da água, tanto subterrânea quanto superficial. Esses problemas estão associados ao fato de que os Cambissolos são unidades pedológicas em formação.

Nas regiões cujo substrato é formado por anfibólio xistos, o solo se apresenta com coloração vermelha escura devido à porcentagem elevada de óxidos de ferro provenientes da alteração dos máficos originais. Além da coloração, esses solos apresentam textura peculiar constituída de uma matriz argilosa predominante e de grãos de quartzo de dimensão entre areia fina e silte.

Nas áreas de domínio de Granitos e Gnaisses, os solos são em geral mais claros. Entretanto existem locais em que a sua coloração é semelhante à dos anfibólio xistos. Nesses casos, a distinção pode ser feita com base nas dimensões do quartzo presente. A variabilidade petrográfica das rochas apresenta diferenças texturais, estruturais e mineralógicas.

Com respeito à textura, foram notados locais em que o quartzito se apresenta formado exclusivamente de grãos de quartzo de granulação homogênea, oscilando entre 0,3 a 0,5mm. Microscopicamente, o quartzo perfaz 95% da rocha, em grãos levemente imbricados e fraturados, com dimensões variando entre 0,3 e 0,4mm. Subordinamente, encontra-se muscovita em finas plaquetas orientadas. Cianita aparece em nódulos seguindo a orientação da rocha, perfazendo 2 a 3% de seu volume. Os filitos, petrograficamente apresentam, quando não alterados, coloração cinzenta, maciez ao tato e boa orientação. Ao microscópio, existe textura lepidoblástica com predominância de 90% de muscovita finíssima (sericita = 0,03mm). Os restantes 10% são ocupados por quartzo em aglomerados de cristais

sub-milimétricos. Nota-se, ainda, em várias secções, a presença de matéria carbonosa entre as plaquetas de muscovita (TOLEDO, 2002).



**Figura 11** – Levantamento geológico da região de Nazareno- Mercês de Água Limpa (TOLEDO, 2002).

#### 2.2.4 Hidrografia

O município pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Grande e abastece os reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Camargos, Itutinga e Funil. O Rio Grande percorre, desde as suas nascentes na Serra da Mantiqueira, 240 km de extensão e apresenta 75 m de largura, com vazão média de  $312 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na região (MARQUES et al., 2002).

#### 2.2.5 Clima e Vegetação

O clima é tropical de altitude com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos, Cwa segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia de 18°C a 19°C (ANTUNES et al., 1982). A região apresenta clima quente monçonal, isto é, chuvas concentradas em poucos meses do ano. A precipitação média anual varia de 1.200 a 1.500 mm por ano.

O tipo de vegetação dominante é a transição entre a Mata Atlântica e o cerrado tropical subcaducifólio (Figura 12). Há também campo de surgente no terço inferior das encostas, campo cerrado tropical nos locais de domínio de solos mais rasos, campo rupestre nos níveis superiores das serras em altitudes superiores a 1.000 m e o campo hidrófilo de várzeas nas baixadas (GIAROLA et al, 1997; MOTTA et al., 2001; MARQUES et al., 2002; FERREIRA, 2005a; FERREIRA, 2005b; HORTA, 2006; PIRAT, 2006).

#### 2.2.6 Sistemas Agrários

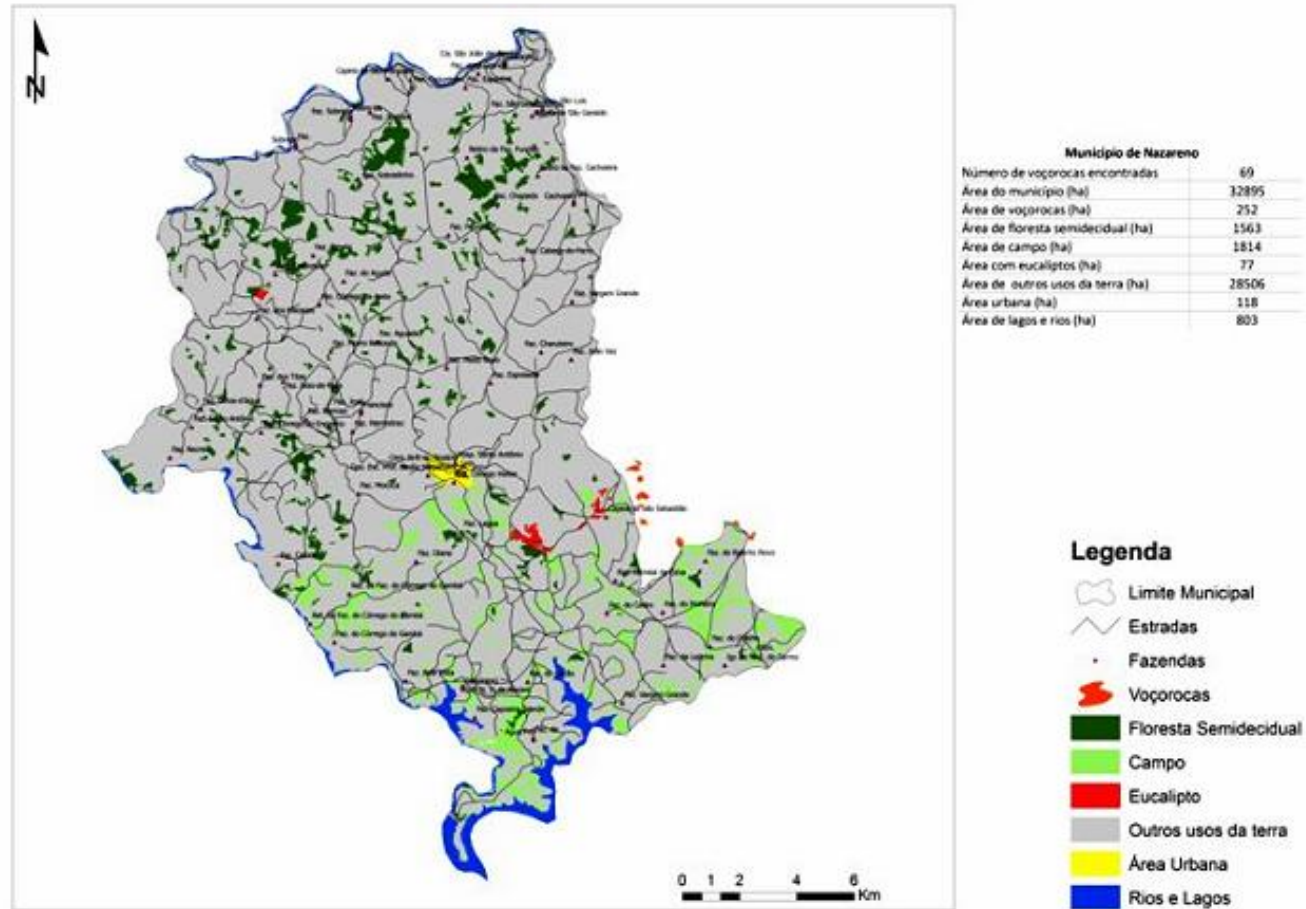
Os sistemas agrários em Latossolos correspondem às áreas mais produtivas utilizadas para plantios de café e pastagem plantada, principalmente com *Brachiaria* sp. Há também pastagens nativas, campo cerrado e terrenos arados a serem cultivados, corroborando com estudos de Giarola et al. (1997), Motta et al. (2001) e Pirat (2006). Os Cambissolos estão associados às pastagens nativas e pastagens de *Brachiaria* sp. Encontram-se relacionados também aos plantios de eucalipto e campo cerrado, corroborando com estudos realizados por

Oliveira (1993), Santos et al. (1998), Giarola et al. (1997), Ferreira (2005b), Pirat (2006) e Horta (2006).

Na Bacia Alto Rio Grande, a maior ocupação ainda é verificada pelas pastagens naturais aproveitando-se das gramíneas dos campos naturais (FERREIRA 2005b). Entretanto, este tipo de aproveitamento exige um manejo todo especial, uma vez que estas plantas, para o aproveitamento forrageiro, são limitadas ao período de crescimento até a maturação, ou seja, até lançarem o pedúnculo floral. A partir do amadurecimento, as folhas das gramíneas se tornam mais lignificadas, diminuindo sensivelmente o seu valor nutritivo e sua palatabilidade.

As pastagens da região são aproveitadas de maneira extensiva ou semi - extensiva, ou seja, não há divisão de pastagens que possibilite um pastoreio uniforme em toda a extensão da área. Esta condição, aliada à baixa capacidade de suporte das pastagens, permite a ocorrência de pastoreio desuniforme e seletivo, favorecendo a formação de touceiras de vegetação seca conhecidas como macegas. O acúmulo das macegas reduz a brotação das pastagens no período chuvoso seguinte, por concorrência nutricional e de luz, reduzindo a disponibilidade de alimento para o gado (ALBENAZ, 2005).

Para se evitar estas ocorrências e permitir a renovação (brotação) das pastagens, adota-se comumente a prática de queimadas. Muito embora os proprietários rurais tentem utilizar o fogo de forma controlada, as características da região e as condições da vegetação à época de seu uso, muitas vezes, fazem com que o processo saia de controle, atingindo indiscriminadamente grandes áreas de campo. A prática de queimadas começa próximo ao início do período chuvoso (final de agosto e setembro). Como prática de controle, para que não haja comprometimento da queima de toda a pastagem em um ano, os proprietários locais dividem a pastagem em duas partes, promovendo a queima de uma área em um ano e a queima da outra área no ano seguinte. Pode-se considerar que as pastagens naturais de campo na região sofrem queimas bianuais, caso o processo seja efetivamente controlado. Este procedimento compromete a fertilidade natural dos terrenos, com a retirada de elementos que são perdidos com as cinzas ou por volatilização, além de expor os solos à ação das primeiras chuvas, comprometendo ainda mais sua susceptibilidade a erosão. Por se tratar de uma prática comum a todas as propriedades, a degradação destas áreas se transforma em um processo contínuo, e os proprietários alegam que o uso do fogo revigora as pastagens (LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003).



**Figura 12** – Mapa de estradas e vegetação do município de Nazareno-MG (FERREIRA, 2005a).

Verifica-se, na Bacia Alto Rio Grande, tendência de substituição das pastagens naturais por pastagens plantadas, onde são utilizadas forrageiras de melhor valor nutricional e maior palatabilidade. A forrageira introduzida é, principalmente, a *Brachiaria decubens*, cuja implantação é precedida de duas formas de manejo. A maneira mais clássica de implantação de pastagens é o plantio de pasto após a cultura anual, aproveitando o efeito residual dos insumos utilizados na agricultura. Uma vez que as práticas de manejo empregadas na agricultura em muitos casos permitem a ocorrência de erosão entressulco, observa-se que as pastagens plantadas não têm brotação uniforme, apresentando falha e baixa capacidade de suporte futura.

A segunda forma de implantação de pastagens é a substituição dos campos naturais pela forrageira, sem a intermediação de culturas anuais. Neste caso os investimentos quanto à correção de solo e à adubação são menores ou até ausentes, o que possibilita a formação de pastagens a custos menores, porém de qualidade inferior às verificadas no primeiro caso.

Nos dois casos é comum a presença de áreas falhas, favorecendo a ocorrência de focos erosivos que podem, em determinados locais, evoluírem para ravinas e voçorocas. Quanto às vantagens desta substituição, as opiniões técnicas são conflitantes. Se por um lado a introdução de uma forrageira de maior valor nutricional e melhor palatabilidade é importante para a produtividade do rebanho, não restam dúvidas de que a vegetação natural dos campos confere maior estabilidade aos solos, protegendo-os melhor dos processos erosivos além de conservar a diversidade natural da área (FERREIRA, 2005b).

Os problemas maiores relacionados ao pisoteio do gado nas pastagens foi a presença de terracetes, em áreas de maior declive, e trilhos de caminho de gado, estes por sua vez agravando mais ainda a instabilidade dos terrenos. Há também o super-pastoreio, que contribui para a compactação do solo e conseqüente capacidade de infiltração de água (FERREIRA, 2005a).

As principais culturas anuais plantadas na região são o milho, o feijão e o arroz, este último aproveitando as várzeas úmidas. O plantio de milho é feito em quase que sua totalidade visando a complementação alimentar do gado leiteiro, via emprego direto em forma de fubá ou grãos ou como silagem. O feijão e o arroz, por sua vez, são em grande parte cultivados em sistema de meia com empregados ou “meeiros” para subsistência das famílias, com pequeno excedente comercializável. Em relação ao manejo destas culturas, verificou-se que existe o emprego de tração mecânica e tração animal, com predominância pela primeira. A aplicação de corretivos e fertilizantes é verificada, porém com dosagens aquém das

recomendadas para as condições do solo da região, redundando em produtividades baixas. Na série histórica de utilização de corretivos e fertilizantes, verifica-se uma evolução muito maior na aplicação de fertilizantes do que corretivos, o que é preocupante tendo em vista que o baixo pH torna indisponível para as plantas a maioria dos elementos contidos nos adubos (PIRAT, 2006).

No tocante às práticas conservacionistas, verifica-se que o produtor possui vagas noções de manejo de solo, observando-se em muitos casos que o preparo e o plantio são feitos no sentido do maior declive, porém não em nível. Como a topografia regional é representada por convexidade das rampas, parte do plantio é realizado no sentido de conter a erosão, no entanto outra área fica no sentido do declive, agravando o processo erosivo (FERREIRA, 2005b). É comum verificar plantios em área de ocorrência de voçorocas sem o devido cuidado para o controle da evolução deste processo erosivo, o que contribui para o agravamento da mesma, em alguns casos desestabilizando um processo erosivo que já se encontrava estabilizado (FERREIRA 2005a)

O reflorestamento em escala comercial do gênero *Eucalyptus* está vinculado a empresas consumidoras de carvão vegetal. Há uma tendência de crescimento desses plantios e deve-se analisar os impactos ambientais que estão causando, devido ao caráter de monocultura extensiva (PIRAT, 2006).

### 3. ARTIGO A: DEGRADAÇÃO FÍSICA DE CAMBISSOLO DE DOIS MATERIAIS DE ORIGEM EM ÁREA DE DOMÍNIO DE PASTAGEM EXTENSIVA.

#### 3.1 Resumo

A degradação das pastagens tem sido um grande problema para a pecuária brasileira o que tem afetado diretamente a sustentabilidade do sistema produtivo. Nas áreas de Cerrado existem, aproximadamente, 50 milhões de hectares com pastagens artificiais, sendo que cerca de 85% são do gênero *Brachiaria*, e mais de 50% já atingem algum grau de degradação. O objetivo deste trabalho foi avaliar se o material de origem de Gnaisse-Granítico Leucocrático e Micaxisto influencia a cobertura vegetal, a macrofauna, as modificações estruturais e físico-hídricas de um Cambissolo Háplico Tb distrófico com pastagens mono específicas de *Brachiária decumbens*. Os Cambissolos originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático não apresentaram diferença de cobertura vegetal, baixas proporções de leguminosas e plantas espontâneas. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático em relação a área de Micaxisto apresenta baixa proporção de palhada ao qual resulta um sinal de superpastejo. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta maior média de cupinzeiros e formigueiros em relação à área de Micaxisto. Os Cambissolos com pastagens extensivas de *Brachiaria decumbens* originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático tiveram modificações morfológicas nas camadas de 0-20cm com modificações físicas confirmadas pelas curvas de retenção de água. Os volumes,  $F$ ,  $\Delta\mu$  e  $\Delta$  as curvas têm maior declividade com queda mais acentuada no teor de água com o aumento da tensão aplicada. Considerando a tensão de -6KPa como o limite entre macroporos e microporos (retenção de água) observa-se que o tratamento em Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta redução da macroporosidade em superfície e profundidade, o qual dificulta a drenagem da água no perfil do solo, fazendo que ocorra um rápido encharcamento da superfície e subsequente aumento do escoamento superficial com maior exposição aos processos de erosão. A curva de retenção de água no volume NAM da área de Granito-Gnaisse Leucocrático tem maior declividade em relação à curva da área de Micaxisto no volume NAM devido a maior proporção de caulinita no horizonte C, apresentando maior quantidade de microporos.

**Palavras-chave:** perfil cultural, curva de retenção, cobertura vegetal, formigas, cupins.

### 3. ARTICLE A: PHYSICAL DEGRADATION OF INCEPTISOL FROM TWO MATERIALS OF ORIGIN IN AN AREA UNDER DOMINION OF EXTENSIVE PASTURE.

#### 3.1 Abstract

The degradation of pastures has been a great problem for Brazilian livestock that has directly affected the sustainability of the productive system. In the areas of Cerrado there exists, approximately, 50 million hectares with artificial pastures, about 85% being of the genus *Brachiaria*, and more than 50% have already reached some degree of degradation. The objective of this work was to evaluate if the material of origin, Leucocratic Granite Gneiss and Micaschist, influences the vegetative covering, the macrofauna, the structural and physical-hydric modifications of a typical Dystrophic Haplic Cambisol (inceptisol) with mono-specific *Brachiária decumbens* pastures. The Inceptisols originating from Micaschist and Leucocratic Granite Gneiss didn't present a difference in vegetative covering, low leguminous and spontaneous plant proportions. The area of Leucocratic Granite Gneiss in relation to area of Micaschist presents low straw proportion which is a sign of overgrazing. The area of Leucocratic Granite Gneiss presents a higher average of termite mounds and anthills in relation to the area of Micaschist. Inceptisols originating from Micaschist and Leucocratic Granite Gneiss with extensive *Brachiaria decumbens* pastures had morphologic modifications in the 0-20 cm layers with physical modifications confirmed by the water retention curves. The volumes,  $F$ ,  $\Delta\mu$  and  $\Delta$  of the curves have higher steepness with a more accentuated water level fall with the increase of the tension applied. Considering the tension of -6KPa as the limit between macropores and micropores (water retention) it is observed that the treatment in Leucocratic Granite Gneiss presents reduction of the surface and depth macroporosity, which hinders the drainage of the water in the soil profile, causing a fast surface flooding to occur and subsequent increase in the surface drainage resulting in higher exposure to the erosion processes. The water retention curve in the NAM volume of the area of Leucocratic Granite Gneiss has higher steepness in relation to the curve of the Micaschist area in the NAM volume due to higher kaolinite proportion in the C horizon, presenting higher amount of microporos.

**Keywords:** cultural profile, retention curve, vegetative cover, ants, termites.

### 3.2 Introdução:

A degradação das pastagens tem sido um grande problema para a pecuária brasileira, afetando a sustentabilidade do sistema produtivo. Segundo Macedo (1995), só nas áreas de Cerrado existem, aproximadamente, 50 milhões de hectares com pastagens artificiais, sendo que cerca de 85% são do gênero *Brachiaria*, e mais de 50% já atingem algum grau de degradação. Considerando apenas a fase de engorda de bovinos, a produtividade de carne de uma pastagem degradada pode ser seis vezes inferior ao de uma pastagem recuperada ou em bom estado de manutenção (MACEDO et al., 2000; PERÓN; EVANGELISTA, 2004). A pastagem degradada é aquela que está em processo de perda de vigor e produtividade forrageira, sem possibilidade de recuperação natural, tornando-se incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, bem como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras. Persistindo esse processo, poderá haver uma degradação total do solo e dos recursos naturais, com prejuízos irrecuperáveis para toda a sociedade (MACEDO et al, 1993; MACEDO, 1995).

As pastagens representam uma forma de conservação dos atributos físico-hídricos do solo, desde que bem manejadas, com reposição de nutrientes e lotação adequada. Todavia, o que se observa com frequência é adoção de práticas de manejo que culminam com a degradação do solo (FREGONEZI et al., 2001). Vários trabalhos evidenciam que o tipo de manejo do solo acarreta inúmeras modificações na estrutura da comunidade de macroinvertebrados, em diferentes graus de intensidade em virtude de mudanças de habitat, fornecimento de alimento e criação de microclimas (DECAËNS et al., 2003; MERLIM et al., 2005). Essas modificações geralmente ocorrem na diversidade e densidade populacionais, características que têm sido utilizadas como potencial bioindicador da qualidade do solo (SILVA et al., 2006a,2006b; SILVA et al., 2007).

Estabelecer critérios para avaliar o estágio de degradação das pastagens é tarefa complexa, tendo em vista a diversidade de espécies e os atributos físico-hídricos dos ecossistemas em que são cultivadas (COSTA et al., 2006). Quanto ao distúrbio fisiológico da espécie dominante, à mudança na composição botânica e à invasão por novas espécies, estes podem ser facilmente identificados e são características da maioria das pastagens degradadas.

Quando a degradação se encontra em grau mais avançado, os atributos físico-hídricos do solo devem ser avaliados (NASCIMENTO JR. et al., 1994) como a curva característica de água (BALBINO et al., 2004) e a estrutura avaliada pelo método do perfil cultural (TAVARES FILHO et al., 1999). Estes têm sido utilizados como indicadores físico-

hídricos e morfológicos pela relativa facilidade de determinação e pelo baixo custo de obtenção de medidas. Além da comparação entre o sistema de manejo e de uso do solo (OLIVEIRA et al., 2004), os atributos físico-hídricos também têm sido utilizados para estudar o efeito da conversão de áreas nativas em pastagens (LEÃO et al., 2006, MARCHÃO et al., 2007). Estudos de identificação dos fatores de origem da degradação de pastagens extensivas de *Brachiaria decumbens* e perda da qualidade estrutural em Cambissolo são incipientes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar se o material de origem de Gnaisse-Granítico Leucocrático e Micaxisto influencia a cobertura vegetal, a macrofauna, as modificações estruturais e físico-hídricas de um Cambissolo Háptico Tb distrófico com pastagens mono específicas de *Brachiária decumbens*.

### **3.3 Material e Métodos:**

O trabalho foi realizado no município de Nazareno, localizado no sudeste do Brasil, no Estado de Minas Gerais, na unidade geomorfológica da superfície cristalina do Alto Rio Grande. Fazendo parte da mesorregião do campo das vertentes, sua posição geográfica é 21°22' de latitude Sul e 44°61' de longitude Oeste de Greewiche, altitude média de 935m, possuindo uma área de 324 km<sup>2</sup> (IBGE, 2000). O clima é tropical de altitude com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos, Cwa segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia de 18°C a 19°C (ANTUNES et al., 1982). A precipitação pluviométrica anual é de 1.436,7 mm (média de 32 anos), com um período de maior ocorrência das chuvas de novembro a abril (BRASIL, 1983).

O tipo de vegetação dominante é a transição entre Mata Atlântica e o Cerrado tropical subcaducifólio, e os principais solos da sub-bacia Rio Grande são os Cambissolos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos, Neossolos Litólicos e Gleissolos, sendo os solos dominantes derivados de rochas pelíticas pobres, apresentando uma série de atributos favoráveis ao processo erosivo (FERREIRA, 2005a; HORTA, 2006).

As análises foram conduzidas em duas áreas de Cambissolo Háptico Tb distrófico típico originados de diferentes materiais de origem: Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático (Tabelas 3.1 e 3.2) sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, quimicamente pobres, predominantemente álicos e níveis baixos ou muito baixos de P, K, Ca e Mg, e com níveis elevados de degradação (erosão em sulcos e voçorocas).

Tabela 3.1: Valores médios ( $n = 4$ ) de textura fracionada ( $\text{g Kg}^{-1}$ ) em diferentes profundidades de Cambissolo em Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático. Nazareno-MG, 18 de maio de 2007.

Fração <sup>(1)</sup>	Cambissolo Háplico Tb distrófico típico							
	Micaxisto				Gnaisse-Granítico Leucocrático			
	0-10cm	10-20cm	20-40cm	40-60cm	0-10cm	10-20cm	20-40cm	40-60cm
	-----( $\text{g Kg}^{-1}$ )-----				-----( $\text{g Kg}^{-1}$ )-----			
Argila	190	190	200	210	290	280	280	240
AMG <sup>(1)</sup>	20	10	20	20	0	40	0	0
AG	130	140	120	130	30	30	40	30
AM	250	260	280	260	170	160	190	170
AF	220	200	230	220	260	250	230	200
AMF	30	50	40	60	50	60	40	50
Silte	140	120	110	90	220	160	210	290

<sup>(1)</sup>AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa; AM, areia média; AF, areia fina; AMF, areia muito fina.

Tabela 3.2: Características químicas na profundidade de 0-10 cm de Cambissolo em Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático. Nazareno-MG, 03 de abril de 2007.

pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	V
	mg/dm <sup>3</sup>		-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----					%
Gnaisse-Granítico Leucocrático								
5,5	0,9	23	0,7	0,2	0,7	4,5	1,0	17,6
Micaxisto								
5,6	0,6	16	0,8	0,2	0,3	2,9	1,0	26,4

Em 1985, as pastagens dos campos limpos dos gêneros *Paspalum*, *Panicum*, *Eragrostis*, *Setaria*, *Axonopus* e *Aristida*, em Cambissolos com material de origem Gnaisse-Granítico Leucocrático, foram removidas e o solo preparado com arado de disco seguido de grade aradora sendo corrigido com calcário dolomítico antes do plantio de *Brachiaria decumbens*. Depois do plantio, na área não foram realizadas calagem, adubação e introdução de lavoura com o objetivo de recuperar a fertilidade das pastagens por meio da fertilização das culturas anuais, permanecendo o sistema de pastagens extensivas. A declividade média para a área varia de 8 a 10%.

A segunda área em Cambissolo com material de origem Micaxisto, houve substituição das gramíneas *Paspalum*, *Panicum*, *Eragrostis*, *Setaria*, *Axonopus* e *Aristida* por *Brachiaria decumbens*. O solo foi preparado com arado de disco seguido de grade aradora e corrigido com calcário dolomítico, no ano de 1987. Em 1993, foram realizadas calagem, adubação e introdução de uma safra de lavoura de milho. Em seguida, permaneceu o sistema

de pastagem extensiva. A declividade média varia de 9 a 12%. Para este estudo no dia 03 de abril de 2007, coletaram-se amostras em 08 trincheiras localizadas no topo, meia-encosta e baixadas, em morros com conformações semelhantes, sendo 04 trincheiras em Gnaiss-Granítico Leucocrático e 04 em Micaxisto.

A medição da cobertura vegetal foi adaptada da metodologia de Stocking (1994). Foram feitas visadas verticais sobre a superfície amostral, objetivando avaliar a cobertura vegetal sobre o solo, sendo que para a máxima exposição do solo anotou-se o valor zero para o ponto, para a cobertura total atribuiu-se o valor 1, e o valor 0,5 para uma cobertura de grau intermediário. O método consistiu de uma plataforma de madeira com 10 orifícios, os quais possibilitaram leituras verticais para verificação da área visada, a olho nu, através de tubos de 10 mm de diâmetro por 150 mm de comprimento, espaçados de 5 cm (Figura 3.1). Além de medir o grau de cobertura vegetal, verificou-se também seu aspecto qualitativo, classificando-se em: gramínea, leguminosa, planta espontânea, palhada, solo exposto, afloramento rochoso, cupinzeiro ou formigueiro.

Estudos de cobertura em pastagens desenvolvidos por Magalhães et al. (2004) e Albenaz (2005), mostraram estatisticamente semelhante ao método de Stocking (1994) e apresentaram maior rapidez de operacionalização para as mesmas condições de amostragem. Nos quadros de 50 x 50 metros foram amostrados faixas de vinte metros de espaçamento entre elas, sendo 10 faixas totais em 05 quadrados, onde foram efetuadas visadas com 8 repetições por faixa no topo (3 faixas), meia-encosta (3 faixas) e baixada (4 faixas) nas áreas de Gnaiss-Granítico Leucocrático e Micaxisto (Figura 3.2).

A avaliação morfológica dos solos foi feita em 08 trincheiras de 1,00m de profundidade por 1,50m de largura e comprimento, sendo 04 trincheiras na área de Micaxisto e 04 na área de Gnaiss-Granítico Leucocrático. Realizou-se a descrição dos modos de organização dos volumes de solo encontrados no perfil, fazendo-se a diferenciação dos volumes visualmente alterados pelo manejo agrícola daqueles não alterados (TAVARES FILHO et al., 1999). Em cada área e para cada estrutura encontrada no perfil cultural, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, as quais foram utilizadas para as determinações físico-hídricas.

Foram coletadas 32 amostras indeformadas de solo (04 amostras por trincheira) em 03 de abril de 2007, com o auxílio de anéis volumétricos de 5,0 cm de altura por 5,0 cm de diâmetro. Os cilindros foram coletados em um ponto central de cada perfil, para determinação da curva de retenção de água no solo. As amostras foram previamente saturadas

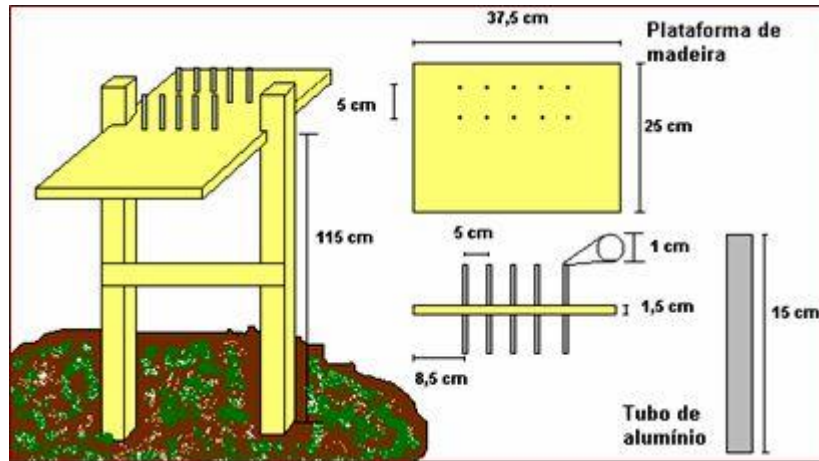


Figura 3.1: Instrumento empregado na avaliação da cobertura de *Brachiaria decumbens* em áreas de Gnaiss-Granítico Leucocrático e Micaxisto (ALBENAZ, 2005).

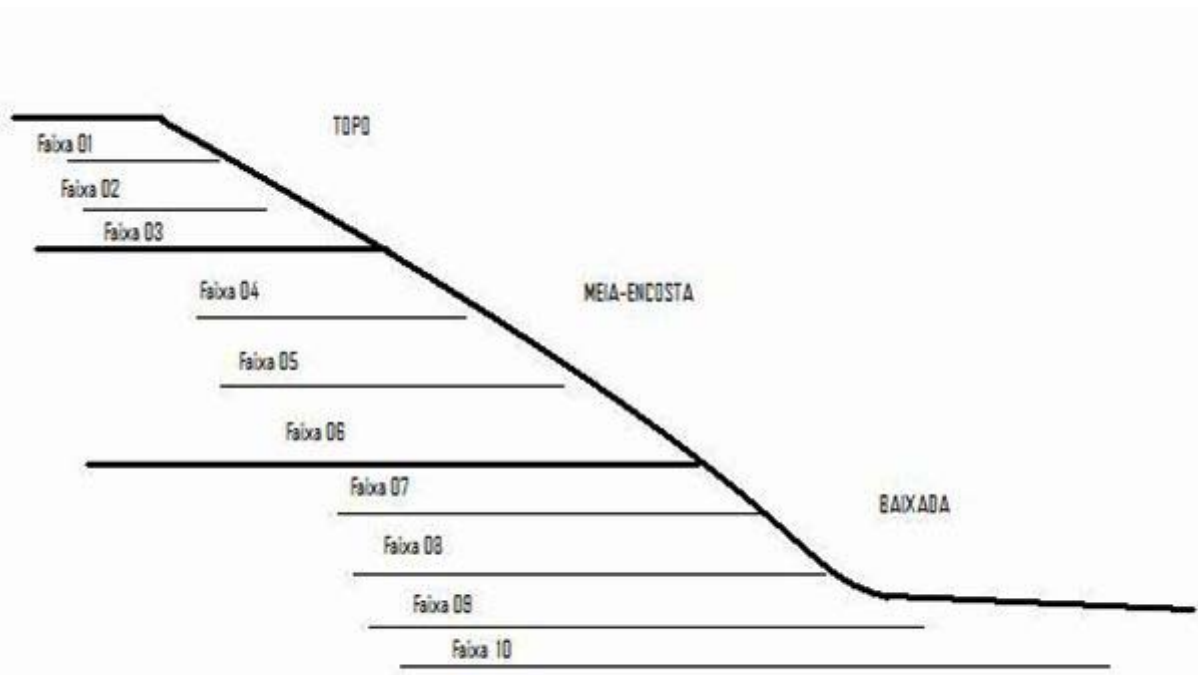


Figura 3.2: Toposequência para avaliação da cobertura de *Brachiaria decumbens* em áreas de Gnaiss-Granítico Leucocrático e Micaxisto. Vertente de 600m em Nazareno-MG, 11 de maio de 2007.

e submetidas ao processo de centrifugação para determinação do conteúdo da água do solo em equilíbrio com as tensões correspondentes a 6, 10, 33, 100, 500, 1.500 KPa no aparelho de Richards (EMBRAPA, 1997). Os valores de potencial mátrico (em módulo) e umidade foram ajustados por meio de equação proposta por Van Genuchten (1980), utilizando o procedimento para regressão não-linear. Para cada volume de solo encontrado no perfil, foi construída uma curva de retenção de água, o que resultou em 32 curvas. Essas curvas foram comparadas entre as estruturas.

A análise estatística seguiu o modelo de delineamento parcelas subdivididas em linha, considerando-se o uso do solo como parcela e as profundidades como sub-parcelas. Os dados foram submetidos a análise de variância e aplicação do teste de Tukey e Skott-Knott, ao nível de 5% de significância, para comparação de médias.

### 3.4 Resultados e Discussão

As pastagens desenvolvidas nos Cambissolos originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático não apresentaram diferença significativa em termos de cobertura vegetal (Tabela 3.3). Na média geral 76,06% e 75,23% do solo apresentava-se recoberto por *Brachiaria decumbens*, além de gramíneas e leguminosas.

Tabela 3.3: Cobertura vegetal de *Brachiaria decumbens*, em pastagens extensivas da região de Nazareno (MG), em Cambissolos desenvolvidos a partir de diferentes materiais de origem (11 de maio de 2007).

Micaxisto		Gnaisse	
Horizonte	Cobertura Total (%)	Horizonte	Cobertura Total (%)
Topo	64,99 a*	Topo	61,06 a
Meia-encosta	89,28 b	Meia-encosta	79,91 b
Baixada	74,43 c	Baixada	82,33 b
Média	76,06	Média	75,23

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott, no nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 3.4 apresenta os resultados de avaliação qualitativa da cobertura do solo em relação aos diferentes materiais de origem tanto nos aspectos da mudança ocorrida na composição botânica, sendo substituída gradualmente por outras mais resistentes às

condições adversas do meio e, por isso, mais agressivas, até chegar à condição de predomínio de plantas consideradas invasoras.

Verifica-se que as características qualitativas da cobertura do Cambissolo em pastagens extensivas de *Brachiaria decumbens* sob Micaxisto e sob Gnaisse-Granítico Leucocrático possuem percentuais de 65,5% e 64,2% de gramíneas. Tais áreas têm em comum baixas proporções de leguminosas e plantas espontâneas. Observa-se com estes dados que a baixa cobertura do solo denota ausência proporcional de espécies em geral, e não apenas de gramíneas. A baixa proporção de palhada em Gnaisse-Granítico Leucocrático em relação ao Micaxisto demonstra que as gramíneas tem sido pastejadas antes da sua senescência, o que não permite seu acúmulo sobre o solo, constituindo-se num sinal de superpastejo e, provavelmente, do processo de degradação da área.

Na Tabela 3.4 a área de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta maior média de cupinzeiros e formigueiros em relação à área de Micaxisto. Verifica-se que estas duas espécies interferem na disponibilidade de forragem para o rebanho, já que existe uma maior correlação com o decréscimo de gramíneas na área de Gnaisse-Granítico Leucocrático, embora outros fatores possam também ter grande influência, como é o caso do superpastejo, uma vez que mesmo na ausência de cupinzeiros e formigueiros ocorrem áreas de solo descoberto.

Tabela 3.4. Características qualitativas da cobertura, formigueiros e cupinzeiros do Cambissolo em pastagens extensivas de *Brachiaria decumbens* sob diferentes materiais de origem na região de Nazareno- MG (11 de maio de 2007).

Horizonte	Micaxisto						
	Gramíneas %	Leguminosas %	Espontâneas %	Palhada %	Cupinzeiros %	Formigueiros %	
Topo	66,6a*	0,1a	10,2a	2,0b	0,0a	0,2a	
Meia-encosta	56,7b	1,2a	1,5b	3,7b	0,0a	0,1a	
Baixada	71,3a	0,6a	5,9a	6,0a	0,0a	0,2a	
Média	64,9	0,6	5,9	3,9	0,0	0,2	
	Gnaisse- Granítico Leucocrático						
	Topo	54,9b	1,0a	7,8a	1,1a	0,2a	0,4a
	Meia-encosta	68,2a	0,3b	2,3b	1,9a	0,4a	0,9b
	Baixada	68,1a	1,2a	8,6a	1,5a	0,4a	1,0b
	Média	63,7	0,8	6,2	1,5	0,3	0,8

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott, no nível de 5% de probabilidade.

A presença de cupinzeiros, no entanto, por si só, parece não afetar a proporção de forrageiras, uma vez que, mesmo em áreas de incidência dos montículos, como na área de Micaxisto, ocorre boa cobertura com gramíneas. Esta incerteza quanto aos danos provocados por cupins de montículo em pastagens também é abordada por Gallo et al. (1988), que afirma ser difícil determinar a extensão dos prejuízos por eles causados, uma vez que os principais parâmetros de avaliação tem sido a área ocupada por seus ninhos e os danos que estes ocasionam em moirões de cerca, cochos e outros artefatos de madeira ali presentes. Segundo Valério (1995), é questionável a redução de área útil das pastagens, como possível dano indireto atribuído aos cupins que formam montículos. Esse autor menciona que, em levantamentos realizados no Estado do Mato Grosso do Sul, a área média de cada cupinzeiro foi inferior a  $0,5\text{m}^2$ , sendo importante a necessidade de se conhecer melhor o papel exercido nas pastagens por muitas espécies de cupins de montículo, uma vez que não se tem verificado danos causados por esses insetos. Cosenza e Carvalho (1974) concluíram que a eliminação do cupim de montículo não alterou a produção de matéria seca, nem a qualidade da pastagem, tampouco a cobertura vegetal. Esses autores também argumentaram que esses cupins poderiam até ser benéficos, sob o ponto de vista da fertilidade do solo. Essa observação foi feita também por Fernandes et al. (1998) e Czepak et al. (2003).

Em relação ao perfil cultural (TAVARES FILHO et al., 1999), analisou-se a organização do cambissolo em topossequência sobre Micaxisto e Gnaisse Granítico Leucocrático. Em relação aos solos com pastagem (Figuras 3.3 e 3.4), observou-se:

- nos perfis de solo analisados sob pastagens de *Brachiaria decumbens* em Micaxisto como material de origem (Figura 3.3), observou-se um volume de solo solto (0 – 15 cm), formado por torrões compactos, blocos angulares, pouca porosidade visível a olho nú, presença de matéria orgânica, pouca atividade biológica. A partir de 15 cm, estrutura mais agregada, ausência de fragmentos e presença de atividade biológica;

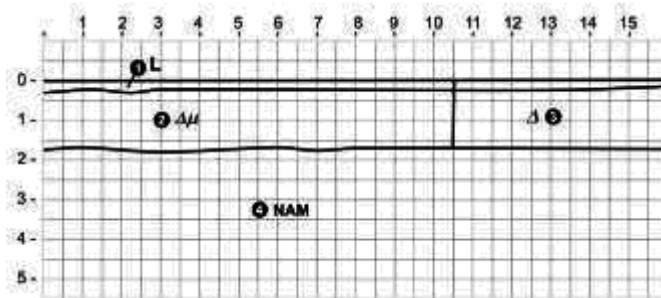


Figura 3.3: Perfil cultural representativo de 04 trincheiras sobre pastagens de *Brachiaria decumbens* em Micaxisto: L-volume de solo livre, solto;  $\Delta\mu$ -agregados bem compactos;  $\Delta$ -torrões compactados; NAM-volume de solo visualmente não alterado pelo manejo. Nazareno-MG, 03 de abril de 2007.

- nos perfis de solo analisados sob pastagem de *Brachiaria decumbens* em Gnaisse-Granítico Leucocrático como material de origem (Figura 3.4), observou-se, entre 0 – 20 cm, camada compactada, formada por torrões em blocos angulares, pouca porosidade visível a olho nú, poucas raízes, com orientação horizontal e distribuição preferencialmente superficial. A partir de 15 cm a estrutura continua compacta, porém apresenta fissuras, o que facilita a passagem de raízes e a drenagem da água. Em todo perfil foi observado pouca atividade biológica.

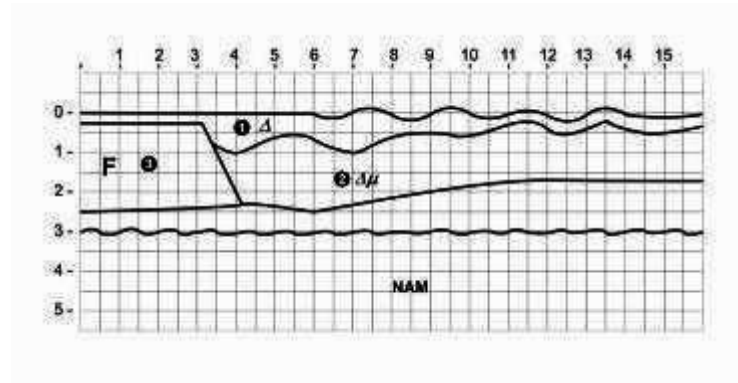


Figura 3.4: Perfil cultural representativo de 04 trincheiras sobre pastagens de *Brachiaria decumbens* em Gnaisse-Granítico Leucocrático: F-volume de solo fissurado;  $\Delta\mu$ -agregados bem compactos;  $\Delta$ -torrões compactados; NAM-volume de solo visualmente não alterado pelo manejo. Nazareno-MG, 03 de abril de 2007.

Esses resultados vão ao encontro aos apresentados por Müller et al. (2001) e mostram que o estudo do perfil cultural dos diferentes solos, permitiu verificar que esse solo, uma vez incorporado ao processo produtivo sofreu modificações morfológicas, principalmente na camada superficial (0 – 15 cm), com indícios de fortes modificações físicas, o que, se confirmado pelas análises de laboratório, favorecem sobremaneira os processos erosivos (erosão em sulcos e mesmo voçorocas) que são visíveis na área de estudo.

Na Figura 3.5 é possível observar o comportamento diferenciado entre as estruturas das áreas experimentais de Micaxisto e Gnaisse Granítico Leucocrático, quanto à retenção de água. Nos volumes F,  $\Delta\mu$ ,  $\Delta$ , as curvas têm maior declividade em relação aos outros horizontes, o que significa queda mais acentuada no teor de água com o aumento da tensão aplicada. As curvas dos horizontes L e NAM são mais suaves, denotando redução gradual da umidade com o aumento da tensão. Essas diferenças exercem grande influência no comportamento hídrico do solo e estão associadas à distribuição do tamanho das partículas do solo e à estrutura de cada volume.

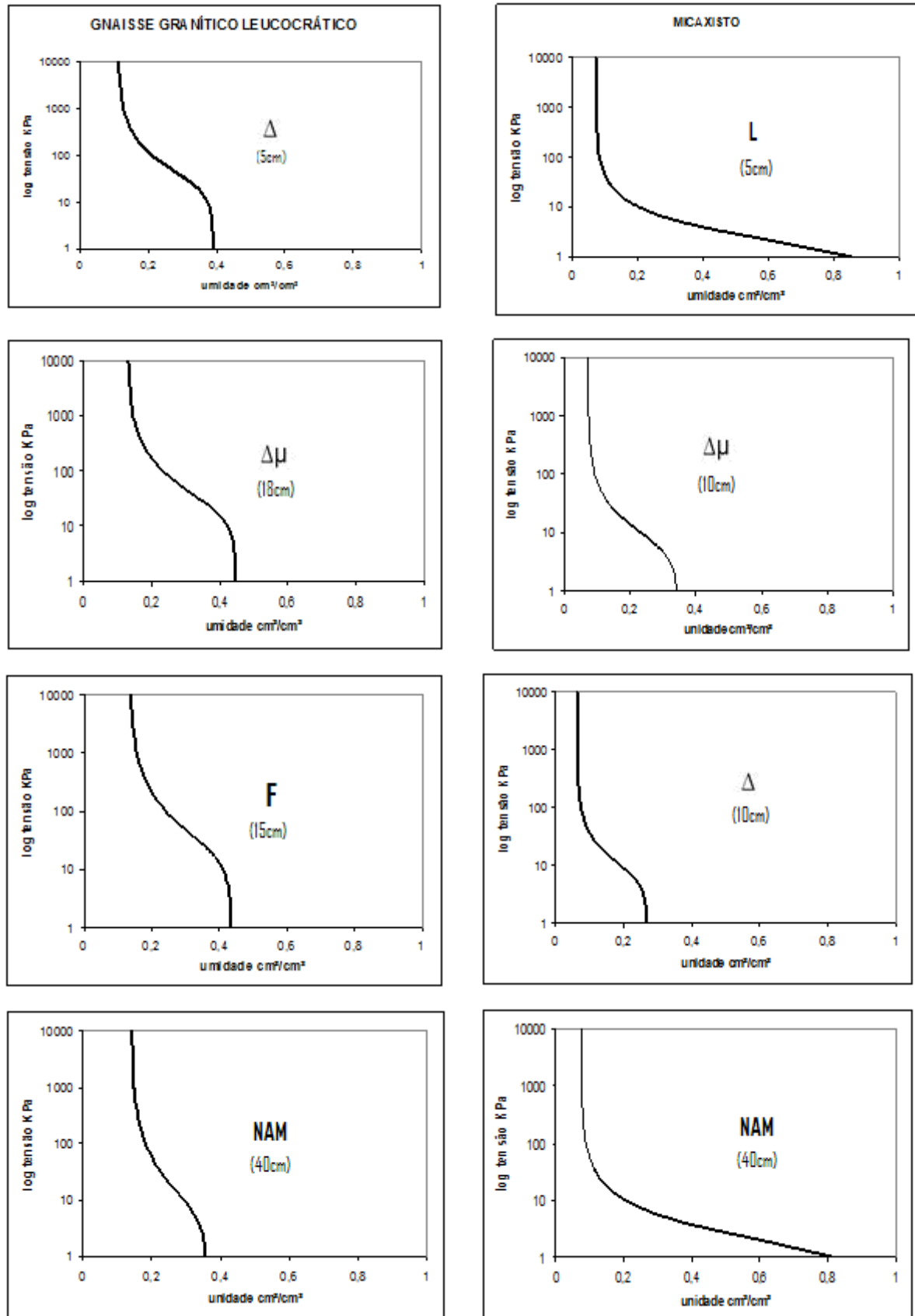
Muitos fatores interferem na capacidade de retenção de água de um solo. Reichardt (1990) considera como o principal delas o tipo de solo, pois este define a área de contato entre as partículas sólidas e a água que determina nas proporções de poros de

diferentes tamanhos. Outros fatores são a estrutura (determinando o arranjo das partículas e, por conseqüência, a distribuição dos poros) e a composição mineralógica do solo. Alguns argilo-minerais têm ótimas propriedades de retenção de água, como as montmorilonitas, vermiculitas, ilitas, ao contrário da caulinita e gibsitita. Em solos intensamente cultivados pelos preparos convencionais, o surgimento de camadas compactadas, com redução do volume de macroporos e aumento de microporos, determina uma diminuição do volume de poros ocupados pelo ar, e um aumento na retenção de água (BERTOL et al., 2001). Em decorrência disso, observa-se uma diminuição da taxa de infiltração de água no solo, com conseqüente aumento das taxas de escoamento superficial e de erosão hídrica (BERTOL et al., 1997; SCHICK et al., 2000).

Na faixa de umidade do solo correspondente às tensões entre -6 a -100 KPa, nota-se um deslocamento para cima das curvas de umidade do solo, tanto na área em Micaxisto, quanto em Gnaisse-Granítico Leucocrático. Isto indica maior retenção de água pelo solo nesta faixa de tensão (RESENDE et al., 1996). A área em Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta maiores valores de umidade nesta faixa de tensão em relação a área em Micaxisto, no qual dificulta a drenagem da água no perfil do solo, fazendo com que ocorra um rápido encharcamento da superfície e subseqüente aumento do escoamento superficial com maior exposição aos processos de erosão.

Em solos altamente intemperizados, a água disponível para as plantas em geral está retida na faixa de tensões de 0 a -100 Kpa (SANTOS, 1997). Porém, entre 0 e -6 KPa (macroporos), a condutividade hidráulica é alta, sendo parte considerável de água drenada em pouco tempo, o que justifica o cálculo de disponibilidade de água para as plantas, em Latossolos da região dos Cerrados, com base na água retida sob tensões entre -6 a -100 KPa, em concordância com Resck (1993) e Oliveira et al. (2004).

Considerando a tensão de -6KPa como o limite ente macroporos e microporos (retenção de água) (FERREIRA et al., 1999; OLIVEIRA et al. 2004), observa-se pela análise da Figura 3.5, que a área em Gnaisse-Granítico Leucocrático teve redução na macroporosidade nos horizontes F,  $\Delta\mu$ ,  $\Delta$  e no tratamento em Micaxisto nos horizontes  $\Delta\mu$ ,  $\Delta$ . No tratamento em Gnaisse-Granítico Leucocrático houve redução da macroporosidade em superfície e profundidade, no qual dificulta a drenagem da água no perfil do solo, fazendo que



L-volume de solo livre, solto; F-volume de solo fissurado;  $\Delta\mu$ - agregados bem compactos;  $\Delta$ - torrões compactados; NAM- volume de solo visualmente não alterado pelo manejo.

Figura 3.5: Valores médios ( $n = 4$ ) das curvas de retenção de água, por estrutura, nas áreas experimentais de Micaxisto e Gnaiss Granítico Leucocrático. Nazareno-MG, 03 de abril de 2007.

ocorra um rápido encharcamento da superfície e subsequente aumento do escoamento superficial, com maior exposição aos processos de erosão.

A isto se acrescenta o fato das áreas com esse tipo de solo e manejo estarem situadas em topografia movimentada (declives entre 8 – 12%) e apresentarem um fluxo de águas direcionado para dentro de ravinas, que vão se aprofundando à medida que vão perdendo a proteção de raízes da vegetação, até se transformarem em voçorocas.

### 3.5 Conclusões:

1. Os Cambissolos originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático não apresentaram diferença de cobertura vegetal, baixas proporções de leguminosas e plantas espontâneas. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático em relação a área de Micaxisto apresenta baixa proporção de palhada ao qual resulta um sinal de superpastejo.
2. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta maior média de cupinzeiros e formigueiros em relação à área de Micaxisto.
3. Os Cambissolos com pastagens extensivas de *Brachiaria decumbens* originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático tiveram modificações morfológicas nas camadas de 0-20cm com modificações físicas confirmadas pelas curvas de retenção de água. Os volumes,  $F$ ,  $\Delta\mu$  e  $\Delta$  as curvas têm maior declividade com queda mais acentuada no teor de água com o aumento da tensão aplicada.
4. Considerando a tensão de -6KPa como o limite entre macroporos e microporos (retenção de água) observa-se que o tratamento em Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta redução da macroporosidade em superfície e profundidade, o qual dificulta a drenagem da água no perfil do solo, fazendo que ocorra um rápido encharcamento da superfície e subsequente aumento do escoamento superficial com maior exposição aos processos de erosão.
5. A curva de retenção de água no volume NAM da área de Granito-Gnaisse Leucocrático tem maior declividade em relação à curva da área de Micaxisto no volume NAM devido a maior proporção de caulinita no horizonte C, apresentando maior quantidade de microporos.

## **4. ARTIGO B: QUALIDADE FÍSICA DE CAMBISSOLO SOB PASTAGEM EXTENSIVA.**

### **4.1 Resumo**

O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito de pastagem extensiva com *Brachiaria decumbens* sobre a qualidade física de dois Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático. As amostras de solo foram coletadas em 08 trincheiras totais localizadas no topo, meia-encosta e baixadas em topossequências nas camadas 0-10, 10-20, 20-40, 40-60cm. Os sistemas de pastagens extensivas em Cambissolos com diferentes materiais de origem provocam alteração na qualidade físico-hídrica do solo na profundidade de 0-10 cm. A área de Micaxisto apresenta textura arenosa nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e textura média nas camadas de 20-40 cm e 40-60 cm sendo indicativo de processos erosivos e migração da argila para as camadas mais profundas. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta textura média em todas as profundidades, maiores teores de silte e areia fina, maior densidade nas camadas de 0-10 e 40-60 cm, baixa macroporosidade em todas as profundidades sendo mais susceptível à erosão em relação à área de Micaxisto. Não há diferença no teor de matéria orgânica nas áreas de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático. Dessa forma, a presença de carbono orgânico poderia melhorar a estruturação do solo e por consequência a drenagem das duas áreas. Para as condições de realização deste trabalho, os atributos físicos estudados apresentaram bom desempenho como indicadores da qualidade do solo.

**Palavras- chave:** Textura, densidade do solo, porosidade, matéria orgânica.

## **4. ARTICLE B: PHYSICAL QUALITY OF INCEPTSOL UNDER EXTENSIVE PASTURE.**

### **4.1 Abstract**

The objective of this work was to analyze the effect of extensive pasture with *Brachiaria decumbens* on the physical quality of two typical Dystrophic Haplic Cambisol (inceptisol), originating from Micaschist and Leucocratic Granite Gneiss. The soil samples were collected in 08 total trenches located at the top, stocking lean and slopes in toposequences in the 0-10, 10-20, 20-40, 40-60cm layers. The extensive pasture systems in Inceptisols with different origin materials provoke alterations in the physical-hydric quality of the soil at the depth of 0-10 cm. The Micaschist area presents sandy texture in the 0-10 and 10-20 cm layers and medium texture in the 20-40 cm and 40-60 cm layers, being indicative of erosive processes and migration of the clay to the deepest layers. The Leucocratic Granite Gneiss area presents medium texture at all depths, higher silt levels and fine sand, higher density in the 0-10 and 40-60 cm layers, low macroporosity at all depths, being more susceptible to erosion in relation to the Micaschist area. There is no difference in the organic matter level in the areas of Micaschist and Leucocratic Granite Gneiss. Therefore, the presence of organic carbon could improve the structuring of the soil, and as a consequence, the drainage of the two areas. For the conditions under which this work was conducted, the studied physical attributes presented good performance as soil quality indicators.

**Keywords:** Texture, soil density, porosity, organic matter.

## 4.2 Introdução

No Cerrado Brasileiro, dos 204 milhões de hectares estima-se que aproximadamente 50 milhões são ocupados por pastagens cultivadas (MARCHÃO et al. 2007) e, estima-se atualmente, que entre 70 e 80% dessas pastagens encontram-se em algum estágio de degradação.

Os Cambissolos e Neossolos Litólicos ocupam cerca de 10% do Cerrado, mas apresentam sérios problemas ocasionados por escoamento superficial que comprometem a qualidade da água subsuperficial (MACEDO, 1996). Sabe-se que a degradação física do solo acarreta perda de qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica e, algumas práticas de manejo do solo e das culturas provocam alterações na sua estrutura que podem ser permanentes ou temporárias (BERTOL et al., 2001). No caso das pastagens com manejo inadequado, existe uma tendência de perda da estrutura original dos solos e observa-se redução de macroporos, aumento no volume de microporos e na densidade do solo o que determina diminuição do volume de poros ocupados pelo ar e aumento na retenção de água pelo solo (BALBINO et al., 2004).

Sabe-se que a textura e a matéria orgânica interferem diretamente na capacidade de retenção de água pelo solo, como mostrado por Centurion e Androli (2000), Fabian e Ottoni Filho (2000), Mello et al. (2002) os quais concluíram que existe correlação positiva dos mesmos com a retenção de água do solo e, além disso, relatam a importância da estrutura do solo neste contexto. Normalmente solos de textura média apresentam maiores teores de água disponível, devido a maior porcentagem de material coloidal, maior espaço poroso e maior superfície de adsorção do que os solos de textura mais grossa (TEIXEIRA et al. 2006). Em relação à matéria orgânica, Neves et al. (2006) relatam que seu teor tem efeito direto na manutenção da estrutura do solo, no qual é um dos parâmetros que podem ser utilizados para medir a qualidade do solo, pois facilita a aeração, infiltração de água em consequência reduz a erodibilidade.

Em diferentes regiões do mundo, existe um consenso de que períodos de utilização de pastagens perenes, gramíneas e ou leguminosas condicionam melhoria na qualidade do solo e na produtividade da lavoura subsequente (GARCIA-PRÉCHAC et al., 2004). No Cerrado Brasileiro ocorrem períodos de deficiência hídrica prolongados, contribuindo para uma menor cobertura vegetal ao Cambissolo agravado pelas limitações físico-hídricas o que vem comprometendo a sustentabilidade deste ecossistema. A cobertura e a rugosidade superficiais são responsáveis pela retenção e armazenamento de água e dos

sedimentos da erosão na superfície do solo (KAMPHORST et al 2000, BERTOL et al., 2006b). A água retida e armazenada na superfície do solo tem mais tempo para infiltrar no solo, razão por que aumenta a sua porção infiltrada e diminui o escoamento superficial (SCHWAB et al. 1993).

Estudos sobre a utilização de sistemas agropastoris e seu impacto sobre os atributos físico-hídricos em Cambissolos na região do cerrado carecem de mais informações. O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito de pastagem extensiva com *Brachiaria decumbens* sobre a qualidade física de dois Cambissolos Háplicos Tb distrófico típico, originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático.

### 4.3 Material e Métodos

O trabalho foi realizado no município de Nazareno, localizado no sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais, na unidade geomorfológica da superfície cristalina do Alto Rio Grande. Fazendo parte da mesorregião do campo das vertentes, sua posição geográfica é 21°22' de latitude sul e 44°61' de longitude oeste de Greenwich, altitude média de 935m e possui uma área de 324km<sup>2</sup> (IBGE, 2000). Possui clima tropical de altitude com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos, Cwa segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia de 18°C a 19°C (ANTUNES et al., 1982). A precipitação pluviométrica anual é de 1.436,7 mm (média de 32 anos), com um período de maior ocorrência das chuvas de novembro a abril (BRASIL, 1983).

O tipo de vegetação dominante é a transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado tropical subcaducifólio e os principais solos da sub-bacia Rio Grande são os Cambissolos, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Neossolos Litólicos e Gleissolos, sendo os solos dominantes derivados de rochas pelíticas pobres, apresentando uma série de atributos de solos favoráveis ao processo erosivo (FERREIRA, 2005a; HORTA, 2006).

Os experimentos foram conduzidos em duas áreas de Cambissolo Háplico Tb distrófico típico originados de diferentes materiais de origem: Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático (tabela 4.1) sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, quimicamente pobres, predominantemente álicos com elevada toxidez de Al<sup>3+</sup> e níveis baixos ou muito baixos de P, K, Ca e Mg, e com níveis elevados de degradação (erosão em sulcos e voçorocas).

Tabela 4.1: Características químicas na profundidade de 0-10 cm de Cambissolo em Micaxisto e Gnaiss-Granítico Leucocrático. Nazareno-MG, 03 de abril de 2007.

pH (H <sub>2</sub> O)	P mg/dm <sup>3</sup>	K	Ca <sup>2+</sup> -----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	V %
Gnaiss-Granítico Leucocrático								
5,5	0,9	23	0,7	0,2	0,7	4,5	1,0	17,6
Micaxisto								
5,6	0,6	16	0,8	0,2	0,3	2,9	1,0	26,4

Em 1985, as pastagens dos campos limpos dos gêneros *Paspalum*, *Panicum*, *Eragrostis*, *Setaria*, *Axonopus* e *Aristida*, em Cambissolos com material de origem Gnaiss-Granítico Leucocrático, foram removidas e o solo preparado com arado de disco seguido de grade aradora sendo corrigido com calcário dolomítico antes do plantio de *Brachiaria decumbens*. Depois disso, na área não foram realizadas calagem, adubação e introdução de lavoura com o objetivo de recuperar a fertilidade das pastagens por meio da fertilização das culturas anuais, permanecendo o sistema de pastagens extensivas. A declividade média para a área varia de 8 a 10%.

A segunda área em Cambissolo com material de origem Micaxisto, houve substituição das gramíneas *Paspalum*, *Panicum*, *Eragrostis*, *Setaria*, *Axonopus* e *Aristida* por *Brachiaria decumbens*. O solo foi preparado com arado de disco seguido de grade aradora e corrigido com calcário dolomítico, no ano de 1987. Em 1993, foram realizadas calagem, adubação e introdução de lavoura de milho. Em seguida, permaneceu o sistema de pastagem extensiva. A declividade média varia de 9 a 12%. Para este estudo, coletaram-se amostras em 08 trincheiras localizadas no topo, meia-encosta e baixadas, em morros com conformações semelhantes, sendo 04 trincheiras em Gnaiss-Granítico Leucocrático e 04 em Micaxisto.

Foram coletadas 32 amostras indeformadas de solo, em 18 de maio de 2007, de 08 trincheiras nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm, sendo 04 trincheiras em Micaxisto e 04 em Gnaiss-Granítico Leucocrático, com o auxílio de anéis volumétricos de 5,0 cm de altura por 5,0 cm de diâmetro. Os cilindros foram coletados em um ponto central da parcela, em trincheiras de 1,5 x 1,5 x 1,0 m para determinação da densidade do solo.

As análises de textura e matéria orgânica foram feitas de acordo com EMBRAPA (1997). Para determinação de macro e microporosidade foram coletadas amostras com estrutura indeformadas que foram colocadas na unidade de sucção e submetidas à tensão de -0,006MPa, conforme Grohmann (1960).

A análise estatística seguiu o modelo de delineamento parcelas subdivididas em linha, considerando-se o uso do solo como parcela e as profundidades como subparcelas. Os dados foram submetidos a análise de variância e aplicação do teste de Tukey e Skott-Knott, ao nível de 5% de significância, para comparação de médias.

#### **4.4 Resultados e Discussão**

Os resultados da distribuição do tamanho de partículas apresentados na área de Micaxisto (tabela 4.2), mostram que houve redução de 8,5% dos teores de silte, aumento de 4% dos teores de areia e constância nos teores de argila entre as camadas 0-10 e 10-20 cm. Nas camadas mais profundas, há um aumento de 8% dos teores de argila, os quais se atribuem à migração desta da camada superficial para a subjacente, diminuição de 25% dos teores de silte e praticamente constantes os teores de areia. Na área de Gnaisse Granítico Leucocrático, houve redução de 27% dos teores de silte e praticamente constantes os teores de areia e argila nas camadas 0-20 cm. Nas camadas profundas há um aumento de 81% dos teores de silte e diminuição de 17% dos teores de argila e praticamente constante os teores de areia, tornando-se mais susceptível aos processos erosivos em relação as áreas de Micaxisto.

Quanto ao fracionamento da areia, verifica-se na tabela 4.2, a predominância das frações areia fina e areia média com diâmetros entre 0,5 a 0,1mm, em todo o perfil do solo. Na área de Micaxisto, em todo o perfil do solo predomina a areia média com diâmetro entre 0,5 a 0,25mm, enquanto na área de Gnaisse Granítico Leucocrático predomina a fração areia fina (0,25 a 0,1mm). É possível, no entanto, que parte da areia muito fina possa estar incluída no percentual de silte. Souza (1997) ressalta que o predomínio das frações mais finas na areia total (frações com diâmetro médio entre 0,5 e 0,1mm) associado à densidade elevada do solo, baixa macroporosidade e alto grau de argila dispersa em água, são fatores que contribuem para aumentar a susceptibilidade dos solos à erosão.

Os sistemas de pastagens extensivas em Cambissolo Háplico Tb distrófico típico do cerrado, originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático, apresentaram diferença de densidade do solo (Tabela 4.3). O sistema originado de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresentou maiores valores para densidade do solo em comparação ao sistema originado de Micaxisto nas camadas de 0-10 e 40-60 cm. Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm não houve diferença significativa entre os sistemas Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático, mas no tratamento Micaxisto ocorreu acréscimo (valores absolutos) de densidade nessas camadas, e no Gnaisse-Granítico Leucocrático houve decréscimo.

Tabela 4.2: Valores médios ( $n = 4$ ) de textura fracionada ( $\text{g Kg}^{-1}$ ) em diferentes profundidades de Cambissolo em Micaxisto e Gnaisse- Granítico Leucocrático. Nazareno-MG, 18 de maio de 2007.

Fração <sup>(1)</sup>	Cambissolo Háplico Tb distrófico típico							
	Micaxisto				Gnaisse-Granítico Leucocrático			
	0-10cm	10-20cm	20-40cm	40-60cm	0-10cm	10-20cm	20-40cm	40-60cm
	-----( $\text{g Kg}^{-1}$ )-----				-----( $\text{g Kg}^{-1}$ )-----			
Argila	190	190	200	210	290	280	280	240
AMG <sup>(1)</sup>	20	10	20	20	0	40	0	0
AG	130	140	120	130	30	30	40	30
AM	250	260	280	260	170	160	190	170
AF	220	200	230	220	260	250	230	200
AMF	30	50	40	60	50	60	40	50
Silte	140	120	110	90	220	160	210	290

<sup>(1)</sup>AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa; AM, areia média; AF, areia fina; AMF, areia muito fina.

Tabela 4.3: Propriedades físicas e matéria orgânica, em quatro profundidades, de Cambissolos sob pastagem originados de diferentes materiais de origem (<sup>1</sup>). Nazareno-MG, 18 de maio de 2007.

Camada (cm)	Densidade do Solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ )		Matéria Orgânica ( $\text{dag kg}^{-1}$ )		Porosidade do Solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )			
	Micaxisto	Gnaisse	Micaxisto	Gnaisse	Macroporosidade		Microporosidade	
					Micaxisto	Gnaisse	Micaxisto	Gnaisse
0-10	1,35Bb <sup>2</sup>	1,45Aa	1,87Aa	1,55Aa	29,70Aa	5,55Bb	19,32Ab	38,17Aa
10-20	1,40Aa	1,40Aa	1,42Aa	1,37Aa	24,92Aa	7,22Bb	21,25Ab	38,32Aa
20-40	1,42Aa	1,37Aa	1,12Aa	1,25Aa	24,72Aa	17,87Aa	20,72Ab	36,30Aa
40-60	1,35Bb	1,45Aa	1,00Aa	0,62Aa	27,70Aa	6,02Bb	20,32Ab	37,67Aa

<sup>1</sup>Os resultados são médias das amostras correspondentes às quatro trincheiras abertas em cada área.

<sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Segundo Mello et al. (2007) e Gomes (2005) em estudos na região da Bacia Alto Rio Grande-MG, valores da ordem  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$  podem significar algum processo de compactação na camada superficial do solo causada por excesso de pastejo. Considerando que a densidade do solo tem sido um dos atributos usados para avaliação do estado estrutural do solo, as condições verificadas nos sistemas de pastagens extensivas podem estar indicando uma tendência de aparecimento de compactação na superfície de solo.

Segundo Albuquerque et al. (2001), em sistema lavoura-pecuária, as presenças de raízes de gramíneas melhoram a estrutura do solo, amenizando o impacto do pisoteio. No entanto, no material de origem Gnaisse-Granítico Leucocrático, o maior valor para a densidade do solo na camada superficial (Tabela 4.3), pode ser atribuído principalmente ao efeito do pisoteio animal que reduz o espaço poroso do solo em função do arrançamento das partículas primárias (argila, silte e areia), quando o solo é submetido a um esforço e/ou de pressão.

Segundo Oliveira (1993), o aumento da densidade do solo creditado ao tempo de pastejo também é devido à degradação da própria pastagem, visto que o processo de compactação também é intensificado pela redução dos agentes de estrutura, tais como matéria orgânica, redução da atividade de alguns microrganismos, exsudados de plantas, que estão diretamente relacionados com a produção da parte aérea, da quantidade de raízes e do grau de cobertura do solo. Além disso, o desenvolvimento de plantas com base apenas em valores de densidade do solo, não pode ser definido em termos de limites críticos e mostra exemplos contrastantes de densidade do solo e desenvolvimento de raízes de plantas em Cambissolos da região de Campos da Mantiqueira-MG, salientando que outros fatores, tais como macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica podem também afetar o desenvolvimento de raízes.

Observa-se que não houve diferença significativa no teor de matéria orgânica em Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático (Tabela 4.3). Os maiores valores do teor de matéria orgânica são observados nos tratamentos de Micaxisto nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm e Gnaisse-Granítico Leucocrático, em seguida há decréscimo nas camadas 20-40 e 40-60 cm. Ao comparar a matéria orgânica entre os sistemas de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático, o sistema Micaxisto apresenta maiores valores nas camadas 0-10, 10-20 e 40-60cm.

Nas camadas de 0-10, 10-20 e 40-60 cm nos tratamentos em Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático há diferença significativa no nível de 5% de macroporosidade (Tabela 4.3). Os maiores valores são observados nos tratamentos em Micaxisto e os menores em gnaisse-granítico nas profundidades de 0-10, 10-20 e 40-60 cm. O pisoteio de animais, embora ocorridos em momentos distintos, podem ter contribuído para a redução de macroporosidade na camada de 0-10 cm, independente do teor de matéria orgânica e colonização do perfil do solo pelo sistema radicular da forrageira existente e manejo aplicado ao solo. Ao comparar entre os sistemas de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático, o sistema Micaxisto apresenta maiores valores de macroporosidade em todas as profundidades.

Nos resultados da microporosidade, há diferença significativa no nível de 5% entre os sistemas Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático em todas as profundidades (Tabela 4.3). Os maiores valores são observados nos tratamentos em Gnaisse-Granítico Leucocrático quando comparados ao Micaxisto. O sistema Micaxisto tem o menor valor de microporosidade na camada 0-10cm e maior valor na camada 10-20cm. Já o sistema Gnaisse-Granítico Leucocrático tem o menor valor na camada de 20-40 cm e maior valor também na camada 10-20 cm.

Foram observadas diferenças de porosidade do solo entre profundidades de amostragem (Tabela 4.3). Isso indica que a porosidade do solo é susceptível a mudanças impostas pelo manejo do solo, fato também constatado por Albuquerque et al. (2001), Bertol et al. (2001), Marchão et al. (2007), Mello et al. (2002), Oliveira et al. (2004), Spera et al. (2004a). Mallik et al. (1984) observaram que a redução da capacidade de retenção de água pelo solo pode ser atribuída à diminuição na microporosidade, atributo esse que pode variar conforme as alterações na densidade do solo (ARCHER; SMITH, 1972). Em solos intensamente cultivados pelos preparos convencionais, o surgimento de camadas compactadas, com redução do volume de macroporos e aumento de microporos, determina uma diminuição do volume de poros ocupados pelo ar, e um aumento na retenção de água (BERTOL et al., 2001). Em decorrência disso, observa-se uma diminuição da taxa de infiltração de água no solo, com conseqüente aumento das taxas de escoamento superficial e de erosão hídrica (BERTOL et al., 1997; SCHICK et al., 2000).

No tratamento em Gnaisse-Granítico Leucocrático, as camadas de 0-10, 10-20 e 40-60 cm houve redução da macroporosidade em superfície e profundidade, no qual dificulta a drenagem da água no perfil do solo, fazendo que ocorra um rápido encharcamento da superfície e subsequente o aumento do escoamento superficial com maior exposição aos processos de erosão. A isto se acrescenta o fato das áreas com esse tipo de solo e manejo estarem situadas em topografia movimentada (declives entre 8 – 12%) e apresentarem um fluxo de águas direcionado para dentro de ravinas, que vão se aprofundando à medida que vão perdendo a proteção de raízes da vegetação, até se transformarem em voçorocas.

Além disso, sabe-se também que os Cambissolos apresentam susceptibilidade ao encrostamento, devido aos elevados teores de silte + areia fina (Tabela 4.2), reduzindo muito a infiltração de água, elevando significativamente o deflúvio superficial e diminuindo a sua resistência à erosão hídrica (FERREIRA, 2005b).

#### **4.5 Conclusões.**

1. Os sistemas de pastagens extensivas em Cambissolos com diferentes materiais de origem provocam alteração na qualidade físico-hídrica do solo na profundidade de 0-10 cm.
2. A área de Micaxisto apresenta textura arenosa nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e textura média nas camadas de 20-40 cm e 40-60 cm sendo indicativo de processos erosivos e migração da argila para as camadas mais profundas. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta textura média em todas as profundidades, maiores teores de silte e areia fina, maior densidade nas camadas de 0-10 e 40-60 cm, baixa macroporosidade em todas as profundidades sendo mais susceptível à erosão em relação à área de Micaxisto.
3. Não há diferença no teor de matéria orgânica nas áreas de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático. Dessa forma, a presença de carbono orgânico poderia melhorar a estruturação do solo e por consequência a drenagem das duas áreas.
4. Para as condições de realização deste trabalho, os atributos físicos estudados apresentaram bom desempenho como indicadores da qualidade do solo.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

1. Os Cambissolos originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático não apresentaram diferença de cobertura vegetal, baixas proporções de leguminosas e plantas espontâneas. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático em relação à área de Micaxisto apresenta baixa proporção de palhada ao qual resulta um sinal de superpastejo.
2. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta maior média de cupinzeiros e formigueiros em relação à área de Micaxisto.
3. Os Cambissolos com pastagens extensivas de *Brachiaria decumbens* originados de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático tiveram modificações morfológicas nas camadas de 0-20cm com modificações físicas confirmadas pelas curvas de retenção de água. Os volumes,  $F$ ,  $\Delta\mu$  e  $\Delta$  as curvas têm maior declividade com queda mais acentuada no teor de água com o aumento da tensão aplicada.
4. Considerando a tensão de -6KPa como o limite entre macroporos e microporos (retenção de água) observa-se que o tratamento em Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta redução da macroporosidade em superfície e profundidade, o qual dificulta a drenagem da água no perfil do solo, fazendo que ocorra um rápido encharcamento da superfície e subsequente aumento do escoamento superficial com maior exposição aos processos de erosão.
5. A curva de retenção de água no volume NAM da área de Granito-Gnaisse Leucocrático tem maior declividade em relação à curva da área de Micaxisto no volume NAM devido a maior proporção de caulinita no horizonte C, apresentando maior quantidade de microporos.
6. Os sistemas de pastagens extensivas em Cambissolos com diferentes materiais de origem provocam alteração na qualidade físico-hídrica do solo na profundidade de 0-10 cm.

7. A área de Micaxisto apresenta textura arenosa nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e textura média nas camadas de 20-40 cm e 40-60 cm sendo indicativo de processos erosivos e migração da argila para as camadas mais profundas. A área de Gnaisse-Granítico Leucocrático apresenta textura média em todas as profundidades, maiores teores de silte e areia fina, maior densidade nas camadas de 0-10 e 40-60 cm, baixa macroporosidade em todas as profundidades sendo mais susceptível à erosão em relação à área de Micaxisto.
8. Não há diferença no teor de matéria orgânica nas áreas de Micaxisto e Gnaisse-Granítico Leucocrático. Dessa forma, a presença de carbono orgânico poderia melhorar a estruturação do solo e por consequência a drenagem das duas áreas.
9. Para as condições de realização deste trabalho, os atributos físicos estudados apresentaram bom desempenho como indicadores da qualidade do solo.

## REFERÊNCIAS

ALBENAZ, W.M. **Composição botânica, manejo de pastagens e relação com atributos dos solos em sub-bacias hidrográficas da região de Lavras-MG.** 2005. 106p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ALBUQUERQUE, J.A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n.1, p.115-119, 1995.

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

ALEKSEEVA, T.V. et al. M. Relationship between mineralogical composition and physical properties of soils. **Eurasian Soil Science**, v.32, p.548-557, 1999.

ALVARENGA, R.C. et al. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.319-326, 1996.

ALVES, M.C.; CABEDA, M.S.V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.753-761, 1999.

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**, v.31, p.617-625, 2007.

ANDREWS, S.S. et al. Growers perceptions and acceptance of soil quality indices. **Geoderma**, v.114, p.187-213, 2003.

ANJOS, J.T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.139-145, 1994.

ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, p.9-13, 1986.

ANTUNES, F.Z.; SANTANA, D.P.; BOUÇADA, A.V. **Atlas climatológico do estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: EPAMIG, 1982.s.p.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.

ARCHER, J.R.; SMITH, P.D. The relation between bulk density, available water capacity, and air capacity of soils. **Journal of Soil Science, London**, v.23, p.475-480, 1972.

ARDUINO, E.; BARBERIS, E.; BOERO, V. Iron oxides and particle aggregation in B horizons of some Italian soils. **Geoderma**, v.45, p.319-329, 1989.

ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 425-435, 2005.

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

AVARETTO, N. et al. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.289-297, 2000.

BACELLAR, L.A.P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá. Ouro Preto, MG Geotécnicos**. 2000. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

BALBINO, L.C. et al. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**, v.20, p.297-307, 2004.

BARROS, E. et al. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, v.47, p.273-280, 2003.

BELL, M.J. et al. Physical rehabilitation of degraded krasnozems using ley pastures. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.1093-1113, 1997.

BENITO, N.P. et al. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). **European Journal of Soil Biology**, v.40, p.147- 154, 2004.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após a colheita de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.409-418, 1997.

BERTOL, I. et al. Nutrients losses by water erosion. **Scientia Agricola**, v.3, p.581-586, 2003.

BERTOL, I. et al. Parâmetros relacionados com a erosão hídrica sob a taxa constante da enxurrada em diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.715-722, 2006a.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetado pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, v.58, p.555-560, 2001.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1047-1054, 2000.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p.779- 786, 1998.

BERTOL, I. et al. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.543-553, 2006b.

BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A.P.; VÁZQUEZ, E.V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.103-110, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.

BETTERIDGE, K. et al. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal of Soil Research**, v.37, p.743-760. 1999.

BEUTLER, A.N. et al. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos Cerrados no Estado de MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.129-136, 2001.

BEUTLER, A. N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.167-177, 2001.

BEUTLER, A.N. et al. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.829-834, 2002.

BLAIR, N. et al. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility I. Broadbalk experiment. **Soil Tillage Research**, 2005.

BOWEN, H.D. Alleviating mechanical impedance. In: ARKIN, G.F.; TAYLOR, H.M. eds. Modifying the root environment to reduce crop stress. **St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers**, 1981. p.18-57.

BRAIDA, J.A et al. Relações entre a quantidade de palha existente sobre o solo e a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., Santa Maria, 2004. **Anais...** Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CDROM.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM BRASIL. **Folhas S.F. 23/24**. Rio de Janeiro/ Vitória. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. 1983. Rio de Janeiro, 1983. p. 780.

BRAZ, S.P. et al. Aspectos quantitativos do processo de reciclagem de nutrientes pelas fezes de bovinos sob pastejo em pastagem de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.858-865, 2002.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.

BUSATO, J.G. et al. Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. II-Análise de ácidos húmicos por RMN<sup>31</sup>P. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.945-953, 2005.

CALDEIRA, M. V. W. et al. **Caracterização das propriedades físicas de um planossolo sob pastagem**. In Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13. **Anais...** Águas de Lindóia, SP. 1. 1996. CD-ROM.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

CAMPOS, B.C. et al.. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. **Ciência Rural**, v.24, p.459-463, 1994.

CARVALHO, E.J.M.; FIGUEIREDO, M.S.; COSTA, L.M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.257-265, 1999.

CARVALHO, M.P.; SORATTO, R.P.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Science**, v.24, p.1353-1361, 2002.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1153-1155, 2004.

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

CASTRO, L.G.; COGO, N.P.; VOLK, L.B.S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.339-352, 2006.

CAVALIERI, K.M.V. et al. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.137- 147, 2006.

CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.701-709, 2000.

CHANASYK, D.S.; NAETH, M.A. Grazing impacts on bulk density as soil strength in the foothills fescue grasslands of Alberta, Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, v.75, p.551-557, 1995.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753, 2003.

COLOMBO, C.; TORRENT, J. Relationships between aggregation and iron oxides in terra rossa soils from Southern Italy. **Catena**, v.18, p. 51-59.1991.

CONCEIÇÃO, P.C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

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

COSENZA, G.W.; M.M. DE CARVALHO. Controle e nível de dano do cupim de montículo em pastagens. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.3, p.1-12, 1974.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.; SOUSA, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1185-1191, 2006.

CURI, N.; ARAUJO, A.R.; MARQUES, J.J.G.S.M. Levantamento dos solos da bacia do Alto Rio Grande. In: SILVA, A.M.; MELLO, C.R.; CORREA, M.R. **Estudos hidrológicos sobre o regime de escoamento das bacias de drenagem do Alto Rio Grande a montante do reservatório da UHE-Camargos/CEMIG**. Lavras, Belo Horizonte, UFLA/CEMIG/ANEEL, 2005. p.1-90 (Relatório Parcial do Projeto de P&D 076, CEMIG/ANEEL).

CZEPAK, C.; ARAÚJO, E.A.; FERNANDES, P.M. Ocorrência de espécies de cupins de montículo em pastagens no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.33, p.35-38, 2003.

DAEE/IPT. **Controle de erosão**. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), São Paulo, 1990. 92p.

DARBOUX, F.; HUANG, C. Does soil surface roughness increase or decrease water and particle transfers? **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.748-756, 2005.

DEBOSZ, K. et al. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. **Applied Soil Ecology**, v.19; p.237-248, 2002.

- DECAËNS, T.; BUREAU, F.; MARGERIE, P. Earthworm communities in a wet agricultural landscape of the seine valley (upper Normandy, France). **Pedobiologia**, v.47, p.479-489, 2003.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil Tillage Research**, v.8, p.253-263, 1986.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality: part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, v.120, p.227-239, 2004.
- DIAS, P.F. et al.. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de *Digitaria*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1015-1021, 2006.
- DIAS, P.F. et al. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.38-44, 2007.
- DOOR, J.N. "Physiographic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais". **U.S. Geol. Surv. Prof. Paper**, 641:110S. 1969.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, ASA, CCSA, SSSA, 1994. p.3-21.(SSSA Spec. Publ., 35).
- DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability; Managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.3-11, 2000.
- ELTZ, F.L.F.; NORTON, L.D. Surface roughness changes as affected by rainfall erosivity, tillage and canopy cover. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1746-1755, 1997.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. p.212.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EVANGELISTA, A.R. et al. Produção de matéria seca de pastagens nativas localizadas em área de Cambissolo e Latossolo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, p.987- 992, 1999.

FABIAN, A.J.; OTTONI FILHO, T.B. Determinação de capacidade de campo *in situ* ou através de equações de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1029-1036, 2000.

FELLER, C. et al. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Ed). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: Lewis, 1996. p.309-359.

FERNANDES P. M., C. CZEPAK; V. R. S. VELOSO. **Cupins de montículos em pastagens: prejuízo real ou praga estética?**, p. 187-210. In Cupins: o desafio do conhecimento. FEALQ, Piracicaba, SP. 512 p. 1998.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolo da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.513-524, 1999.

FERREIRA, R. R.M. **Atributos físicos e socioeconômicos de cambissolo sob sistema de pastagem extensiva**. 2005b. Dissertação (Mestrado em Agronomia área de concentração solos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

FERREIRA, R.R.M. et al. Atributos físicos de cambissolo sob diferentes manejos de pastagens em sistema extensivo: influência na dinâmica das águas pluviais. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** Gramado- RS: SBCS, 2007. CD-ROM

FERREIRA, V. M. **Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo**. 2005a. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FIGUEIREDO, M.A.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FABRIS, J.D. Mineralogy, size, morphology and porosity of aggregates and their relationship with soil susceptibility to water erosion. **Hyperfine Interactions**, v.122, p.177-184.1999.

FIGUEIREDO, M.A. et al. Alteração superficial e pedogeomorfologia no sul do Complexo Bação-Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.713-729. 2004.

FIGUEIREDO, M.A. et al. Aspectos pedogeomorfológicos e mineralógicos de uma topossequência de solos gnáissicos no Complexo Bação-Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. **Pesquisa em Geociências**, v.29, p.3-12. 2002.

FIGUEIREDO, M.A. et al. Óxidos de ferro de solos formados sobre gnaiss do Complexo Bação, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p. 313-321. 2006.

FONSECA, G.C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.22-30, 2007.

FONTES, L. R. Cupins nas pastagens do Brasil: algumas indicações de controle, p. 211-225. In **Cupins: o desafio do conhecimento**. FEALQ, Piracicaba, SP. 512 p. 1998.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.947-953, 2003.

FLORES, J.P.C. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.771-780, 2007.

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

FRANCIS, G.S.; TABLEY, F.J.; WHITE, K.M. Restorative crops for the amelioration of degraded soil conditions in New Zealand. **Australian Journal of Soil Research**, v.37, p.1017-1034, 1999.

FREGONEZI, G.A.F. et al. Modificações morfológicas e físicas de um Latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1017-1024, 2001.

GAGGERO, M.R. **Alterações das propriedades físicas e mecânicas do solo sob sistemas de preparo e pastejo**. 1998. (Dissertação de Mestrado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GALLO, D. et al. **Entomologia Agrícola**. FEALQ, Piracicaba, SP. 920p. 2002.

GALVÃO, T.C. de B.; SCHULZE, D.G. Mineralogical properties of a collapsible lateritic soil from Minas Gerais, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p.1969-1978, 1996.

GARCIA- PRÉCHAC, F. et al. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. **Soil & Tillage Research**, v.77, p.1-13, 2004.

GIACOMINI, S.J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em mistura de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.325-334, 2003.

GIAROLA, N. F. B. et al. **Solos na região sob Influência do reservatório da Hidrelétrica de Itutinga / Camargos (MG):** Perspectiva Ambiental. Lavras: CEMIG, 1997. 101 p.

GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P.; ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.80, p.29-45, 2000.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.223-227, 2002.

GOLDBERG, S. Interaction of aluminum and iron-oxides and clayminerals and their effect on soil physical-properties – a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.20, p.1181-1207, 1989.

GOMES, N.M. **Variabilidade especial de atributos físico-hídricos do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela na região do Alto Rio Grande, MG.** 2005. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.169-177, 2005.

GROHMANN, F. Análise de agregados de solos. **Bragantia**, v.19, p.201-213, 1960.

GUADAGNIN, J.C. et al.. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.277-286, 2005.

GUIMARÃES, M.F. et al. A metodologia do perfil cultural e o enraizamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM..

GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R.; MEDINA, C. C. O perfil cultural e as modificações da estrutura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia, 1993. **Resumos...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1993.

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

HAYNES, R.J.; BEARE, M.H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.1647-1653, 1997.

HAYNES, R.J. et al. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. **Soil & Tillage Research**, v.19, p.77-87, 1991.

HEINRICHS; R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.331-340, 2001.

HENIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Le profil cultural: l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques**. 2ed. Paris, Masson, 1969, 322p.

HORTA, I. De M. F. **Levantamento dos solos e ocupação da superfície do Município de Nazareno, MG**. 2006. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

IBGE. MINISTÉRIO do PLANEJAMENTO e ORÇAMENTO. **Censo Agropecuário**, Minas Gerais, 2000.

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

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant-grass shortduration grazing system. **Plant Soil**, v.219, p.161-168, 2000a.

INGARAMO, O.E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo. La Coruña**. 2003. (Tese de Doutorado)- Universidade da Coruña, Coruña.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of soil and water conservation**, v.55, p.69-78, 2000.

KAMPHORST, E.C. et al. Predicting depression storage from soil surface roughness. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.1749-1758, 2000.

KARLEN, D.L. et al. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4-10, 1997.

KICHEL, A.N.; MIRANDA, C.H.B.; ZIMMER, A.H. Fatores de degradação de pastagem sob pastejo rotacionado com ênfase na fase de implantação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. p.193-211.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia - Relações solo-planta**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KITAMURA, A.E. et al. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 405-416, 2008.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v.32, p.120-128, 2002a.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-867, 2002b.

KLUTHCOUSKI, J., T. et al. **Sistema Santa Fé – tecnologia Embrapa: integração lavourapecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás. 28 p. (Circular Técnica, 38). 2000.

KLUTHCOUSKI, J., L.F. STONE; H. AIDAR. **Integração lavoura-pecuária**. Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia. 570 p. 2003.

KONDO, M.K.; DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.211-218, 1999.

LAL, R. Physical management of the soils of the tropics: priorities for the 21st century. **Soil Science**, v.165, p.191-207, 2000.

LANZANOVA, M.E. et al. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007.

LAVELLE, P. et al. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v.33, p.159-193, 1997.

LEÃO, T.P. et al. Least limiting water range: a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil & Tillage Research**, v.88, p.279-285, 2006.

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

LEE, K. E.; T. G. WOOD. **Termites and soils**. Academic Press, Londres. 251p. 1971.

LEITE, L.F.C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.821-832, 2003.

LIMA, C.G.R. et al. Correlação linear e espacial entre produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1233-1244, 2007.

LIMA, C.L.R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não-irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.945-951, 2004.

LIMA, C. L. R. et al. Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.199-205, 2003.

LIMA, C.L.R. et al. Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v.36, p.1172-1178, 2006.

LINDEN, D.R.; VAN DOREN JUNIOR, D.M. Parameters for characterizing tillage-induced soil surface roughness. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1560-1565, 1986.

LIU, A.; MA, B.L.; BOMKE, A.A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.2041-2048, 2005.

LOUZADA, J.N.C.; MACHADO, F.S.; BERG, E.V.D. O fogo como instrumento de manejo em agroecossistemas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v.24, p.29-36, 2003.

MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. UFV/SBCS. 1996. p.135-155.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: MOURA, J.C.; SILVA, S.C.; FARIA, V.P., eds. Planejamento de sistemas de produção em pastagens, Piracicaba, 2001. **Anais...** Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 2001. p.257-283.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros: pesquisas para o desenvolvimento sustentável, Brasília, DF, 1995. **Anais...** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p.28-62.

MACEDO, M. C. M.; EUCLIDES, V. P. B.; OLIVEIRA, M. P. Seasonal changes in the chemical composition of cultivated tropical grasses in the savanas of Brazil. In: International grassland congress, 17, 1993, Palmerston North. **Proceedings...**Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. v. 3, p. 2000-2002.

MACEDO, M.C.M.; KICHEL, A.N.; ZIMMER, A.H. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPQC, 2000.4p. (Comunicado Técnico, 62).

MAGALHÃES, C.A.de S.; ALBERNAZ, W.M.; LIMA, J.M.de. Avaliação de dois métodos mensuração da cobertura vegetal em áreas de pastagem. In: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. **Anais...** Santa Maria-RS: SBCS, 2004 . CD-ROM.

MAGALHAES, R.T.; KLIEMANN H.J.; OLIVEIRA I.P. Evolução das propriedades físicas de solos submetidos ao manejo do Sistema Barreirão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.31, n.1, p.7-13, 2001.

MALLIK, A.V.; GIMINGHAM, C.H.; RAHMAN, A.A. Ecological effects of heather burning. I. Water infiltration, moisture retention and porosity of surface soil. **Journal of Ecology**, Oxford, v.72, p.767-776, 1984.

MAPFUMO, E. et al. Grazing impacts on selected soil parameters under short-term forage sequences. **Journal of Range Management**, v.53, p.466-470, 2000.

MARCHÃO, R.L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.873-882, 2007.

MARIA, I.C. de; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.703-709, 1999.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; LIMA, J. M. **Recursos Ambientais da Bacia do Alto do Rio Grande, Minas Gerais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 33 p.

MARTINS, C.R.; MIRANDA, J.C.C.; MIRANDA, L.N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida seti folia* Kunth em áreas degradadas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.665-674, 1999.

MARTINS, S.G. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, v.8, p.32-41, 2002.

MELLO, C.R. et al. Modelagem de atributos físico-hídricos do solo numa bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.845-852, 2007.

MELLO, C.R. et al. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da microrregião Campos das Vertentes, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1319-1324, 2002.

MELO FILHO, J.F. et al. Análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.199-205, 2006.

MELLO, N.A. Degradação física dos solos sob integração lavoura pecuária. In: MELLO, N.; ASSMANN, T.S. In: Encontro de integração lavoura-pecuária no sul do Brasil, 1., **Anais...** Pato Branco, 2002. p.43-60.

MENEZES, L.A.S.; LEANDRO, W.M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, p.173-180, 2004.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M.A.; SOUZA, E.G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1149-1159, 2003.

MERLIM, A.O. et al. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, v.62, p.57-61, 2005.

METZGER, L.; YARON, B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. **Advances in Soil Science**, v.7, p.141-163, 1987.

MIELNICZUK, J. et al. **Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo**. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

MIKLÓS, A. A. de W. **Papel de cupins e formigas na organização e na dinâmica da cobertura pedológica**, p. 227-241. In Cupins: o desafio do conhecimento. FEALQ, Piracicaba, SP. 512 p. 1998.

MORAES, A.; LUSTOSA, S.B.C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. In: Simpósio sobre avaliação de pastagens com animais, 1997, Maringá. **Anais...** Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 1997. p.129-149.

MORAIS, F.; BACELLAR, L.A.P.; SOBREIRA, F.G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1055-1062. 2004.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 625 p. 2002.

MOREIRA, J.A.A. et al. Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.155-161. 2005.

MOTA, J.C.A. et al. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.49-58, 2008.

MOTTA, P. E. F. et al. **Levantamento pedológico detalhado, erosão dos solos, uso atual e aptidão agrícola das terras de microbacia piloto na região sob influência do reservatório de Ituinga / Camargos-MG**. Belo Horizonte: CEMIG, 2001. 51 p.

MULLER, M. M. L. et al. Degradação das pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento das raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1409-1418, 2001.

MULLER, M.M.L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C.A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.531-538, 2001.

MULLER, M.S. et al. Produtividade do *Panicum bmaximum* cv. Mombaça irrigado, sob pastejo rotacionado. **Scientia Agricola**, v.59, p. 427-433, 2002.

NASCIMENTO JR., D. do; QUEIROZ, D. S.; SANTOS, M.V.F. dos. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In. Simpósio sobre manejo da pastagem, 11. Piracicaba, 1994. **Anais...** Piracicaba. FEALQ, 1994. 325p.

NETO, A.N.S. et al. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.29-35, 2006.

NETTO, A. R. **Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos brasileiros**. 1996. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NEVES, C.S.V.J. et al. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by cropping profile method in clayey oxisols in Brazil. **Soil & Tillage Research**, vol. 71, p.109-119, 2003.

NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C.; KOUAKOUA. E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um latossolo argiloso. **Ciência Rural**, v.36, p.1410-1415, 2006.

NIE, Z.N.; WARD, G.N.; MICHAEL, A.T. Impact of pugging by dairy cows on pastures and indicators of pugging damage to pasture soil on South – Western Victoria. **Australian Journal of Soil Research**, v.52, p.37-43, 2001.

OADES, J.M. Soil organic-matter and structural stability –mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, v.76, p.319-337, 1984.

OADES, J.M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.29, n.6, p.815- 828, 1991.

OLIVEIRA, E. et al. Recuperação de pastagens no noroeste do Paraná: bases para o plantio direto e integração lavoura e pecuária. 1a.versão. **IAPAR. Informe de Pesquisa, 134**, Londrina, IAPAR, 2000. 96p.

OLIVEIRA, F.H.T. et al. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.2, p.393- 486, 2002.

OLIVEIRA, G.C. de. **Cambissolos da microrregião Campos da Mantiqueira, MG: caracterização físico-hídrica e interpretação para manejo**. 1993. Dissertação. (Mestrado solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, G.C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, I. P. et al. **Sistema Barreirão: renovação recuperação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais**. Embrapa-CNPAP, Goiânia. 90 p.(Documentos 64). 1996.

OLIVEIRA, J.B de.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2 ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.  
OLIVEIRA, T.S. et al. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.509-515, 1996.

PANACHUKI, E. et al. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p. 261-268, 2006.

PARZANESE, G.A.C. **Gênese e desenvolvimento das voçorocas em solos originados de rochas granitóides da região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais**. 1991. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas)- Universidade Federal de Viçosa- Viçosa.

PASSOS, R.R. et al. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1119-1129, 2007.

PEDROTTI, A. **Relação entre atributos físicos e alumínio no solo**. 2000. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PERON, A.J.; EVANGELISTA, A.R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, p.655-661, 2004.

PINHEIRO DICK, D.; SCHWERTMANN, U. Microaggregates from oxisols and inceptisols: dispersion through selective dissolutions and physicochemical treatments. **Geoderma**, v.74, p.49-63, 1996.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil Tillage Research**, v.77, p.79-84, 2004.

PINTO, O. C. B. **Formation of a kaolinite from a biotite feldspar gneiss in four strongly weathered soil profiles from Minas Gerais, Brazil**. 1971. Dissertação (Master in Agronomy) - Purdue University, West Lafayette.

PIRAT, M. **Da Corrida do Ouro até o Êxodo Rural. Qual é o futuro das atividades agrícolas numa região de forte degradação do solo?** 2006. (monografia) Centre National d'études Agronomiques des Régions Chaudes da Universidade Agropolis- Montpellier-França.

PIRES, L.S. et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.678-695, 2006.

PORTUGAL, A.F. et al. Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.249-258, 2008.

RAO, I. M.; KERRIDGE, P. C.; MACEDO, M. C. M. Nutritional requirements of *Brachiaria* and adaptation to acid soils. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. **Brachiaria: biology, agronomy and improvement**. Cali: CIAT/EMBRAPA-CNPQC, 1996. p. 53-71.

RALISCH, R. **Efeito de três sistemas de manejo no estado estrutural de um Latossolo Roxo**. 1995. 65p. Tese (Mestrado em energia na agricultura)- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo- planta- atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985,466p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciências Ambientais**, v.27, p.29-48, 2003.

RESCK, D.V.S Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos na propriedade do solo. In: Encontro Nacional de Rotação de culturas, 2. , Campo Mourão, 1993. **Anais...** Campo Mourão, Associação dos Engenheiros Agrônomos de Campo Mourão, 1993, p.117-143.

RESCK, D.V.S., PEREIRA, J.; SILVA, J.E. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados**. Planaltina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1991. p.22.

RESENDE, M.; CURI, N.; DUARTE, M. N. Mineralogia, química e estratificação de ambientes. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Palestra...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 25 p. CD-ROM. Seção 2.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: MEC/Esal/Potafos, 1988. 81 p.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para a distinção de ambientes**. 4.ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.

RESENDE, M.; SANS, L.M.; DURAO, F.O. Veranico e sua inter-relação com o sistema solo/ água/ planta/ atmosfera nos Cerrados. In ALVARES, V.V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, 1996, p.22.

RESENDE, P.C.S. **Resistência mecânica e sua variação com a umidade e com a densidade do solo em Latossolo Vermelho escuro no Cerrado**. 1995. Dissertação (mestrado)- Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

REYNOLDS, W.D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131-146, 2002.

RHOTON, F.E.; LINDBO, D.L.; RÖMKENS, M.J.M. Iron oxides erodibility interactions for soils of the Memphis catena. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, p.1693-1703, 1998.

RUIZ, H.A. **Métodos de análise física do solo**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 22p.

SALAROLI, I.S. **Mapeamento litoestrutural da região de Santo Antônio do Leite Ouro Preto**. 1999. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

SALTON, J.C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008.

SALTON, J.C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, v.69, p.32-34, 2002.

SALTON, J.C., FABRÍCIO, A.C., HERMANI, L.C. Rotação lavoura pastagem no sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, p. 92-99, 2001.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.313-319, 1995.

SANTOS, A.R.; MONTEIRO, F.A. Produção e perfilhamento de *Brachiaria decumbens* Stapf. em função de doses de enxofre. **Scientia Agrícola**, v.56, p.689-692, 1999.

SANTOS, C.A. **Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto – MG.** 2001. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

SANTOS, D. **Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo em Cambissolo distrófico (epialítico) dos Campos da Mantiqueira (MG).** 1993. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas)- Escola Superior de Agricultura de Lavras. Lavras, Minas Gerais.

SANTOS, D. et al. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 183-189, 1998.

SANTOS, E. H. M. **Descarga de Sedimentos Transportados em Suspensão por Três Rios da Bacia Hidrográfica do Alto do Rio Grande.** 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SANTOS, G.G. et al. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um latossolo vermelho do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.115-122, 2008b.

SANTOS, M.C. et al. Caracterização química e microbiológica do solo e da produção de biomassa de *Brachiaria brizantha*, em diferentes épocas de amostragem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p.6-13, 2008a.

SANTOS, M.L. et al. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, p.313-321, 2006.

SANTOS, M.N. **Influência de diferentes sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico e nutrientes e no tamanho e distribuição de poros em um Latossolo Vermelho escuro argiloso na região dos Cerrados**. 1997. Dissertação (mestrado)- Universidade de Brasília, Brasília.

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**, v.32, p. 183-193, 2008a.

SARMENTO, P. et al. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.27-34, 2008b.

SCHAEFER, C. E. R. et al. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.669-678, 2002.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.437-447, 2000.

SCHWAB, G.O. et al. **Soil and water conservation engineering**. 4ed., New York, John Wiley & Sons, 1993. p.507.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.407-414, 2005.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.287-291, 1997.

SILVA, A.M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em cambissolo e latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1223-1230, 2005.

SILVA, A.P. et al. Qualidade física de solos sob sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In: Simpósio sobre manejo da pastagem, 19., Piracicaba, 2002. **Anais...** Piracicaba, FEALQ, 2002. p.79-99.

SILVA, A.P.; INHOFF, S.; CORSI, M. Evaluations soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. **Soil Tillage Research**, v.70, p.83-90, 2003.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.91-95, 1986.

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

SILVA, M.C. et al. Avaliação de métodos para recuperação de pastagens de braquiária no agreste de Pernambuco. 1. Aspectos quantitativos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1999-2006, 2004.

SILVA, M. L. N. et al. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000a.

SILVA, M.L.N. et al. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.97-103, 1998.

SILVA, R.F. et al. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.697-704, 2006a.

SILVA, R.F. et al. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.865-871, 2007.

SILVA, R.F. et al. Populações de oligoquetos (Annelida: Oligochaeta) em um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de uso de solo. **Ciência Rural**, v.36, p.673-677, 2006b.

SILVA, T.R.M. **Caracterização e erodibilidade dos solos de uma voçoroca na região de Ouro Preto – MG**. 2000. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

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

SILVA, V.R.; REINERT, D.; REICHERT, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1-8, 2002.

SINGER, M.J.; EWING, S. Soil quality. In: SUMMER, M.E., ed. **Handbook of soil science**. New York, CRC Press, 2000. Section G. p.271-298

SIQUEIRA, J.O. et al. **Microrganismos e processos biológicos no solo: perspectiva ambiental**. Embrapa-SPI, Brasília. 142 p.1994.

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A.; LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. **Soil Tillage Research**, v.43, p.335-354, 1997.

SOBREIRA, F.G. **Estudo das Erosões de Cachoeira do Campo - MG**. Relatório FAPEMIG, UFOP/EM/DEGEO. Ouro Preto, 1998. 130p.

SOBREIRA, F.G. Processos erosivos acelerados (voçorocas): O exemplo de Cachoeira do Campo, Ouro Preto, MG. **Solos Rochas: R. Latino-Americana Geotec.**, v.254, p.217-233, 2000.

SOJKA, R.E.; UPCHURCH, D.R. Reservations regarding the soil quality concept. **Soil Science Society of America**, v.63, p.1039- 1054, 1999.

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

SOUZA, L.S. Aspectos sobre o uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.34-39, 1997.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.18-23, 2003.

SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.699-707, 2001.

SPAGNOLLO, E. et al. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.417-423, 2002.

SPERA, S.T. et al. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, v.9, n.1, p.23-31, 2004a.

SPERA, S.T. et al. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.36, p.1193-1200, 2006.

SPERA, S.T. et al. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.533-542, 2004b.

STEFAN, S.; ZHANG, H. Earthworm casting: Stabilization or destabilization of soil structure? **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.469-475, 1997.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. **Plant Soil Soil Science**, v.49, p.1-24, 1999.

STOCKING, M.A. Assessing vegetative cover and management effects. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods**. Delray Beach, FL: Soil and Water Conservation Society, 1994. p.340.

TAVARES FILHO, J. **Organisation et comportement des latossols du Paraná (Brésil). Influence de leur mise en valeur**. 1995. 229p. Tese. (Doutorado em ciências agrárias) – Université de Nancy I, Nancy.

TAVARES FILHO, J. et al. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.393-399, 1999.

TAVARES FILHO, J.; et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TEIXEIRA, C.F.A. et al. Atributos físico-hídricos de um solo cultivado com pastagem de azevém sob diferentes combinações de preparo e tratamento. **Revista Ciência Agrônômica**, v.37, p.117-123, 2006.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.33, p.141-163, 1982.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, n.3, p.429-441, 1979.

TOLEDO, C.L.B. **Evolução geológica das rochas máficas e ultramáficas no greenstone Belt Barbacena, região de Nazareno, MG**. 2002. Tese (Doutorado)- Instituto de Geociências- Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TORMENA, C.A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1023-1031, 2004.

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1173-1184, 2007.

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.105-111, 1991.

TRIMBLE, S.W. & MENDEL, A.C. The cow as a geomorphic agent – A critical review. **Geomorphology**, v.13, p.233-253, 1995.

TURNER, B.L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L.M. The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution <sup>31</sup>P NMR spectroscopy. **Organic Geochemistry**, v.34, p.1199-1210, 2003.

VALÉRIO, J.R. Ocorrência, danos e controle de cupins de montículo em pastagens p. 33-36. In Reunião Sul-Brasileira de Insetos de Solo, 5. **Anais...** Dourados, MS. 110p. 1995.

VALLE, C.B. do; MILES, J.W. Melhoramento de gramíneas do gênero *Brachiaria*. In: Simpósio sobre manejo da pastagem, 11., Piracicaba, 1994. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p.191-231.

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

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VILELA, R. A. **Geologia de um segmento do Complexo Metamórfico Bação: área entre Glaura e Cachoeira do Campo, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 1999. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

VITORINO, A. C. T. **Caracterização e interpretação para uso agrícola, de solos de terraço fluvial, no médio Rio Doce, Município de Córrego Novo, MG**. 1986. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas)- Universidade Federal de Viçosa- Viçosa.

VITORINO, A.C.T. et al. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.133-141, 2003.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.585-596, 2004.

WANDER, M.M.; DRINKWATER, L.E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.61-73, 2000.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.487-494, 2003.

ZHOU, G.Y. et al. Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in Southern China. **Forest Ecology and Management**, v.167, p.209-222, 2002.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A – Dados físicos e químicos do Cambissolo Háplico Tb distrófico na área de Gnaiss Granítico Leucocrático.**

Tratamento Gnaiss	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCL)	Argila %	Areia					MO Dag/Kg	Silte %	Densidade g/cm <sup>3</sup>	VTP %	Micro %	Macro %
				AMG %	AG %	AM %	AF %	AMF %						
Trincheira 1 (0-10cm)	5,3	4,2	23	0	2	13	32	8	1,2	22	1,5	40,9	37,9	3
Trincheira 1 (10-20cm)	5,1	4,1	25	17	2	15	26	7	1,1	8	1,5	42,4	36,3	6,1
Trincheira 1 (20-40cm)	5,4	4,1	21	0	5	21	12	2	0,8	39	1,4	45,8	33,1	12,7
Trincheira 1 (40-60cm)	5,6	4,2	18	0	2	13	21	6	0,4	40	1,5	40,7	39,6	1,1
Trincheira 2 (0-10cm)	5,2	4,1	29	0	3	17	27	5	1,2	19	1,5	41,7	37,2	4,6
Trincheira 2 (10-20cm)	5,3	4,2	27	0	4	16	25	7	0,9	21	1,3	48,3	39,3	9,1
Trincheira 2 (20-40cm)	5,4	4,1	26	0	2	15	30	7	1,4	20	1,4	45,7	38,5	7,2
Trincheira 2 (40-60cm)	5,5	4,2	21	0	4	15	19	5	0,5	36	1,5	42,3	41,8	0,5
Trincheira 3 (0-10cm)	5,2	4,1	27	0	3	15	23	4	1,4	28	1,4	47,3	38,8	8,6
Trincheira 3 (10-20cm)	5,3	4,1	28	0	3	15	25	6	1,3	23	1,3	49,1	39,9	9,3
Trincheira 3 (20-40cm)	5,4	4,1	29	1	4	15	25	5	0,9	21	1,3	50	38,8	11,2
Trincheira 3 (40-60cm)	5,6	4,1	22	0	3	14	20	6	0,4	35	1,4	45,1	39	6,2
Trincheira 4 (0-10cm)	5	4	38	0	4	24	21	2	2,4	19	1,4	44,8	38,8	6
Trincheira 4 (10-20cm)	5	4	33	0	4	20	25	5	2,2	13	1,5	42,1	37,8	4,4
Trincheira 4 (20-40cm)	5,1	4	37	0	5	25	25	4	1,9	4	1,4	45,1	34,8	40,4
Trincheira 4 (40-60cm)	5,2	4,1	36	0	5	28	22	4	1,2	5	1,4	46,6	30,3	16,3

**APÊNDICE B – Dados de tensão de Cambissolo Háplico Tb distrófico em área de Gnaiss Granítico leucocrático.**

Tratamento Gnaiss	TENSÃO					
	15atm	5atm	1atm	0,33atm	0,1atm	0,06atm
	%					
Trincheira 1 (0-10cm)	9,1	12,72	19,1	26,34	31,29	34,63
Trincheira 1 (10-20cm)	10,55	14,88	19,95	28,09	32,89	35,66
Trincheira 1 (20-40cm)	11,81	15,63	21,19	28,39	33,69	37,24
Trincheira 1 (40-60cm)	13,96	16,06	19,92	23,6	29,94	32,16
Trincheira 2 (0-10cm)	10,19	14,08	19,98	28,32	33,56	36,92
Trincheira 2 (10-20cm)	12,32	15,99	21,89	29,34	36,91	38,48
Trincheira 2 (20-40cm)	13,61	17,73	22,69	29,64	38,2	40,64
Trincheira 2 (40-60cm)	14,12	15,82	19,34	24,17	29,45	33,26
Trincheira 3 (0-10cm)	10,8	15	21,23	30,94	36,47	38,26
Trincheira 3 (10-20cm)	12,78	16,75	23,08	33,26	42,36	43,62
Trincheira 3 (20-40cm)	13,26	17,62	24,63	33,28	40,44	42,49
Trincheira 3 (40-60cm)	13,61	15,32	18,78	22,05	29,72	32,88
Trincheira 4 (0-10cm)	9,74	13,8	23,59	35,8	42,62	42,84
Trincheira 4 (10-20cm)	11,26	15,6	23,24	35,05	43,03	44,06
Trincheira 4 (20-40cm)	12	17,24	25,64	35,57	43,48	44,05
Trincheira 4 (40-60cm)	13,93	15,81	18,59	21,96	29,55	31,95

**APÊNDICE C – Dados físicos e químicos de Cambissolo Háplico Tb distrófico em área de Micaxisto.**

Tratamento Micaxisto	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCL)	Argila %	Areia					Silte %	MO Dag/Kg	Densidade g/cm <sup>3</sup>	VTP %	Micro %	Macro %
				AMG %	AG %	AM %	AF %	AMF %						
<b>Trincheira 1 (0-10cm)</b>	5,9	5,2	21	3	13	19	29	4	11	2	1,28	50,94	23,79	27,15
<b>Trincheira 1 (10-20cm)</b>	5,9	5,1	20	2	14	22	26	6	10	1,5	1,43	45,09	23,19	21,9
<b>Trincheira 1 (20-40cm)</b>	5,5	4,7	20	2	13	26	26	3	10	1,1	1,4	46,3	20,23	26,06
<b>Trincheira 1 (40-60cm)</b>	6	5,3	22	2	11	23	25	6	11	1	1,42	45,47	21,2	24,27
<b>Trincheira 2 (0-10cm)</b>	6,3	5,8	20	2	15	28	22	2	9	1,6	1,3	49,94	14,18	35,76
<b>Trincheira 2 (10-20cm)</b>	6,8	5,8	21	2	14	27	19	3	14	1,2	1,39	46,57	19,83	26,74
<b>Trincheira 2 (20-40cm)</b>	6,7	5,7	20	1	9	21	26	6	17	1	1,46	43,67	23,44	20,24
<b>Trincheira 2 (40-60cm)</b>	6,8	5,6	22	2	15	29	16	6	10	0,9	1,27	51,31	22,57	28,74
<b>Trincheira 3 (0-10cm)</b>	5,8	4,7	20	1	11	34	16	4	14	1,5	1,47	43,47	20,17	23,31
<b>Trincheira 3 (10-20cm)</b>	5,9	4,8	21	1	9	29	20	9	11	1,2	1,38	46,87	22,02	24,85
<b>Trincheira 3 (20-40cm)</b>	6,2	4,8	19	2	12	38	17	4	8	1,1	1,37	47,26	19,55	27,72
<b>Trincheira 3 (40-60cm)</b>	5,6	4,5	20	2	12	31	18	8	9	1	1,3	49,95	18,45	31,51
<b>Trincheira 4 (0-10cm)</b>	5,8	4,8	17	1	13	21	23	4	21	2,4	1,26	51,7	19,11	32,59
<b>Trincheira 4 (10-20cm)</b>	5,8	4,7	16	1	21	28	16	4	14	1,8	1,4	46,25	20,03	26,22
<b>Trincheira 4 (20-40cm)</b>	5,7	4,5	20	2	13	28	25	3	9	1,3	1,44	44,63	19,7	24,93
<b>Trincheira 4 (40-60cm)</b>	5,8	4,4	19	3	16	22	30	4	6	1,1	1,42	45,46	19,13	26,33

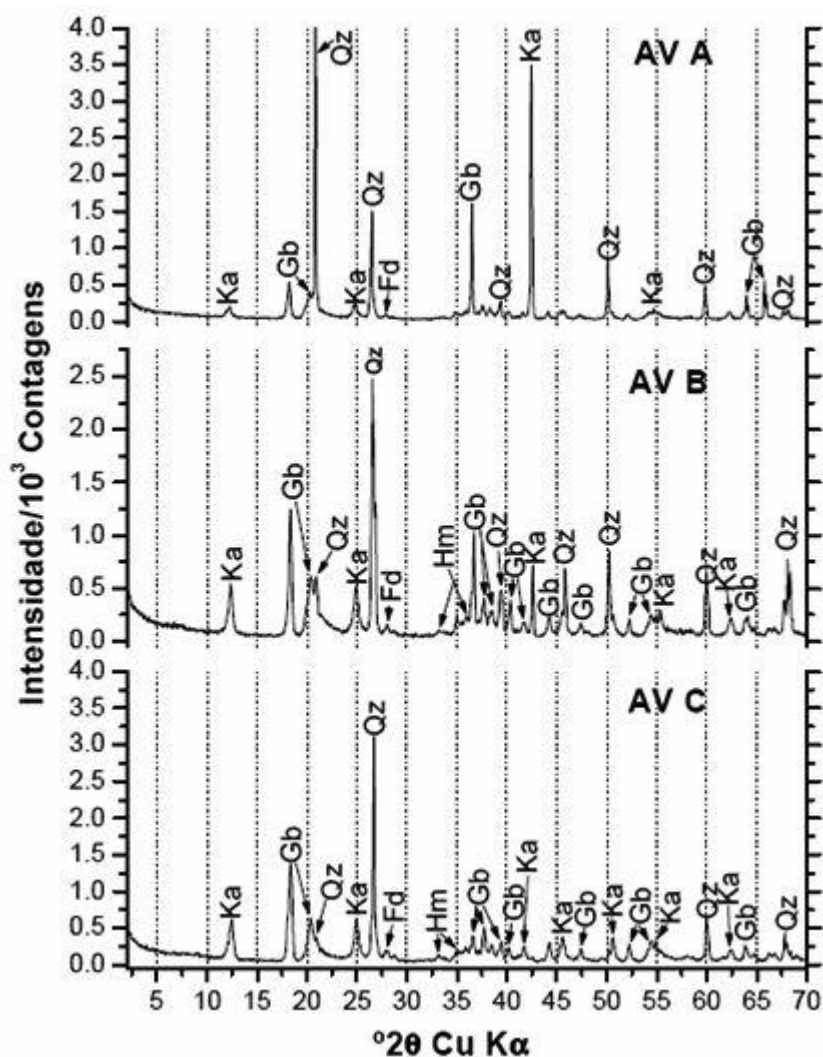
**APÊNDICE D – Dados de tensão de Cambissolo Háplico Tb distrófico em área de Micaxisto.**

Tratamento Xisto	TENSÃO					
	15atm	5atm	1atm	0,33atm	0,1atm	0,06atm
	%					
<b>Trincheira 1 (0-10cm)</b>	7,82	9,06	10,49	11,52	21,51	27,15
<b>Trincheira 1 (10-20cm)</b>	6,84	7,82	10,24	10,53	27,54	28,67
<b>Trincheira 1 (20-40cm)</b>	6,58	6,84	9,45	11,9	21,18	23,92
<b>Trincheira 1 (40-60cm)</b>	7,46	7,9	9,51	11,01	20,52	28,51
<b>Trincheira 2 (0-10cm)</b>	7,1	7,66	9,44	10,94	19,18	28,76
<b>Trincheira 2 (10-20cm)</b>	7,21	8	10,37	11,07	19,84	26,1
<b>Trincheira 2 (20-40cm)</b>	8,05	8,17	10,34	11,3	18,96	28,03
<b>Trincheira 2 (40-60cm)</b>	7,29	8,56	10,49	11,62	18,38	27,09
<b>Trincheira 3 (0-10cm)</b>	7,36	7,47	9,94	11,74	22,23	25,14
<b>Trincheira 3 (10-20cm)</b>	7,33	7,99	9,52	13,34	23,46	28,27
<b>Trincheira 3 (20-40cm)</b>	6,33	7,3	8,46	9,57	19,43	23,04
<b>Trincheira 3 (40-60cm)</b>	6,99	7,35	9,66	10,97	14,82	24,24
<b>Trincheira 4 (0-10cm)</b>	7,67	7,29	10,21	11,53	20,17	26,74
<b>Trincheira 4 (10-20cm)</b>	7,06	7,79	10,31	11,67	17,96	28,52
<b>Trincheira 4 (20-40cm)</b>	6,94	7,23	9,58	10,35	21,28	26,92
<b>Trincheira 4 (40-60cm)</b>	7,3	7,66	10,2	13,84	17,14	25,88

## **ANEXOS**

**ANEXO A – Difratomogramas de raios x e porcentagens de ferro e alumínio dos horizontes A, B e C de Cambissolo.**

**Difratomogramas de raios X do perfil de Cambissolo. Horizontes A, B e C. Qz- quartzo, Ka- caulinita, Gb- gibsita, Hm- hematita, Fd- feldspatos (Figueiredo et al., 2002)**

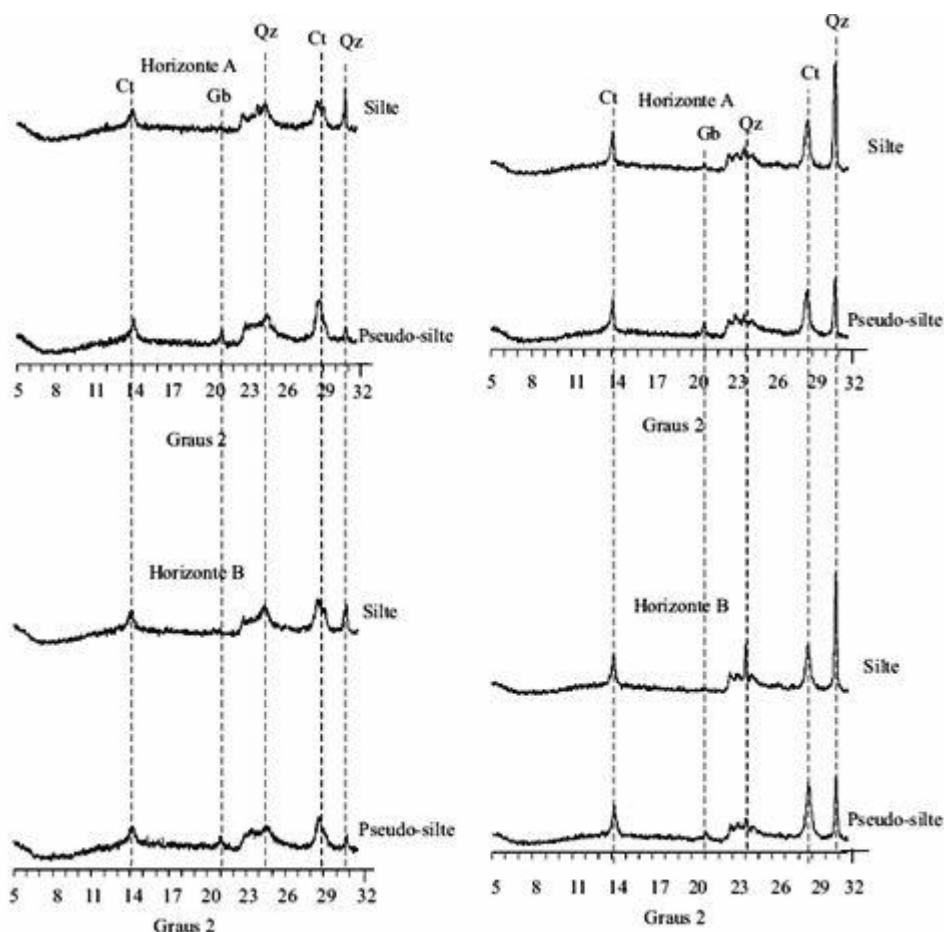


Porcentagens de ferro ( $\text{Fe}_d$ ) e alumínio ( $\text{Al}_d$ ) extraídos por DCB (ditionito- citrato- bicarbonato de sódio) e quantificados por absorção atômica, com suas respectivas profundidades. AV-Cambissolo (Figueiredo et al., 2002).

Amostra	Profundidade (cm)	$\text{Fe}_d$ (%)	$\text{Al}_d$ (%)
AV-BA	40-84	2,69	0,59
AV-B	84-150	2,70	0,54
AV-C	150-200+	2,20	0,33

**ANEXO B – Difratomogramas de raios x e teores de gibsitita e caulinita das frações silte e pseudo-silte dos horizontes A e B de Cambissolo.**

Difratomogramas de raios X das frações silte e pseudo-silte dos horizontes A e B do Cambissolo Háplico argila de atividade baixa distrófico originado de filito (CXbd1) e gnaisse (CXbd2), respectivamente. Ct: caulinita; Gb: gibsitita; Qz: quartzo. (Vitorino et al., 2003).



**Teores de gibsitita (Gb) e caulinita (Ct) e relação Gb/(Gb+Ct) em amostras desferrificadas das frações pseudo-silte e silte nos horizontes A e B dos cambissolos em filito e gnaisse (Vitorino et al., 2003).**

Horizontes	Pseudo-silte			Silte		
	Gb	Ct	Gb/(Gb+Ct)	Gb	Ct	Gb/(Gb+Ct)
	-----( $\text{g Kg}^{-1}$ )-----			-----( $\text{g Kg}^{-1}$ )-----		
Cambissolo Háplico Tb distrófico originado de filito						
A	8,30	208,77	0,25	2,15	18,47	0,10
B	80,22	330,86	0,20	1,87	18,69	0,09
Cambissolo Háplico Tb distrófico originado de gnaisse						
A	45,01	260,09	0,15	2,66	25,94	0,09
B	53,36	417,62	0,11	2,12	44,90	0,05

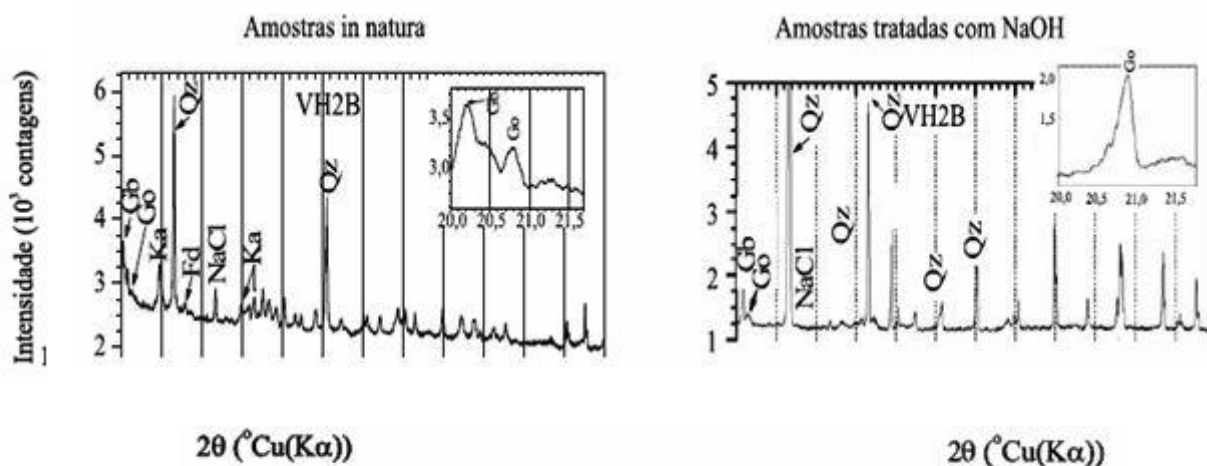
## ANEXO C – Difratomogramas de raios x e análises químicas do horizonte B de Cambissolo.

**Análises químicas (índice de intemperismo) das amostras de Cambissolo no horizonte B ferruginoso no embasamento cristalino granito-gnáissico (Figueiredo et al., 2006).**

Amostra <sup>(1)</sup>	Cor Munsell (úmida)	Granulometria (g Kg <sup>-1</sup> )			Classe Textural	Composição química (g Kg <sup>-1</sup> )				
		Argila	Silte	Areia		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
VH2B	2,5YR 5/8	409	262	328	Argiloso	396	330	45,2	2,8	6,0

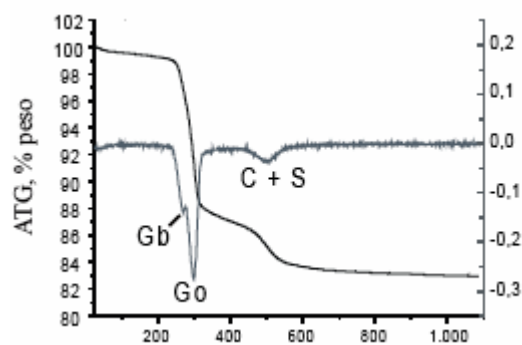
(2) VH2B amostra coletada do horizonte Bi do Cambissolo.

**Difratomogramas de raios X (método do pó) das amostras in natura e após tratamento com NaOH 5 mol L<sup>-1</sup>. Ka: caulinita; Gb: gibsitita; Go: goethita; Qz: quartzo; NaCl: padrão interno (Figueiredo et al., 2006)**



## ANEXO D – Análise térmica gravimétrica e fotomicrografia do horizonte C de Cambissolo.

Análise térmica gravimétrica e sua derivada, mostrando a composição do plasma incipiente do horizonte C de Cambissolo (Figueiredo et al., 2004).



Fotomicrografia em luz plana do horizonte C de Cambissolo (Figueiredo et al., 2004).

