



**RÓBERSON MACHADO PIMENTEL**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, CARBONO E  
NITROGÊNIO DO SOLO EM SISTEMAS  
AGROPECUÁRIOS**

**LAVRAS – MG**

**2012**

**RÓBERSON MACHADO PIMENTEL**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM  
SISTEMAS AGROPECUÁRIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Forragicultura e Pastagem, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. José Cardoso Pinto

**LAVRAS – MG**

**2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Pimentel, Róberson Machado.

Propriedades físicas, carbono e nitrogênio do solo em sistemas agropecuários / Róberson Machado Pimentel. – Lavras : UFLA, 2012.

99 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: José Cardoso Pinto.

Bibliografia.

1. *Brachiaria*. 2. Pastagens consorciadas. 3. Estabilidade de agregados. 4. Matéria orgânica do solo. 5. Densidade do sistema radicular. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.202

**RÓBERSON MACHADO PIMENTEL**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM  
SISTEMAS AGROPECUÁRIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Forragicultura e Pastagem, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2012.

Dr. Yuri Lopes Zinn UFLA

Dra. Fernanda Helena Martins Chizzotti UFV

Dr. Manoel Eduardo Rozalino Santos UFU

Dr. Márcio André Stefanelli Lara UFLA



Dr. José Cardoso Pinto  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2012**

A Deus,

Aos meus pais, Paulo Roberto e Iolanda

Ao meu irmão, Éverton

Aos meus tios, Sebastião, Maria Teresinha e Maria Aparecida

A minha avó, Maria das Neves

Com muito carinho dedico.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Lavras, em especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia e Ciências do Solo, e ao Conselho Nacional de Pesquisa de Minas Gerais (CNPQ) pela oportunidade concedida, estrutura fornecida e pelo apoio financeiro.

Ao professor José Cardoso Pinto, pela orientação, incentivo, apoio e confiança que precisei nesses anos e, sobretudo, pela amizade.

Ao professor Yuri Lopes Zinn, por acreditar no projeto desde o começo, pelos esclarecimentos, pela grande ajuda e dedicação oferecida, além da amizade adquirida.

Aos professores Manoel Eduardo Rozalino Santos, Fernanda Helena Martins Chizzotti, Márcio André Stefanelli Lara e Daniel Rume Casagrande que, de forma direta e/ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho, estendendo os agradecimentos aos demais professores.

A todos os funcionários e amigos do DZO/UFLA e DCS/UFLA, sem exceções; que de forma direta e/ou indireta, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Às grandes amizades feitas durante essa caminhada, dentre estes, Levy, Dobereiner, Poliana, Douglas, Zé (Luis Carlos), Juliana, Alessandro (capitão cavera), e especialmente, o meu querido primo Filipe, que me acolheu e apoiou desde sempre.

Aos grandes amigos de república Ricardo e Tiago, pela sincera amizade, paciência e ensinamentos de vida.

A minha namorada Ana Cláudia, que de forma muito especial, agradeço pela paciência, força, amor e carinho em todos esses anos, muito obrigado.

A minha querida mãe, irmão e pai por tudo que representam pra mim, e por tudo que sempre fazem pra me ajudar.

A todos os meus familiares, em especial a 3 pessoas sem as quais nunca teria concretizado esta etapa de minha vida: meu tio Sebastião (pá), e as minhas tias Maria Teresinha (má) e Maria Aparecida (dádá), que acreditaram em mim desde o começo, e contribuíram me com apoio, carinho e torcida sempre.

**Muito obrigado a todos que participaram dessa conquista!**

“Mestre não é quem sempre ensina, mas que de repente aprende.”

**Guimarães Rosa**

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica a nossa ignorância.”

**John Fitzgerald Kennedy**

"A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original."

**Albert Einstein**

“Os sábios são os que mais buscam a sabedoria. Os tolos pensam tê-la encontrado.”

**Napoleão Bonaparte**



## RESUMO

As pastagens ocupam a maior parte das áreas agricultáveis em todo o mundo, e no Brasil esse ecossistema é de grande importância para a pecuária nacional. Atualmente, os sistemas agrícolas além de rentáveis devem ser sustentáveis, de forma a reduzir os problemas ambientais decorrentes. Nesse contexto, o Brasil tem a maior parte de sua emissão de gases de efeito estufa devido a mudanças no uso da terra e agricultura, sendo a pecuária responsável pela emissão de importantes gases do efeito estufa. No entanto nos sistemas pecuários é ignorado que pastagens bem manejadas podem sequestrar CO<sub>2</sub> no solo. Porém, a realidade mostra que a maior parte das pastagens do país se encontra em algum estágio de degradação, o que as torna fonte, e não dreno de CO<sub>2</sub>. Uma das alternativas para aumentar o sequestro de carbono orgânico do solo (COS) e assegurar a produtividade das pastagens, pode ser por meio da utilização de leguminosas em consórcio com gramíneas. O objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças nos teores e estoques de COS e nitrogênio total (NT) do solo sob pastagens consorciadas em solo típico do Sul de Minas Gerais. Dessa forma, foram selecionadas áreas cultivadas com milho em sistema de plantio convencional, pastagem de *Brachiaria decumbens*, consórcio de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés com *Stylosanthes guianensis*, consórcio de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com *Arachis pintoii* acesso BRA 040550, e uma mata semidecidual nativa, utilizada como referência. As coletas ocorreram nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm de profundidade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições. O solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico com classe textural muito argilosa. Os usos da terra favoreceram as características químicas do solo, proporcionando maiores teores de nutrientes e elevação do pH, pelas práticas de adubação e calagem, respectivamente. No entanto, o manejo conduzido nas áreas, por lavouras de milho por algum tempo, causou deterioração de suas propriedades físicas, evidenciadas por apresentarem elevada densidade do solo. As áreas de pastagens apresentaram estabilidade de agregados semelhantes ao solo sob mata nativa, observado pelos maiores valores de Diâmetro Médio Geométrico (DMG), Diâmetro Médio Ponderado (DMP), em relação ao solo sob lavoura de milho, possivelmente pela grande densidade de raízes e não revolvimento do solo. Os solos sob lavoura de milho apresentaram perdas nos teores e estoques de COS e NT do solo. O uso de pastagem consorciada com *Arachis pintoii*, se mostrou capaz de recuperar parte dos estoques de COS.

Palavras-chave: *Brachiaria*. Pastagens consorciadas. Matéria orgânica do solo. Densidade do sistema radicular. Estabilidade de agregados.

## ABSTRACT

Pastures occupy most of the agricultural areas around the world and in Brazil this ecosystem is of great importance to the national livestock. Currently, agricultural systems as well as profitable must be sustainable, to reduce the environmental problems. In this context, Brazil has most of its emission of greenhouse gases due to changes in land and agriculture use, and livestock is responsible for the emission of major greenhouse gases. However in livestock systems is known that well-managed pastures can sequester CO<sub>2</sub> in the soil. Nevertheless, the reality show that most of the pasture of the country is in some degradation stage, which makes the source, and not drain of CO<sub>2</sub>. One of the alternatives to increase the sequestration of soil organic carbon (SOC) and ensure the pastures productivity may be through the use of leguminous intercropped with grasses. The objective of this study was to evaluate changes in levels and stocks of SOC and total nitrogen (TN) of soil under intercropped pastures in typical soil of southern Minas Gerais. Thus, areas were selected cultivated with corn in conventional tillage, pasture of *Brachiaria decumbens*, intercropped of *Brachiaria brizantha* cv. *Xaraés* with *Stylosanthes guianensis*, intercropped of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu with *Arachis pintoii* access BRA 040550, and a native semideciduous forest, used as reference. Sampling occurred at 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 and 60-100cm depth. The experimental design was completely randomized with three replications. The soil was characterized as dystrophic Red Latosol with class very clayey textural. The uses of the land favored the chemical characteristics of soil, providing higher levels of nutrients and elevation of pH, through fertilization practices, and limestone, respectively. However, the management conducted in the area for corn crops for some time, caused deterioration in their physical properties, evidenced by presenting high density of the soil. The pastures area presented aggregate stability similar to soil under native forest, observed by high values of Geometric Mean Diameter (GMD), Prudent Mean Diameter (PMD), in relation to soil under maize crop, possibly due to high density of roots and not revolving soil. The soils under maize crop had losses in contents and stocks of SOC and TN of the soil. The use of intercropped pasture with *Arachis pintoii*, proved able to recover some of the stocks of SOC.

Keywords: *Brachiaria*. Intercropped pastures. Soil organic matter. Root system density. Stability of aggregates.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Incorporação de CO <sub>2</sub> atmosférico na matéria orgânica do solo em pastagens manejadas com baixa e alta tecnologias e insumos .....	20
Figura 2	Precipitação pluvial e temperatura média na região de Lavras - MG. Adaptado de Dantas, Carvalho e Ferreira (2007) .....	36
Figura 3	Apresentação esquemática do procedimento de análise para se determinar os agregados do solo estáveis em água .....	41
Figura 4	Difratograma com a composição mineralógica da fração argila do solo sob mata nativa .....	50
Figura 5	Valores de densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de usos da terra, em função da profundidade .....	61
Figura 6	Imagem digitalizada de lâminas de Micromorfologia nos diferentes sistemas de usos de um Latossolo Vermelho em Lavras-MG .....	65
Figura 7	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água nas diferentes profundidade e usos da terra .....	66
Figura 8	Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos agregados estáveis em água nas diferentes profundidade e usos da terra .....	67
Figura 9	Teor de carbono orgânico do solo (COS) nos diferentes sistemas de usos da terra, em função da profundidade .....	71
Figura 10	Teor de carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) nos diferentes sistemas de usos da terra na profundidade de 0-5 cm.....	74
Figura 11	Teor de carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) nos diferentes sistemas de usos da terra na profundidade de 10-20 cm..	75
Figura 12	Distribuição percentual dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) por camadas.....	79
Figura 13	Densidade de raízes de diferentes gramíneas em profundidade .....	81

Figura 14 Teor de nitrogênio total (NT) do solo nos diferentes sistemas de uso da terra, em função da profundidade..... 84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Coordenadas geográficas e altitudes das áreas em estudo.....	35
Tabela 2	Sistemas de usos e manejo do solo com seus respectivos históricos .....	37
Tabela 3	Valores médios para argila, areia, silte e densidade do solo (Ds), em solo sob mata nativa em diferentes profundidades .....	51
Tabela 4	Valores médios para as propriedades químicas do solo sob mata nativa em diferentes profundidades.....	52
Tabela 5	Valores médios as para características químicas do solo sob mata nativa em diferentes profundidades.....	53
Tabela 6	Níveis de significância da análise de variância para as características químicas do solo em diferentes profundidades .....	54
Tabela 7	Atributos químicos do solo dos diferentes sistemas de uso da terra.....	56
Tabela 8	Atributos químicos do solo dos diferentes sistemas de usos da terra.....	58
Tabela 9	Resultado de análise de variância para as características físicas do solo nos diferentes usos da terra.....	60
Tabela 10	Valores de densidade do solo nas diferentes profundidades e sistemas de usos terra .....	63
Tabela 11	Distribuição relativa da massa de agregados nas diferentes profundidades e usos da terra .....	68
Tabela 12	Distribuição relativa da massa de agregados nas diferentes profundidades e usos da terra .....	69
Tabela 13	Níveis de significância da análise de variância para os teores de carbono orgânico do solo (COS) e carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) nos diferentes usos da terra .....	70

Tabela 14	Resultado dos teores de COS nas diferentes profundidades e usos da terra.....	73
Tabela 15	Resultado de análise de variância para os estoques de carbono orgânico do solo (COS) nas diferentes profundidades e usos da terra.....	76
Tabela 16	Estoque de carbono orgânico do solo nas diferentes profundidades e usos da terra .....	78
Tabela 17	Resultado de análise de variância para densidades de raízes .....	79
Tabela 18	Resultado de análise de variância para os teores de nitrogênio total (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N).....	82
Tabela 19	Resultado dos teores de nitrogênio total do solo sob diferentes usos da terra.....	83
Tabela 20	Relação carbono/ nitrogênio (C/N) do solo sob diferentes usos da terra.....	85
Tabela 21	Resultado de análise de variância para os estoques de NT do solo nos diferentes usos da terra .....	87
Tabela 22	Estoque de nitrogênio do solo nas diferentes profundidades e usos da terra.....	88

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
<b>2.1</b>	<b>Balanco dos sistemas pecuários nos gases de efeito estufa</b> .....	19
<b>2.2</b>	<b>Aquecimento global</b> .....	21
<b>2.3</b>	<b>Carbono orgânico do solo</b> .....	22
<b>2.4</b>	<b>Retenção de carbono orgânico e nitrogênio em solos de pastagens</b> 25	
<b>2.5</b>	<b>Contribuição das leguminosas para mitigação dos gases de efeito estufa em pastagens</b> .....	28
<b>2.6</b>	<b>Sistema radicular e agregação do solo</b> .....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	35
<b>3.1</b>	<b>Localização da área de estudo e clima</b> .....	35
<b>3.2</b>	<b>Seleção das áreas no campo</b> .....	36
<b>3.3</b>	<b>Amostragem do solo</b> .....	38
<b>3.4</b>	<b>Preparo das amostras de solo</b> .....	38
<b>3.4.1</b>	<b>Análise textural do solo</b> .....	38
<b>3.4.2</b>	<b>Densidade do solo (Ds)</b> .....	40
<b>3.4.3</b>	<b>Distribuição de tamanho de agregados estáveis em água</b> .....	40
<b>3.4.4</b>	<b>Densidade de raízes</b> .....	42
<b>3.4.5</b>	<b>Micromorfologia do solo</b> .....	42
<b>3.4.6</b>	<b>Difratometria de raios-x da fração argila</b> .....	43
<b>3.4.7</b>	<b>pH do solo</b> .....	43
<b>3.4.8</b>	<b>P e K disponíveis</b> .....	43
<b>3.4.9</b>	<b>Fósforo remanescente (P-rem)</b> .....	44
<b>3.4.10</b>	<b>Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis</b> .....	44
<b>3.4.11</b>	<b>Acidez potencial</b> .....	45
<b>3.4.12</b>	<b>Soma de bases, capacidade de troca de cátions, saturação por bases e saturação por alumínio</b> .....	45
<b>3.4.13</b>	<b>Determinação do teor de carbono do solo</b> .....	46
<b>3.4.14</b>	<b>Determinação do teor de carbono da fração areia</b> .....	46
<b>3.4.15</b>	<b>Determinação do teor de nitrogênio do solo</b> .....	46
<b>3.4.16</b>	<b>Cálculo dos estoques de C e N do solo</b> .....	47
<b>3.5</b>	<b>Estatística do experimento</b> .....	47
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	49
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do solo sob mata nativa</b> .....	49

<b>4.2</b>	<b>Efeitos do uso da terra nas propriedades químicas do solo .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3</b>	<b>Efeitos do uso da terra nas propriedades físicas do solo .....</b>	<b>59</b>
<b>4.4</b>	<b>Carbono orgânico do solo (COS) e densidade de raízes .....</b>	<b>70</b>
<b>4.5</b>	<b>Nitrogênio total do solo (NT) .....</b>	<b>82</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>90</b>



## 1 INTRODUÇÃO

As áreas de pastagens geram como produtos principais de sua utilização a carne e o leite, que contribuem significativamente na alimentação da população e na geração de empregos e renda para o país. De acordo com o censo agropecuário (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010), as áreas de pastagens se configuram na maior cultura agrícola do país ao ocuparem mais de 170 milhões de hectares. No mundo, esse agroecossistema constitui cerca de 70% de toda área agricultável (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS - FAO, 2007). A produção animal baseada em pastagens é a forma mais viável economicamente para alimentação de ruminantes. Nesse contexto, o Brasil encontra-se em situação privilegiada, pois aproximadamente 96,5% do rebanho bovino de corte e 80% do rebanho bovino leiteiro são manejados exclusivamente em pasto, sendo os animais restantes criados em pastagens por algum período do ciclo produtivo (ANUÁRIO, 2002). Dessa forma, as pastagens tornam-se componente-chave do sistema de produção pecuária.

No entanto, nos últimos anos, os sistemas de produção animal começaram a despertar o interesse de pesquisadores de diversas áreas, que buscam entender melhor como a produção de alimentos afeta o clima do planeta. Em todo o mundo, estima-se que as conversões de ecossistemas naturais para sistemas agrícolas contribuem com cerca de 24% das emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), 55% das emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) e 85% do total das emissões de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (INTERGOVERNAMENTAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE - IPCC, 2007a). Atualmente no Brasil, a mudança de uso da terra e agricultura têm contribuição, proporcionalmente, muito mais acentuada na emissão gases do efeito estufa (GEE), correspondendo cerca de 75,91 e 94% do total de emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , respectivamente (CERRI; CERRI, 2007).

Essa maior participação dos setores agrícolas na emissão de GEE no país se deve ao fato da abertura de novas áreas agrícolas por meio de desmatamento e queimadas. Possuir matriz energética essencialmente fundamentada em geração hidroelétrica e também ao grande rebanho bovino.

As práticas agrícolas podem resultar diferentes taxas de emissão dos GEE, sendo em alguns casos sumidouros dessas emissões. Os diferentes usos da terra e os manejos adotados em cada sistema podem acarretar benefícios ou prejuízos em prol do meio ambiente. Felizmente, o que se observa normalmente, é que as práticas de manejo agrícolas que asseguram maiores produtividades, também acabam por sequestrar maiores quantidades de GEE e elevar os teores de matéria orgânica do solo (MOS), o que garante sustentabilidade ao sistema. As pessoas envolvidas com a agricultura e pecuária estão refletindo sobre seus mecanismos de produção, de modo a serem mais eficientes em um mercado cada vez mais competitivo, e é importante salientar que essa eficiência passará necessariamente por sistemas de produção menos poluentes. Como alternativa, poderiam ser utilizadas práticas conservacionistas para diminuir as perturbações físicas do solo, a fim de garantir proteção da MOS. Outra opção conjunta seria a utilização racional de fontes de nitrogênio (N) através da adubação e/ou uso das leguminosas consorciadas com gramíneas para aumentar biomassa de forragem e reduzir a degradação da pastagem. O consórcio estabelecido pode ainda estimular a ação microbiana, com impacto positivo nas condições físico-químicas do solo e na eficiência e reciclagem dos nutrientes (VALENTIM; ANDRADE, 2004).

Dessa maneira, as pastagens manejadas adequadamente podem contribuir de forma direta e indireta para uma cadeia de produção ambientalmente sustentável, reduzindo a necessidade de expansão agrícola sobre importantes remanescentes de vegetação nativa do país.

Com este trabalho, objetivou-se avaliar como os diferentes sistemas de uso da terra afetaram os teores e estoques de carbono orgânico do solo (COS) e nitrogênio total (NT) em um solo típico de Minas Gerais.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Balanço dos sistemas pecuários nos gases de efeito estufa**

O sistema de produção pecuário é responsável por importante emissão de CH<sub>4</sub>, advinda do processo fermentativo que ocorre no rúmen e também associado ao manejo destinado aos dejetos dos bovinos. O N<sub>2</sub>O é oriundo, principalmente, de processos de nitrificação e denitrificação que pode ter origem na fertilização nitrogenada das pastagens e na deposição de urina do gado no solo. Contudo, o principal contribuinte para o aquecimento global é o CO<sub>2</sub>, emitido para a atmosfera por práticas de desmatamento, queimadas, perdas de matéria orgânica do solo (MOS) e queima de combustíveis fósseis.

Considerando as emissões geradas diretamente pelos processos produtivos e também os envolvidos indiretamente pela emissão gerada na produção de fertilizantes, transporte e outros processos, a produção animal contribui com 18% das emissões mundiais de GEE medidos em CO<sub>2</sub>-equivalente (FAO, 2006). Ainda os sistemas de produção animal contribuem com 9% da emissão do CO<sub>2</sub>, sendo que aproximadamente 7% são devidos a mudanças no uso da terra, especialmente o desmatamento e a queima de florestas nativas para implantação de pastagens. A contribuição pecuária na emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O corresponde a 37 e 65%, respectivamente, dos GEE emitidos pelos sistemas de produção agrícolas. Por isso, Soussana, Tallec e Blanfort (2010) destacam a importância de pesquisas que quantifiquem não apenas a produção de CO<sub>2</sub>, mas também a dos outros GEE.

No entanto, nos sistemas pecuários o potencial de sequestro de C no solo é frequentemente ignorado (Cerri; Cerri, 2007). Pastagens produtivas e bem manejadas podem elevar o estoque de carbono orgânico do solo (COS) pela humificação de seus restos orgânicos e, assim auxiliar na mitigação da emissão

de GEE (Lal, 2002). Assim, as pastagens têm potencial de desaceleração do aquecimento global em regiões de clima temperado e, principalmente, tropical. Porém, grande parte das pastagens tropicais se encontra em algum estágio de degradação, liberando C do solo para a atmosfera (FAO, 2007), agravando o aquecimento global.

Conforme pode-se observar na Figura 1, em sistemas mais tecnificados de produção pecuária, as pastagens podem compensar grande parte da emissão dos GEE devido ao maior número de animais na área (Soussana et al., 2007). Em virtude desse potencial e da enorme área ocupada por pastagens permanentes em todo o mundo, estas podem sequestrar mais de 4% da emissão global dos GEE na forma de MOS (Soussana; TALLEC; BLANFORT, 2010).

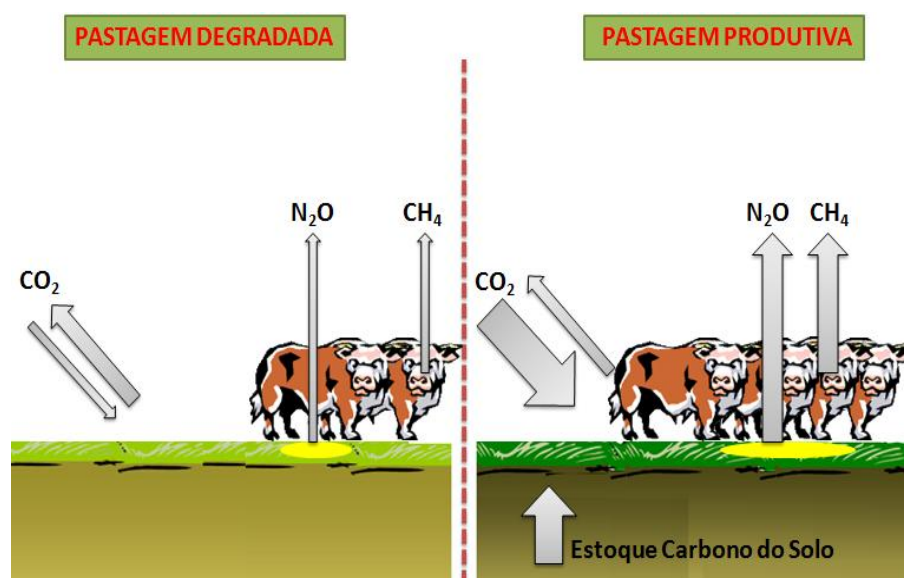


Figura 1 Incorporação de CO<sub>2</sub> atmosférico na matéria orgânica do solo em pastagens manejadas com baixa e alta tecnologias e insumos

Nota: A espessura das setas indica a intensidade dos fluxos de cada GEE

## 2.2 Aquecimento global

Neste início de século XXI, o aquecimento global tem sido apontado como um dos principais problemas para a humanidade. A maioria da comunidade científica aceita a existência do aquecimento global e alerta quanto à crescente severidade de eventos extremos e mudanças de padrões no clima. O que deve ficar esclarecido é que o efeito estufa é um fenômeno natural e decisivo para que a temperatura do planeta se estabilize em torno dos 15°C, permitindo que as espécies, tal como são conhecidas, se desenvolvam. Sucintamente, o processo de efeito estufa pode ser descrito da seguinte forma: a radiação de comprimento de onda longo emitida pela superfície dos oceanos e continentes incide sobre as moléculas de GEE na atmosfera, fazem sua estrutura se deformar (forçamento radioativo), aprisionando uma parcela de calor na atmosfera do planeta. A ação humana é responsável por desequilibrar a composição da atmosfera com o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e outros GEE, intensificando o efeito estufa e, conseqüentemente, o aumento da temperatura média global.

De acordo com o IPCC (2007a), as concentrações de CO<sub>2</sub> cresceram significativamente a partir de 1750, em virtude dos processos de expansão agrícola e industrialização. As emissões dos GEE, de modo geral, cresceram 70% no período entre 1970 e 2004 (IPCC, 2007b). O uso de fontes energéticas fósseis está intimamente ligado às altas concentrações do CO<sub>2</sub> na atmosfera, além das alterações no uso da terra, que têm importância marcante no processo de liberação de C em países agrícolas como o Brasil.

A elevação da temperatura média do planeta, prevista no atual cenário de emissão de GEE poderá afetar toda a população mundial, ao alterar os regimes de secas e inundações, e aumentar o nível de degradação dos sistemas naturais e agrícolas, diminuindo a biodiversidade e produtividade das culturas

(IPCC, 2007b). A habilidade dos ecossistemas para sequestrar  $\text{CO}_2$  é determinada pelo balanço entre a fotossíntese e a respiração, sendo que ambos dependem das condições climáticas. Com a elevação da temperatura terrestre, a eficiência fotossintética em muitas regiões pode ser prejudicada, agravando o equilíbrio dos sistemas em sequestrar o C atmosférico (KLUMPP et al., 2011).

Dessa maneira, algumas pesquisas indicam que o aumento da produtividade das culturas resultante da maior concentração de  $\text{CO}_2$  pode ser anulado pelos impactos negativos das altas temperaturas (CAMPBELL; HUNT, 2001; NOSBERGER; BLUM; FUHRER, 2000). Esses autores afirmam que altas temperaturas podem causar grande demanda evaporativa, levando ao aumento da evapotranspiração das plantas e redução da água do solo. Além das mudanças na produtividade das culturas, os aumentos de temperatura podem acelerar a atividade metabólica das comunidades de microrganismos encontrados no solo e, assim, prejudicar a incorporação de COS. Por isso, atualmente, além da eficiência agrônômica, os sistemas de produção animal e vegetal devem proporcionar ganhos ambientais e redução na emissão de GEE.

### **2.3 Carbono orgânico do solo**

A matéria orgânica do solo é composta principalmente por C (52-58%), O (34-39%), H (3,3-4,8%) e N (3,7-4,1%). Sua formação ocorre a partir da decomposição de resíduos orgânicos vegetais, animais e microbianos depositados acima e abaixo da superfície do solo, e sua dinâmica é determinada por processos químicos, físicos e biológicos do solo.

O COS é um componente importante dos ciclos do C e N, sendo que o seu conteúdo encontra-se estável em ambientes sob vegetação natural. A partir do momento em que ocorre a intervenção humana na área pode ocorrer menores entradas de C no sistema e maiores saídas via decomposição e exportação de

material, o que conduz à redução da qualidade e quantidade do COS (Cerri et al., 2007).

No solo, aproximadamente 95% do N se encontra associado ao COS, ou seja, na forma de N orgânico, enquanto os outros 5% restantes encontram-se em formas minerais, prontamente disponíveis para as plantas ou sujeitos a perdas por volatilização ou lixiviação. A disponibilidade de N no solo é controlada principalmente pela mineralização e imobilização, dois processos opostos que ocorrem durante a decomposição do COS pela população microbiana heterotrófica (Aita; Giacomini, 2007). O COS exerce papel fundamental na capacidade produtiva dos solos ao contribuir para a estabilidade da estrutura do solo, aumentar a capacidade de infiltração e retenção de água, fornecer nutrientes para as plantas, complexar elementos tóxicos e, melhorar a aeração e atividade biológica do solo. Além desses benefícios para as culturas, o COS é um enorme reservatório de C (1550 bilhões de toneladas), mais do que o C contido na biota (550 Pg) e atmosfera (760 Pg). Por essa razão, pequenas alterações no estoque de COS podem produzir grandes efeitos no sistema climático global. Estudos conduzidos em diferentes localidades da América Latina demonstram que em áreas de mata nativa 60% do carbono total do sistema se encontram no solo, já em áreas manejadas em silvipastoril esse valor chega a 90% e sistemas exclusivos de gramíneas podem atingir patamares de 95 a 98% desse total (Amézquita et al., 2008). Pelo fato de grandes áreas nos países de clima tropical apresentarem elevado grau de degradação, incluindo grande parte das pastagens do Brasil, é reconhecido que os trópicos possuem o maior potencial de mitigação de carbono em escala mundial (Lal, 2002).

Apesar de grande parte dos componentes do COS serem conhecidos, sua dinâmica no solo é bastante complexa. A retenção do COS envolve propriedades intrínsecas dos resíduos depositados, além de vários fatores físico-químicos, biológicos e ambientais, que interagem determinando a taxa de decomposição



(Schmidt et al., 2011). Segundo Schwendenmann e Pendall (2006), os tipos de uso da terra e as práticas de manejo são importantes para controlar os estoques de COS, por afetarem a quantidade e qualidade do material a ser decomposto e posteriormente estabilizado nos solos. Esses mesmos autores revelam que as inconsistências dos resultados de pesquisas sobre mudanças no COS se devem à complexidade física e química do mesmo, e que perdas de COS em uma fração podem ocorrer ao mesmo tempo em que ocorrem ganhos em outras frações do solo. O COS associado às frações de argila e silte é constituído por material mais humificado, resultando em decomposição mais lenta. Por outro lado, o COS pode ser de tamanho grosseiro (fração areia), constituindo o carbono orgânico particulado (COP), que devido à reduzida superfície específica e densidade de carga superficial das areias, é pobre em complexos organominerais, constituindo material mais facilmente decomponível pelos microrganismos do solo. No entanto, o solo deve apresentar quantidade adequada de COP para garantir o fluxo de C para o solo e manter a atividade biológica nesse sistema (Salton et al., 2011). Estudos realizados nos solos da Amazônia por Desjardins et al. (2004), em cronosequência após 15 anos de cultivo com pastagens de *Brachiaria humidicola*, evidenciaram que o aumento no conteúdo de COS derivado da pastagem foi mais acentuado na fração grosseira do solo (areia), imediatamente derivado do aporte das raízes.

Em áreas sob vegetação natural, por exemplo, o nível de COS resulta do equilíbrio dinâmico entre produção e aporte de resíduos, e sua decomposição e humificação. No entanto, esse equilíbrio pode ser rompido quando o solo é submetido ao cultivo, atingindo, dessa forma, um novo estado de equilíbrio, que varia de acordo com o sistema de manejo adotado. Outros fatores têm influência direta nos estoques de COS, como o clima e tipo de solo. Os solos tropicais argilosos podem proporcionar elevado teor e estabilidade do COS independente do sistema de manejo utilizado, pelo fato de nesses solos o COS estar adsorvido

às argilas e especialmente aos óxidos de Fe, o que constitui um mecanismo químico de proteção parcial contra o ataque microbiano (Zinn; LAL; RESCK, 2005).

Contudo, o sequestro de COS é um processo que pode ser revertido a depender das medidas de manejo adotadas. O distúrbio do solo pelas práticas excessivas de aração e gradagem, degradação da vegetação, queima e erosão, proporciona grandes perdas de COS (Dias-Filho, 2011) e consequente perda de sustentabilidade do sistema.

Nas condições tropicais úmidas, a dinâmica do COS é relativamente rápida em razão das condições de altas temperaturas e umidade que favorecem a decomposição microbiana. Embora a dinâmica e qualidade do COS sejam estudadas há algum tempo nos solos brasileiros, ainda há escassez de resultados para diferentes biomas e sistemas de uso da terra no País. Assim, estudos que visam à manutenção ou recuperação dos estoques de COS e N em diferentes agroecossistemas são muito importantes para contribuir para a sustentabilidade da produção e redução dos problemas ambientais decorrentes.

#### **2.4 Retenção de carbono orgânico e nitrogênio em solos de pastagens**

As gramíneas do gênero *Brachiaria* são atualmente de grande expressão em pastagens cultivadas em todo o Brasil, ocupando mais de 60 milhões de hectares. Porém, mais da metade das áreas de pastagem destinadas à atividade pecuária encontra-se em algum estágio de degradação (CARVALHO et al., 2011), resultando em baixa produção de biomassa vegetal e resíduos orgânicos e, portanto, em queda nos teores e estoques de COS, uma vez que a decomposição microbiana continua. A literatura mostra taxas de emissão de CO<sub>2</sub> muito variáveis em pastagens degradadas. Nesse contexto, Carvalho et al. (2010) afirmaram que essas estimativas podem ser de difícil mensuração uma vez que,

mesmo degradadas, algumas pastagens ainda contêm grande quantidade de biomassa subterrânea. Ainda, os diferentes métodos para classificar o nível de degradação das pastagens causam variabilidade considerável.

O estudo de metanálise sobre estoques de COS e mudanças de uso da terra conduzido por Guo e Gifford (2002), com dados da literatura mundial, evidenciou que a mudança de lavoura para pastagem aumenta, em média, 19% o estoque de COS, enquanto a mudança de floresta para pastagem eleva esse estoque em 8%. Na região dos Cerrados, a conversão de solos sob vegetação nativa em pastagens pode resultar em aumentos ou reduções de COS, a depender do estoque inicial e do manejo adotado. Da mesma forma, a substituição de florestas nativas por pastagem cultivada, em âmbito nacional, encontra relatos contraditórios na literatura em relação ao acúmulo de COS e N no solo. Alguns autores apontam estoques iguais ou superiores sob pastagem (DESJARDINS et al., 2004; MAQUERE et al., 2008; SCHWENDENMANN; PENDALL, 2006), enquanto outros observam perdas em relação à vegetação nativa (CARDOSO et al., 2010).

Trabalhos conduzidos em sistemas de integração lavoura-pecuária por Souza et al. (2009) com intensidades de manejo da pastagem, no Rio Grande do Sul, demonstram que em lavouras de soja rotacionadas com pastagens de aveia preta e azevém mantidas em distintas alturas de manejo, as menores intensidades de pastejo (20 e 40 cm de altura do pasto) promoveram aumento nos estoques de COS e NT do solo. Isso ocorre, por que nas áreas com maior intensidade de pastejo há menor aporte de C e N ao sistema em decorrência do maior pastejo animal e, como consequência, menor estoque desses elementos no solo. Pesquisas desenvolvidas por Maia et al. (2009), em 63 observações distribuídas nos estados de Rondônia e Mato Grosso, apontam também que medidas de manejo da pastagem como, por exemplo, pressão de pastejo moderada, fertilização, irrigação, consórcio com leguminosas e escolha de variedades mais

produtivas, asseguram maiores estoques de COS, independente dos tipos de solo. Baixas intensidades e frequências de desfolhação aumentam a área foliar remanescente das plantas e a captura de CO<sub>2</sub> atmosférico (SOUSSANA; TALLEC; BLANFORT, 2010), resultando em maiores estoques de COS. Follett e Schuman (2005), em estudo envolvendo 19 locais do mundo, verificaram que o aumento da produtividade de carne está associado a um maior sequestro de COS, até atingir um ponto de saturação. Isso ocorre porque sistemas pecuários baseados em pastagem quando almejam ser mais produtivos devem realizar medidas de manejo que viabilizem o acúmulo de MOS, o que pode garantir maior sequestro de C em sistemas terrestres.

Em Lavras - MG, Rangel e Silva (2007) constataram poucas alterações nos estoques de NT do solo nos sistemas de pastagem (*Brachiaria decumbens*), pinus, eucalipto e milho em sistemas de cultivo mínimo e convencional avaliados. Nesse estudo, tomando-se uma mata nativa semidecídua como referência, os sistemas de eucalipto e pastagem incrementaram o estoque de COS, respectivamente com 14,7 e 4,0 t ha<sup>-1</sup>, enquanto outros apresentaram redução nos estoques de COS, especialmente o milho em plantio convencional com perda de 28,2 t ha<sup>-1</sup> atribuída ao revolvimento constante do solo que rompe os seus agregados e aumenta a aeração, propiciando a rápida decomposição do COS.

Futuras pesquisas são necessárias para quantificar os estoques de C e N em pastagens formadas por diferentes espécies forrageiras e tipos de manejo nos distintos tipos de solo, topografia, clima, além da importância de estender as amostragens para camadas mais profundas a pelo menos 1 m de profundidade do solo (CHAN; MCBOY, 2010).

## 2.5 Contribuição das leguminosas para mitigação dos gases de efeito estufa em pastagens

O N é encontrado na atmosfera na forma principal de N<sub>2</sub> (aproximadamente 78% da composição do ar) e também na água, rochas e no solo, nas formas orgânicas e inorgânicas. Dentre os elementos considerados essenciais ao crescimento das plantas, o N é considerado um dos mais importantes pela quantidade necessária e por ser constituinte básico de aminoácidos e proteínas, controlando o crescimento das plantas e, proporcionando aumento da biomassa pela fixação de C (NABINGER, 2001).

O Brasil importa 60% do fertilizante nitrogenado que consome, sendo que em 2007 importou cerca 1,7 milhões de toneladas desse nutriente nas formas de ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio (KARIA et al., 2010). No atual cenário de preços de adubos, a aplicação mínima recomendada para esse nutriente (50 kg N ha<sup>-1</sup> de N) para as forrageiras é em algumas situações inviável para muitos pecuaristas (MARTUSCELLO et al., 2011). Nesse contexto, as leguminosas podem ser uma alternativa para fornecimento de N para as gramíneas via fixação biológica. O aporte de N que as leguminosas conferem ao sistema é basicamente a transferência do N biologicamente fixado ao solo e à gramínea acompanhante. São identificadas as seguintes formas de transferência: a) transferência direta pela excreção de compostos nitrogenados; b) decomposição de raízes e nódulos; c) decomposição de resíduos de folhas e caules (serrapilheira) e d) por meio de fezes e urina dos animais. Estudos realizados com *B. decumbens* consorciada com *Stylosanthes guianensis* comprovam que o uso desse sistema proporcionou ganhos de matéria seca total equivalente ao uso de 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (MARTUSCELLO et al., 2011). Resultados semelhantes foram encontrados por Paris et al. (2009) no estabelecimento do consórcio de *Arachis pintoi* com *C. nlemfuensis*.

A capacidade de acúmulo de COS em pastagens exclusivamente compostas por gramíneas é limitada pela deficiência de nutrientes no solo e, especialmente, pela baixa disponibilidade de N em função da baixa taxa de mineralização de resíduos recalcitrantes e pobres nesse nutriente. A leguminosa forrageira constitui-se em uma fonte importante de N, possibilitando incrementar sua disponibilidade no sistema solo-planta-animal. Dessa forma, poderiam ser obtidos significativos aumentos na fixação de COS, bem como reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa por unidade de produto (BARCELLOS et al., 2008).

O consórcio gramíneas-leguminosas em pastagens pode também contribuir para diminuir a emissão dos GEE de forma direta ou indireta. Por exemplo, a fabricação de fertilizantes nitrogenados utiliza intensamente energia derivada de petróleo (processo Haber-Bosch). Quando as leguminosas fixam N em simbiose no sistema, a energia despendida é proveniente de fonte renovável, o que diminui a dependência em combustíveis fósseis para esse propósito. O N suprido pela leguminosa balanceia a nutrição dos bovinos em pastagens, aumentando os índices de produtividade e diminuindo o ciclo de produção por animal. Além disso, plantas dessa família têm a propriedade de acumularem compostos secundários, como saponinas e taninos condensados que, ao fazer parte da dieta animal, diminuem a formação do metano entérico por serem tóxicos a alguns microrganismos do rúmen, responsáveis pela metanogênese (LASCANO; CÁRDENAS, 2010).

Graças as suas vantagens, as leguminosas, desde a década de 60, têm sido estudadas como alternativa para fornecimento de N aos ecossistemas de pastagens, em regiões de solos ácidos dos trópicos com baixo uso de insumos nitrogenados (ALMEIDA et al., 2002). No entanto, sua utilização em consórcio nas pastagens é restrita, em decorrência da baixa persistência das leguminosas, o que está associada à falta de técnicas de manejo específicas ou eficientes para

essas pastagens, e a adubação inadequada. Em razão das dificuldades de manejo, alguns autores até sugerem a utilização de áreas exclusivas de leguminosas. No entanto, pastagens exclusivas de leguminosas estão mais sujeitas à invasão de plantas indesejáveis, podem causar timpanismo nos animais (PAIM, 1995), além de proporcionar menor produção de biomassa vegetal e acelerar as taxas de decomposição dos resíduos, por causa da menor relação C/N, podendo resultar em menor retenção da MOS. De acordo com Giacomini et al. (2004), o consórcio entre espécies visa produzir fitomassa com relação C/N intermediária em relação aos monocultivos, proporcionando cobertura do solo por mais tempo e melhor sincronia entre oferta e demanda de N para as culturas associadas.

Embora o cultivo de leguminosas forrageiras esteja desgastado pelos insucessos do passado, é importante o desenvolvimento de novas práticas de manejo, associadas a novas cultivares geradas pela pesquisa (BARCELLOS et al., 2000). Revela-se, assim, a necessidade de um manejo flexível da pastagem, capaz de atender as exigências das plantas forrageiras, que compõem a consorciação, mas de maneira que uma não seja privilegiada em detrimento da outra, sendo possível que se estabeleça um equilíbrio entre as espécies (PARIS, 2006). Uma das alternativas de manejo seria aferir a persistência da leguminosa através de sua porcentagem no pasto. Alguns autores (PURCINO et al., 2005; SPAIN; PEREIRA, 1985) sugerem de 20 a 40% da participação da leguminosa nas pastagens, sendo que uma das maneiras de alcançar esse equilíbrio seria através da frequência de pastejo. Barcellos et al. (2000) propõem que, se o objetivo for aumentar o predomínio de leguminosas de crescimento ereto, como por exemplo, *Stylosanthes* spp., a pastagem deve ter o período de descanso maior. Por outro lado, para reduzir a participação das leguminosas, diminui-se o período de descanso. Comportamento similar não é verificado para leguminosas de crescimento prostrado, como o *Arachis* spp.

Estudos comparativos em áreas de pastagens exclusivas de gramíneas e consorciadas com leguminosas indicaram aumentos significativos nos estoques de COS em presença da leguminosa. Schunke et al. (2004), em pastagem pura de *B. decumbens* ou consorciada com *S. guianensis*, detectaram na camada superficial do solo (5 cm) estoques de COS superando em  $2,1 \text{ t.ha}^{-1}$  a quantidade observada em pastos puros, após 6 anos de implantação do sistema. No entanto, os estoques observados até a profundidade de 40 cm não foram estatisticamente diferentes em virtude do maior estoque total e maior variabilidade quando é considerada uma camada mais profunda. Trabalhos desenvolvidos com outras espécies de gramíneas e leguminosas tropicais evidenciam incrementos de COS da ordem de 20% em pastagens consorciadas de *B. humidicola* com *Desmodium ovalifolium* quando comparadas com *B. humidicola* solteira (TARRÉ et al., 2001), evidenciando a importância da atuação das leguminosas no processo de fixação do C no solo.

Adicionalmente, pesquisas demonstram (DIAS et al., 2006, 2007) que a presença de leguminosas em pastagem exerce efeito benéfico sobre a abundância e a diversidade da macrofauna do solo. Segundo esses autores, a presença das leguminosas proporciona maior teor de N na serrapilheira como um todo, resultando em menor relação C/N e melhoria do desenvolvimento e reprodução dos organismos do solo. A biota decompositora pode assim promover melhor reciclagem de nutrientes no solo e auxiliar na formação de macroagregados estáveis, que protegem o COS. Os benefícios das leguminosas no incremento da produção primária de forragem, no desempenho animal e nos impactos sobre as propriedades químicas e biológicas do solo reforçam a necessidade de ampliação desses estudos.



## 2.6 Sistema radicular e agregação do solo

A maior parte das pesquisas com plantas forrageiras se restringe aos estudos de sua parte aérea. Alguns autores já relatavam a falta de dados relacionados às pesquisas sobre raízes, mencionando-as como o componente esquecido das pastagens, estimando que em menos de 10% dos estudos mundiais sobre pastagens são efetuadas medições da biomassa subterrânea (Pagotto, 2001). De acordo com Rasse, Rumpel e Dignac (2005), as avaliações realizadas para verificar o COS têm dado mais ênfase aos resíduos culturais aportados acima do solo. No entanto, esses mesmos autores sugerem que a contribuição relativa do estoque de COS é maior no ambiente das raízes do que na parte aérea.

A importância do sistema radicular das plantas forrageiras não se restringe apenas à fixação da planta ao solo e absorção de água e nutrientes. O sistema radicular é fundamental à recuperação da planta forrageira após a desfolhação, além de ser componente principal do estoque de COS (Rasse; RUMPEL; DIGNAC, 2005). De modo geral, os pastos, apresentam distribuição escalonada e regular do sistema radicular até um metro de profundidade, com 46% das raízes na camada superficial do solo (0– 10 cm); 18,6% na camada de 10–20 cm; 22,8 % a 20–40 cm e 12,4 % a 40–100 cm, o que garante maior aporte de COS nas camadas superficiais (Moreira; Siqueira, 2006).

Algumas características das gramíneas podem influenciar significativamente o sequestro de COS: a) produção da parte aérea da planta; b) capacidade de cobertura do solo; c) composição química dos tecidos; e d) profundidade e densidade do sistema radicular. As raízes possuem características específicas que as tornam altamente eficientes para sequestrar COS. Rasse, Rumpel e Dignac (2005) apontam algumas propriedades das raízes que auxiliam nessa função, sua constituição de grande quantidade de lignina, apresentando

alta relação lignina/N e lignina/fósforo (P), o que torna sua decomposição mais lenta que a da parte aérea. Outro mecanismo associado à recalcitrância das raízes é a sua interação com a fração mineral do solo. Alguns compostos liberados pela rizosfera, como citratos solúveis, por exemplo, podem ser adsorvidos pelos óxidos de ferro (Fe), inibindo sua degradação. A rizosfera proporciona a formação de macroagregados do solo, que mantêm o COS parcialmente protegido no seu interior. Ainda, a agregação proporcionada pelas raízes é melhorada pela presença de hifas de fungos decompositores e por polissacarídeos excretados próximos à raiz, que contribuem como agentes agregantes. Finalmente, as raízes, ao crescerem em maiores profundidades no solo, possibilitam estocar COS em ambiente menos susceptível à decomposição, pois nessas camadas, ocorre maior escassez de nutrientes e energia (Schmidt et al., 2011).

Em ecossistemas de pastagem, a contínua produção, morte e decomposição das raízes representam a principal fonte de COS. Avaliando a dinâmica do sistema radicular em resposta a regimes de desfolha, Corsi, Martha Júnior e Pagotto (2001) mostraram que o material orgânico advindo do sistema radicular de plantas forrageiras tropicais apresenta baixas taxas de decomposição, em razão da presença de compostos resistentes à degradação (lignina e polifenóis, dentre outros) e uma larga relação entre teores de C e nutrientes. Dessa forma, o aumento no teor de COS sob pastagem está ligado não somente à quantidade de material depositado no solo, mas também à qualidade do material orgânico a ser degradado, o que garante maior permanência do COS no sistema.

A grande estabilidade dos agregados do solo sob pastagem deve-se ao crescimento e atividade do sistema radicular. As raízes, em resposta à ação mecânica decorrente do crescimento e processos fisiológicos do seu funcionamento, proporcionam o agrupamento de microagregados, ocasionando a

formação de macroagregados. Salton et al. (2008) concluíram que sistemas de manejo com pastagem permanente ou em rotação com lavoura, em plantio direto, favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho em relação à rápida renovação das raízes, à liberação de exsudados por hifas de micorrizas e à presença de polissacarídeos que são processos que garantem a preservação ou melhoria da estrutura dos solos sob pastagem.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização da área de estudo e clima

Esta pesquisa foi conduzida em área experimental do Departamento de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras - MG. As coordenadas e as altitudes das áreas do estudo são representadas na Tabela 1.

Tabela 1 Coordenadas geográficas e altitudes das áreas em estudo

Uso da terra	Latitude Sul	Longitude Oeste	Altitude (m)
MN	21 <sup>o</sup> 13'42"	44 <sup>o</sup> 58'13"	953
PE	21 <sup>o</sup> 14'09"	44 <sup>o</sup> 58'04"	939
PA	21 <sup>o</sup> 13'05"	44 <sup>o</sup> 58'06"	916
PP	21 <sup>o</sup> 13'54"	44 <sup>o</sup> 57'47"	921
MPC	21 <sup>o</sup> 14'07"	44 <sup>o</sup> 58'10"	911

MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em sistema de plantio convencional

O clima da região foi classificado como sendo do tipo CWa, no sistema de classificação de Köppen, com inverno seco e verão chuvoso, com médias anuais de precipitação e temperatura, respectivamente, de 1.460 mm e 20,4°C (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007) (Figura 2).

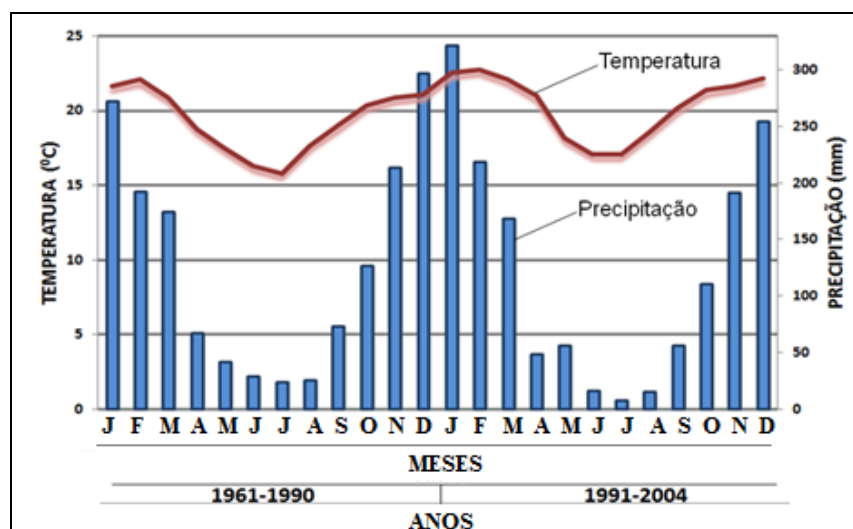


Figura 2 Precipitação pluvial e temperatura média na região de Lavras - MG. Adaptado de Dantas, Carvalho e Ferreira (2007)

### 3.2 Seleção das áreas no campo

Para comparar os tratamentos, conforme o tipo de manejo é necessário minimizar outros fatores que influenciam os teores e estoques de COS e NT no solo. Portanto, as áreas escolhidas estão geograficamente próximas entre si, minimizando a variabilidade dos fatores climáticos, pedológicos e topográficos.

As pastagens escolhidas no estudo possuem as plantas forrageiras mais cultivadas no território nacional, *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*, para garantir uma maior aplicabilidade dos resultados.

Na avaliação dos diferentes sistemas de usos da terra, foram selecionadas cinco áreas adjacentes, sendo uma para cada tipo de uso e manejo. Os tratamentos consistiram em: mata nativa (semidecidual), pastagem (*B. decumbens*), pastagens consorciadas (*B. brizantha* cv. Marandu com *Arachis pintoi* e *B. brizantha* cv. Xaraés com *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão) e milho em sistema de plantio convencional. A escolha desses sistemas foi feita

com base no histórico de uso e nas características dos sistemas de manejo adotados. As principais características dos sistemas avaliados são representadas no quadro a seguir (Tabela 2).

Tabela 2 Sistemas de usos e manejo do solo com seus respectivos históricos

Usos da terra	Símbolo	Histórico
<b>Mata Nativa</b>	<b>MN</b>	Remanescente de mata semidecidual, sem qualquer exploração ou interferência antrópica.
<b>Pastagem</b>	<b>PP</b>	Área anteriormente cultivada com milho para silagem no sistema de plantio convencional por 15 anos e, posteriormente, plantio de <i>Cynodon</i> spp. para produção de feno por 2 anos. Em 1990 foi implantada pastagem de <i>Brachiaria decumbens</i> , conduzida sob pastejo contínuo de bovinos.
<b>Pastagem+A. pintoi</b>	<b>PA</b>	Área anteriormente cultivada com milho para silagem no sistema de plantio convencional por 15 anos e, posteriormente, essa área ficou abandonada por 10 anos sem fertilização. Em 2007 foi implantada pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu consorciada com <i>Arachis pintoi</i> acesso BRA 040550, conduzida sob pastejo rotacionado de bovinos.
<b>Pastagem+S. guianensis</b>	<b>PE</b>	Área anteriormente cultivada com milho para silagem no sistema de plantio convencional por 15 anos e, posteriormente, essa área ficou abandonada por 10 anos sem fertilização. Em 2007 foi implantada pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Xaraés consorciada com <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão, conduzida sob pastejo rotacionado de bovinos.
<b>Milho: sistema de plantio convencional</b>	<b>MPC</b>	Sistema de plantio convencional (25 anos), com o preparo do solo realizado com uma aração e duas gradagens. A adubação e a calagem da cultura são conduzidas de acordo com a CFSEMG (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

### **3.3 Amostragem do solo**

A amostragem do solo foi efetuada em março de 2010. Após a seleção dos locais foram abertas três trincheiras (repetições) em cada área de estudo nas dimensões de 1,0 x 0,8 x 1,2 m, distantes 20 metros entre si, dentro dos tratamentos. Em cada trincheira foram coletadas aproximadamente 500 g de solo nas camadas avaliadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm. Amostras indeformadas de solo foram retiradas das mesmas profundidades com o auxílio de um cilindro de metal com volume interno de 78,3 cm<sup>3</sup>, denominado “anel de *Kopecky*”, para se determinar a densidade do solo e efetuar os cálculos dos estoques de COS e NT, além da avaliação de raízes. Foram coletadas amostras indeformadas em outro recipiente confeccionado com a parte inferior de uma caixa de embalagem “*tetrapak*”, para posterior análise de micromorfologia do solo.

### **3.4 Preparo das amostras de solo**

As amostras deformadas foram secas ao ar e passadas em um conjunto de peneiras de malhas 8,00; 4,75 e 2,00 mm, para obtenção de material para análise de agregados e terra fina seca ao ar (TFSA) para análises físicas e químicas, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997).

#### **3.4.1 Análise textural do solo**

A análise textural foi executada segundo o método da pipeta, descrito por EMBRAPA (1997), no qual foram transferidos 10 g de TFSA para uma garrafa de 500 ml e adicionados 10 ml de NaOH na concentração de 1 N e 200

ml de água. Em seguida, a garrafa foi acoplada no agitador de Wagner, permanecendo em uma rotação de 25–30 rpm durante aproximadamente 16 horas.

O material disperso passou por uma peneira de 0,053 mm com auxílio de jatos de água para lavar as partículas de areia da amostra, até que se obteve 500 ml de suspensão na proveta. A fração areia retida na peneira foi transferida para béquero de 100 ml e colocada em estufa a 105–110<sup>0</sup>C por pelo menos 24 horas. Respeitado o tempo de secagem em estufa, a areia foi colocada em dessecador para estabilização da temperatura, sendo posteriormente pesada.

A suspensão da proveta foi homogeneizada com o auxílio de um bastão, e a seguir, foi tomada a temperatura. Foi utilizada a fórmula padrão da Lei de *Stokes* ( $t = (9 \times h \times \eta) / [2 \times (D_p - D_f) \times g \times r^2]$ ) para calcular o tempo de sedimentação das partículas de silte. No procedimento do cálculo adotado, a profundidade de coleta (h) da suspensão da proveta foi de 10 cm. A aceleração da gravidade (g) foi tomada para as condições da região de Lavras - MG com o uso de tabelas, sendo a latitude de 21<sup>0</sup> e 920 m de altitude, a densidade de partícula (Dp) definida como sendo 2,65 g cm<sup>-1</sup>, a densidade do fluido (Df) e a sua viscosidade ( $\eta$ ) foi obtida com uso de tabela em função da temperatura do líquido após a agitação com o bastão e, o raio (r) correspondente da menor partícula de silte (2  $\mu$ m). Transcorrido o tempo de sedimentação da fração silte, foi possível separar uma suspensão purificada de argila, denominada argila total, de 10 ml, sendo esse material levado para secar em estufa a 105–110<sup>0</sup>C por 24 horas. Após esse intervalo, foi colocado para esfriar em dessecador e pesado. O peso correspondente ao silte foi calculado por diferença entre o total de solo utilizado pelo método da pipeta (10 g) e as frações somadas dos pesos de areia mais argila, como segue na equação 1.

$$\% \text{Silte} = 100 - \% \text{argila total} - \% \text{areia total fina} \quad (1)$$



### 3.4.2 Densidade do solo (Ds)

Utilizou-se a metodologia descrita por EMBRAPA (1997), que consiste no uso de anéis cilíndricos de volume conhecido. Determinou-se a densidade aparente do solo pela razão entre a massa da amostra seca a 105–110°C e o volume do anel, sendo a Ds calculada pela fórmula da equação 2.

$$D_s = M_s / V \quad (2)$$

Onde:

**Ds:** densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ); **Ms:** massa seca do solo (g); **V:** volume interno do anel volumétrico ( $\text{cm}^3$ ).

### 3.4.3 Distribuição de tamanho de agregados estáveis em água

A distribuição das classes de agregados do solo estáveis em água foi determinada pelo método descrito por Nimo e Perkins (2002). Agregados que ficaram retidos na peneira de abertura de 8 mm foram manualmente forçados através da mesma. Após 16 h de pré-umedecimento, as amostras foram transferidas para o topo do jogo de peneiras imersas em cuba com água (YODER, 1936), sendo que o nível de água foi suficiente para cobrir a peneira no topo mais alto de oscilação.

As amostras foram agitadas por 15 minutos a 42 oscilações por minuto, sendo, posteriormente, transferidas com auxílio de jato de água para potes de porcelana. As frações obtidas foram levadas para secagem em estufa por 48 horas a 60°C, conforme o esquema abaixo (Figura 3). A quantidade de agregados do solo retida em cada peneira e a fração de solo que transpassou a última peneira foi denominada, respectivamente, agregados do solo estáveis em água <2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,105; e >0,105 mm de diâmetro.

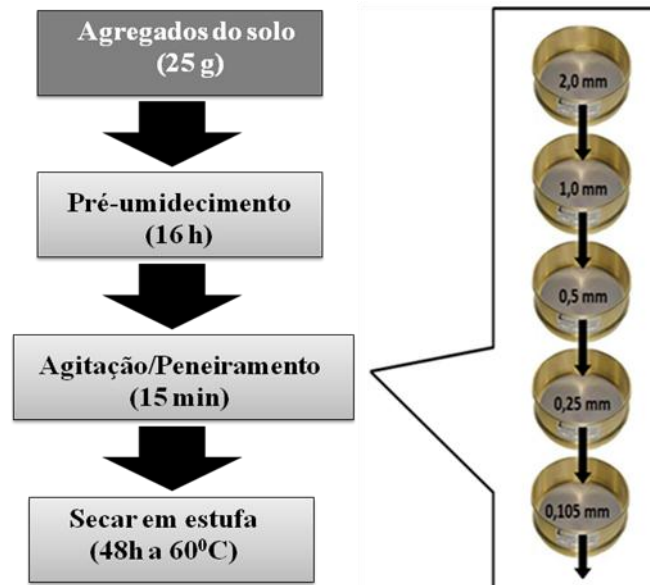


Figura 3 Apresentação esquemática do procedimento de análise para se determinar os agregados do solo estáveis em água

A partir dos valores de massa seca obtidos em cada peneira utilizada no procedimento, calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), segundo Nimmo e Perkins (2002), conforme as equações 3 e 4.

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n (n_i d) \quad (3)$$

$$\text{DMG} = 10^X \quad (X = [\sum_i^n (n_i \log d) / \sum_i^n n]) \quad (4)$$

onde:

**n<sub>i</sub>**: % dos agregados retidos em uma determinada peneira (forma decimal); **d**: diâmetro médio de uma determinada faixa de tamanho de agregados.

#### 3.4.4 Densidade de raízes

Consistiu na retirada de uma amostra com volume conhecido contendo solo e raízes. As raízes foram separadas por meio de lavagem com jato de água, utilizando peneiras com malhas de 0,250 mm e coletadas com auxílio de pinça. Após a separação, as raízes foram secas em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C, até massa constante, para a determinação da massa seca das raízes, por meio de pesagem, considerando três casas decimais. Os valores obtidos de massa seca de raízes foram divididos pelo volume do anel de coleta, conforme equação 5.

$$D_r = M_r / V \quad (5)$$

Onde: **D<sub>r</sub>**: densidade de raízes (g cm<sup>-3</sup>); **M<sub>r</sub>**: massa seca de raízes (g); **V**: volume interno do anel volumétrico (78,3 cm<sup>3</sup>).

#### 3.4.5 Micromorfologia do solo

As amostras indeformadas foram secas ao ar por 45 dias, e depois em estufa a 40, 60 por alguns dias, e finalizado a secagem por 24h a 105°C e, posteriormente, impregnadas sob vácuo com resina *epóxi silaex SQ 2003/3182*. Quando a resina penetrou efetivamente nos poros do solo, a emissão de bolhas de ar começa a cessar. As amostras impregnadas foram submetidas à secagem por 5 horas em estufa a 100°C, e depois por 5h a 190°C, para que ocorresse o endurecimento e cura da resina. O solo impregnado com a resina já endurecida foi cortado em serra diamantada, polido com papel lixa e colado em lâminas de vidro, que receberam um corte delgado próximo à lâmina.

### **3.4.6 Difractometria de raios-x da fração argila**

As análises de difratometria de raios-x foram realizadas e interpretadas segundo Resende et al. (2005). As frações de argila isoladas na análise granulométrica do solo da mata nativa referência, nos horizontes A e B (profundidades 0-12 e 42-65 cm, respectivamente) foram saturadas com  $MgCl_2$  concentrado, até obter quantidade suficiente para análise. Em seguida, uma alíquota de 5 ml de uma suspensão de argila foi pipetada sobre lâminas de vidro, formando uma película com a evaporação à temperatura ambiente, permitindo que os minerais planares ficassem paralelos uns aos outros, intensificando assim os picos diagnósticos. Após a secagem, as lâminas foram levadas ao difratômetro de raios-x *Phillips*® PW 1830/1840 (Lelyweg, Holanda), com radiação  $CoK\alpha$ , em passos de  $0,01^\circ$ , no intervalo de  $2-40^\circ 2\theta$ , a 25 mA/35kV.

### **3.4.7 pH do solo**

O pH do solo foi medido em suspensão solo:água, na proporção de 1:2,5, com a leitura em potenciômetro com eletrodo combinado, realizada após agitar a mistura com bastão de vidro por 30 segundos e deixando-a repousar por 1 hora.

### **3.4.8 P e K disponíveis**

Para extração de P e K disponíveis, colocou-se em erlenmeyer de 250 ml,  $10\text{ cm}^3$  de TFSA e adicionou-se 100 ml de solução extratora Mehlich-1 ( $HCl$  0,05 N +  $H_2SO_4$  0,025 N), seguido por 5 minutos em agitador circular horizontal e repouso durante aproximadamente 16 horas.

Para determinação de P, foram pipetados 5 ml do sobrenadante, adicionados 10 ml de solução ácida de molibdato de amônio diluída e ácido ascórbico como redutor, agitando-se e deixando-se em repouso por 30 minutos, para desenvolver a cor. Foi feita a leitura no fotocolorímetro, usando filtro vermelho (comprimento de onda = 725 nm). Para determinação de K foram pipetados 20 ml do sobrenadante do extrato e realizada a leitura no fotômetro de chama.

#### **3.4.9 Fósforo remanescente (P-rem)**

Para determinação do P-rem, em erlemmeyer de 125 ml foram adicionados 5 cm<sup>3</sup> de TFSA e 50 ml de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de P. O preparado foi agitado por 5 minutos e deixado em repouso durante aproximadamente 16 horas. Tomou-se uma alíquota de 10 ml do sobrenadante em balão volumétrico de 50 ml, completando-se o volume com água destilada. Misturaram-se 5 ml da solução diluída com 5 ml da solução coquetel (solução 725 + ácido ascórbico). Decorridos 30 minutos, foi feita a leitura da absorbância no comprimento de onda de 725 nm. O P-rem foi calculado, considerando-se a diluição de 5 vezes.

#### **3.4.10 Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis**

Para as determinações dos teores de Ca, Mg e Al trocáveis do solo, foram adicionadas em um erlenmeyer de 250 ml, 10 cm<sup>3</sup> de TFSA, sendo a extração desses elementos efetuada com a adição de 100 ml de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. No momento em que a amostra de solo entra em contato com a solução extratora, o conjunto é agitado durante 5 minutos em agitador circular horizontal e, posteriormente, fica em repouso durante aproximadamente 16 horas.

Decorrido o tempo de espera, os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Para a determinação de Al trocável, foi feita a titulação com NaOH 0,0125 mol L<sup>-1</sup>, após a adição de azul de bromotimol como indicador, seguindo a metodologia adaptada do SNLCS (EMBRAPA, 1997) por Tedesco et al. (1995).

### 3.4.11 Acidez potencial

Para a determinação da acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>), foram adicionados 5 cm<sup>3</sup> de TFSA em erlenmeyer de 125 ml e, posteriormente, 75 ml de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> (pH 7,1-7,2), com a agitação do conjunto por pelo menos 16 horas. Após o período de agitação, foi retirada uma quantidade de 25 ml da solução e adicionadas 2 gotas do indicador fenolftaleína e, posteriormente, procedeu-se a titulação alcalimétrica do extrato com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, segundo metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

### 3.4.12 Soma de bases, capacidade de troca de cátions, saturação por bases e saturação por alumínio

Os cálculos de soma de bases, CTC efetiva, CTC a pH 7 e as saturações por bases e por Al foram estimados conforme descrito por Meurer (2004), seguindo as seguintes equações:

$$\text{Soma de bases (SB) (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ \quad (6)$$

$$\text{CTC efetiva (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \text{SB} + \text{Al}^{3+} \quad (7)$$

$$\text{CTC a pH 7,0 (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \text{SB} + (\text{H} + \text{Al}) \quad (8)$$

$$\text{Saturação por bases (V) (\%)} = (\text{SB} / \text{CTC pH 7}) \times 100 \quad (9)$$

$$\text{Saturação por Al}^{3+} \text{ (m) (\%)} = \text{Al}^{3+} / (\text{SB} + \text{Al}^{3+}) \times 100 \quad (10)$$

### 3.4.13 Determinação do teor de carbono do solo

Para a análise dos teores de COS, uma porção de aproximadamente 25 g de TFSA foi moída até que passasse totalmente em peneira de 100 *mesh* (0,150 mm). Do material peneirado, foram pesados de 3 a 5 mg em folhas de estanho embrulhadas e, posteriormente, acondicionados em analisador elementar Vario Micro Cube. Para fazer a correção de umidade residual, parte desse solo foi seca em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  por 24 h.

### 3.4.14 Determinação do teor de carbono da fração areia

As amostras de areia coletadas durante a análise textural (ZINN et al., 2007) foram moídas de modo a passarem pela peneira de 100 *mesh* (0,150 mm). Do material peneirado, foram pesados 20 mg em folhas de estanho, embrulhadas e colocadas no analisador elementar para análise de C total, no aparelho de combustão a seco no analisador elementar *Vario Micro Cube*.

### 3.4.15 Determinação do teor de nitrogênio do solo

O N total foi determinado por digestão com ácido sulfúrico e água oxigenada, e posteriormente o extrato obtido foi submetido à destilação a vapor (Kjeldahl) com hidróxido de sódio e titulação do coletado com indicador de ácido bórico. Nessa determinação foi utilizado o método descrito por Tedesco et al. (1995) que envolvem o uso de uma mistura digestora à base de  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$  e selênio. Para cada amostra de 0,1 g de solo foi adicionado 1,1 g da mistura digestora e 3,0 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  p.a. A digestão foi realizada a  $350^{\circ}\text{C}$  em bloco digestor de 40 provas, com posterior destilação a vapor. O destilado foi recolhido em solução de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ( $20 \text{ g L}^{-1}$ ), e em seguida foi misturada a uma

solução de verde de bromocresol e vermelho de metila e, finalmente, titulada com solução de HCl 0,01 mol L<sup>-1</sup>. Para fazer a correção de umidade residual, partes desse solo foram secas em estufa a 103±2°C por 24 h.

#### 3.4.16 Cálculo dos estoques de C e N do solo

Os estoques de C e N foram calculados a partir dos teores de C e N com a densidade do solo para cada camada amostrada (equação 11) (NEILL et al., 1997).

$$E = d \times h \times X \quad (11)$$

Sendo:

**E:** estoque de C ou N total do solo (Mg ha<sup>-1</sup>); **d:** densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>); **h:** espessura da camada amostrada (cm); **X:** teor de C ou N total do solo (g kg<sup>-1</sup>).

\*Observação: no cálculo dos estoques de C e N do solo a profundidade foi ajustada em cada sistema em função da massa de solo equivalente, tomando-se a mata nativa como referência.

### 3.5 Estatística do experimento

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, constando de cinco áreas (tratamentos) com três repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância ao nível de significância de 5% de probabilidade, analisados através do teste F (p<0,05) com o propósito de conhecer as diferenças significativas em cada profundidade e dos sistemas de uso e manejo do solo pelo procedimento ANOVA. Quando o efeito de uso da terra mostrou-se significativo pela ANOVA, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p < 0,05) para caracterizar as diferenças. As análises estatísticas



foram realizadas com o auxílio do aplicativo computacional SISVAR (FERREIRA, 2000) e as figuras através do programa Sigma Plot®. O modelo estatístico utilizado para a análise dos dados segue abaixo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

$Y_{ij}$ : observação referente ao tratamento  $i$  na repetição  $j$ ;

$\mu$ : média dos tratamentos;

$T_i$ : efeito do tratamento  $i$ ;

$e_{ij}$ : erro aleatório associado à observação  $Y_{ij}$ .

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Caracterização do solo sob mata nativa**

Neste estudo, foi realizada a caracterização do solo sob mata nativa, estabelecido como referência, buscando associar essas características com as influências de práticas de manejo realizadas nas áreas em estudo.

De acordo com as características mineralógicas do solo estudado, pode-se perceber nos gráficos de difratografia de raio-x da fração argila (Figura 4) que há predomínio por gibbsita, hematita, goethita e caulinita, minerais típicos de Latossolos brasileiros. Segundo Resende (1990), altas proporções de goethita, hematita e gibbsita compostas por óxidos de Fe e Al diminuem o arranjo face a face das argilas, o que dificulta a gênese de estruturas em bloco e, ocasiona a formação de estruturas do tipo granular. Provavelmente, a composição mineralógica da argila possa explicar o predomínio desse tipo de estrutura no solo do presente estudo. Essa estrutura granular composta por agregados estáveis é uma das características marcantes nos Latossolos. A ação de agregar as partículas do solo também pode ser realizada pelos organismos presentes, conforme observa Portugal (2005), que relata que as estruturas do tipo granular no solo de mata está relacionada à ação biogênica e aos altos aportes de matéria orgânica encontrados nesse sistema, e que inclusive a ação da biota do solo pode ser, a principal influência da formação de estruturas desse tipo, já que muitos Latossolos e Argissolos possuem essa estrutura, mesmo que contenha argila composta com baixos teores de óxidos.

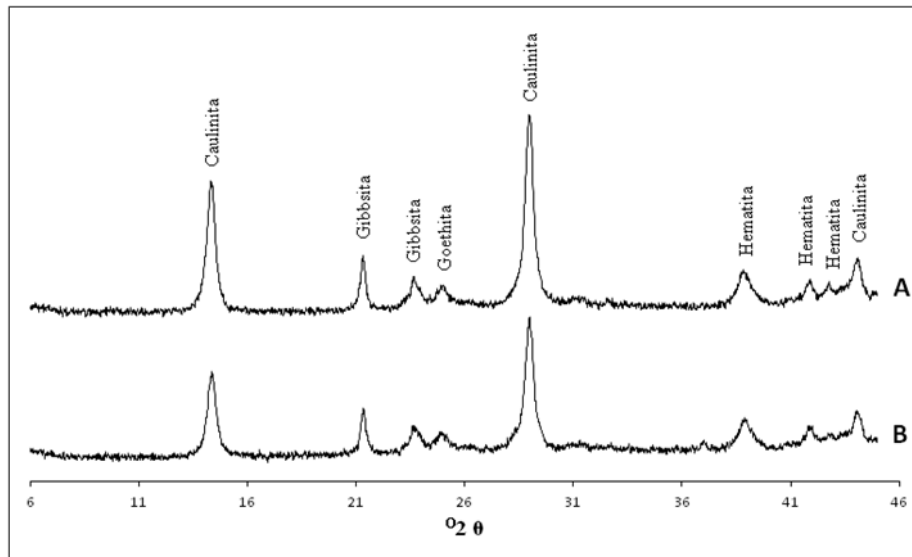


Figura 4 Difratoograma com a composição mineralógica da fração argila do solo sob mata nativa

Nota: horizontes A (profundidade de 0-12 cm) e B (profundidade de 42-65 cm)

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). Pode-se observar em todas as camadas que os valores de argila foram altos, enquanto que os de silte foram baixos (Tabela 3), indicando que são solos bastantes intemperizados. A densidade do solo (DS) apresentou valores de  $0,68 \text{ g cm}^{-3}$  na camada mais superficial, aumentando em profundidade, atingindo a máxima densidade na camada de 40-60 cm, com  $1,03 \text{ g cm}^{-3}$  (Tabela 3). Maiores densidades do solo em profundidade podem ser explicados pela redução no teor de COS que possui menor densidade comparada às partículas do solo, e provavelmente outros fatores a exemplo das menores macroporosidade, menor penetração de raízes e maior compactação ocasionada pelo peso das camadas sobrejacentes.

Tabela 3 Valores médios para argila, areia, silte e densidade do solo (Ds), em solo sob mata nativa em diferentes profundidades

Profundidade cm	Argila	Areia	Silte	Ds
	g kg <sup>-1</sup>			g cm <sup>-3</sup>
0-5	719	125	155	0,68
5-10	741	138	122	0,88
10-20	742	135	122	0,98
20-40	688	130	182	1,01
40-60	773	119	108	1,03
60-100	768	128	104	1,00

O solo apresentou elevada acidez em todas as profundidades avaliadas (Tabela 4), de acordo com o pH em água. Ocorreu variação de pH de 4,5 (profundidade 0-5 cm) a 4,9 (profundidade 20-40 cm), observando uma pequena elevação em maiores profundidades, em acordo com menores teores de Al<sup>3+</sup>, H+Al (Tabela 4 e 5) e COS (Tabela 14) que acidificam o solo. Os valores de Al<sup>3+</sup> são considerados altos (TOMÉ JÚNIOR, 1997) para os solos de mata nativa até a profundidade de 20 cm e decrescem em profundidade, atingindo o menor valor de 0,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup> na camada de 60-100 cm. De acordo, com a classificação agrônômica de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), todos os nutrientes avaliados foram classificados como de baixo teor nos solos de mata nativa em todas as profundidades, sendo que os nutrientes P e K tiveram diminuição acentuada com a profundidade. No ambiente de mata nativa grande parte dos nutrientes se encontram alocados na grande biomassa da vegetação presente, o que agrava a baixa disponibilidade de nutrientes que já é baixa em solos altamente intemperizados (PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010).

Tabela 4 Valores médios para as propriedades químicas do solo sob mata nativa em diferentes profundidades

Profundidade cm	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>		cmol dm <sup>-3</sup>		
0-5	4,50	4,36	51,66	0,13	0,10	2,70
5-10	4,57	3,23	32,33	0,10	0,10	2,00
10-20	4,70	1,80	28,00	0,10	0,10	1,77
20-40	4,90	1,00	11,33	0,10	0,10	1,00
40-60	4,83	0,67	5,33	0,10	0,10	0,77
60-100	4,77	0,60	2,30	0,10	0,10	0,30

pH: (solo:água – 1:2,5); P: fósforo disponível; K<sup>+</sup>: disponível; Ca<sup>2+</sup>: cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup>: magnésio trocável; Al<sup>3+</sup>: alumínio trocável

A acidez potencial (H+Al) é classificada como sendo muito alta (TOMÉ JUNIOR, 1997) e segue comportamento similar ao observado para o Al<sup>3+</sup> (Tabela 5), com valores proporcionais ao teor de COS. Os altos teores de Al<sup>3+</sup> encontrados nas camadas até 60 cm indicam também elevada saturação por alumínio (m), que varia de 88,13 a 78,07 % (Tabela 5).

A mata nativa também apresentou baixos valores para SB em virtude dos baixos teores de cátions trocáveis (Tabela 5). Nesse Latossolo foi verificada a saturação por bases (V) muito baixa (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999), valores dessa magnitude são encontrados frequentemente nos Latossolos, cuja principal causa é o alto grau de intemperismo desses solos (REATTO; CORREIA; SPERA, 1998).

Os valores de CTC a pH 7,0 (T) (Tabela 5) são classificados como muito bom, bom e médio, respectivamente, para os intervalos de profundidade de 0-5, 5-20 e 20-100 (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). Foi observado que os valores de CTC a pH 7,0 (T) (Tabela 5) até a profundidade de 20 cm são proporcionais aos teores de COS, pois a maioria dos sítios de troca é constituída

por grupos protonáveis de substâncias húmicas, a exemplo das carboxilas (radicais de ácidos orgânicos).

Tabela 5 Valores médios as para características químicas do solo sob mata nativa em diferentes profundidades

<b>Profundidade</b>	H+Al	SB	t	T	V	m
<b>cm</b>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%		
0-5	17,17	0,37	3,07	17,60	2,10	88,13
5-10	12,43	0,30	2,30	12,73	2,30	87,40
10-20	10,30	0,30	2,07	10,57	2,63	86,37
20-40	7,37	0,20	1,20	7,60	3,07	80,70
40-60	6,10	0,20	0,97	6,37	3,43	78,07
60-100	4,37	0,20	0,50	4,60	4,53	56,50

H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; t: capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva; T: capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio

Apesar da baixa fertilidade natural verificada pelas análises químicas, o solo sob mata nativa possui boas propriedades físicas, que o tornam apto a ser utilizado para a agropecuária, desde que receba fertilizantes, calagem e manejo adequado.

#### 4.2 Efeitos do uso da terra nas propriedades químicas do solo

Os atributos químicos do solo apresentaram efeito significativo dos diferentes usos da terra nas profundidades avaliadas, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 Níveis de significância da análise de variância para as características químicas do solo em diferentes profundidades

Fontes de variação	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m
Usos da terra (0-5 cm)	***	**	***	*	**	***	***	**	ns	***	***	***
Usos da terra (5-10 cm)	**	ns	**	*	**	***	***	*	ns	***	**	***
Usos da terra (10-20 cm)	**	ns	ns	*	**	***	***	**	ns	***	**	***
Usos da terra (20-40 cm)	***	ns	*	***	ns	***	***	***	*	***	***	***
Usos da terra (40-60 cm)	***	ns	ns	***	ns	***	***	***	*	**	***	***
Usos da terra (60-100 cm)	***	ns	ns	***	ns	ns	*	***	*	*	***	*

\* significativo para  $p < 0,05$ ; \*\* para  $p < 0,01$ ; \*\*\* para  $p < 0,001$ ; n.s. não significativo  
 pH: (solo:água – 1:2,5); P: fósforo disponível; K<sup>+</sup>: disponível; Ca<sup>2+</sup>: cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup>: magnésio trocável; Al<sup>3+</sup>: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; t: capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva; T: capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio

Os sistemas de uso da terra alteraram o pH, que foi significativamente maior nos três sistemas de pastagem e lavoura de milho (Tabela 7), nas seis profundidades avaliadas, com valores de acidez do solo considerados médios, segundo Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999). Apenas na camada mais profunda, não há diferença significativa (Tabela 6) dos teores de Al<sup>3+</sup> entre os sistemas avaliados. A acidez potencial (H+Al) foi fortemente reduzida na camada superficial pelos sistemas de manejo, em acordo com a redução nos teores de COS (Tabela 14). Foram encontrados valores cinco vezes menores ao se comparar a mata nativa com pastagem consorciada com *Arachis* sp. (17,17 vs 3,27 cmol<sub>c</sub> H+Al dm<sup>-3</sup>). Nos atributos de acidez avaliados, houve uma tendência

da pastagem de *B. decumbens* apresentar o solo mais ácido do que os outros sistemas de manejo.

O P disponível apresentou níveis baixos a muito baixos, de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), para todos os ambientes, com maiores valores nas camadas superficiais, principalmente na pastagem consorciada com *S. guianensis* (Tabela 7). O aumento de P disponível em superfície nesse ambiente pode ser atribuído à aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfatos simples e triplo na época do estabelecimento desse consórcio, aliada ao não revolvimento do solo, como também à baixa mobilidade do elemento no perfil do solo.

Os valores de K<sup>+</sup> disponíveis mostram níveis altos para as áreas de pastagens e médios para os sistemas de milho e mata nativa na camada mais superficial (Tabela 7), segundo Tomé Junior (1997). Houve diferença significativa até a camada de 40 cm de profundidade, e a partir dos 20 cm os valores são considerados como muito baixos. Os maiores teores de K superficiais podem ser explicados pelas adições anuais de fertilizantes na cultura do milho, ou na adubação de manutenção das pastagens.

Os valores encontrados para o Ca<sup>2+</sup> trocável apresentaram diferenças significativas entre os sistemas em todas as profundidades, sendo considerados valores médios para as áreas de pastagens nas duas primeiras camadas superficiais do solo e baixos para todos os sistemas nas camadas mais profundas (Tabela 7), de acordo com Tomé Junior (1997). O Ca<sup>2+</sup> é considerado um elemento pouco móvel no solo e os maiores teores na camada superficial podem ser atribuídos à ciclagem dos nutrientes com a decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo (FALLEIRO et al., 2003). No entanto, os teores de Ca<sup>2+</sup> apresentaram menor variação em profundidade na cultura do milho, pois a área de lavoura recebe maior quantidade de calcário desde a sua implantação



há 25 anos, que é incorporado durante as práticas agrícolas de aração e gradagem.

A dinâmica do  $Mg^{2+}$  trocável foi semelhante a do  $Ca^{2+}$  até a camada de 20 cm. A partir dessa profundidade os sistemas não apresentaram diferença estatística entre si (Tabela 6). As maiores concentrações de  $Mg^{2+}$  foram observadas na camada superficial do solo, com decréscimo em profundidade. O  $Mg^{2+}$  apresentou a maior concentração para a pastagem consorciada com *Arachis pintoi*, com valores na camada mais superficial, considerados altos, de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), sendo que as diferenças observadas entre os sistemas se restringiram até a camada de 20 cm de profundidade (Tabela 7). Os maiores teores de Ca e Mg foram verificados nos sistemas que receberam a aplicação de calcário, a principal fonte desses nutrientes.

Tabela 7 Atributos químicos do solo dos diferentes sistemas de uso da terra

Usos da terra	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
0-5 cm						
MN	4,50 B	4,36 B	51,66 B	0,13 B	0,10 B	2,70 A
PE	5,70 A	13,94 A	97,24 A	2,20 AB	0,60 B	0,20 B
PA	6,06 A	2,24 B	77,48 A	3,07 A	1,13 A	0,07 B
PP	5,73 A	1,77 B	78,00 A	3,23 A	0,60 B	0,20 B
MPC	5,93 A	5,98 AB	43,16 B	1,90 AB	0,43 B	0,07 B
5-10 cm						
MN	4,57 B	3,23 A	32,33 BC	0,10 B	0,10 C	2,00 A
PE	5,57 A	3,69 A	65,00 A	2,03 AB	0,57 AB	0,23 B
PA	6,07 A	2,65 A	54,60 AB	2,60 A	0,87 A	0,07 B
PP	5,73 A	1,41 A	48,36 ABC	2,50 A	0,23 BC	0,33 B
MPC	5,87 A	3,79 A	28,08 C	1,70 AB	0,43 BC	0,13 B

“Tabela 7, conclusão”

Usos da terra	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
10-20 cm						
MN	4,70 B	1,80 A	28,00 A	0,10 B	0,10 B	1,77 A
PE	5,60 A	2,31 A	45,76 A	1,87 A	0,37 AB	0,27 B
PA	5,87 A	1,41 A	39,52 A	1,60 A	0,57 A	0,17 B
PP	5,60 A	1,32 A	36,40 A	1,43 A	0,13 B	0,47 B
MPC	5,53 A	1,68 A	20,80 A	1,00 AB	0,27 AB	0,17 B
20-40 cm						
MN	4,90 C	1,00 A	11,33 B	0,10 D	0,10 A	1,00 A
PE	5,77 A	1,23 A	14,04 AB	1,63 A	0,17 A	0,13 BC
PA	5,47 AB	1,05 A	20,80 A	0,77 BC	0,20 A	0,37 BC
PP	5,30 B	1,14 A	18,20 AB	0,37 CD	0,10 A	0,60 AB
MPC	5,53 AB	1,05 A	19,76 AB	0,90 B	0,17 A	0,00 C
40-60 cm						
MN	4,83 C	0,67 A	5,33 A	0,10 C	0,10 A	0,77 A
PE	5,87 A	1,05 A	6,76 A	1,43 A	0,10 A	0,03 C
PA	5,60 AB	1,05 A	13,00 A	0,67 B	0,10 A	0,27 BC
PP	5,23 BC	0,97 A	9,36 A	0,20 BC	0,10 A	0,50 AB
MPC	6,10 A	1,06 A	14,04 A	1,17 A	0,10 A	0,00 C
60-100 cm						
MN	4,77 C	0,60 A	2,3 A	0,10 C	0,10 A	0,30 A
PE	5,83 B	1,14 A	5,20 A	0,93 A	0,10 A	0,00 A
PA	5,90 AB	0,88 A	5,72 A	0,73 AB	0,10 A	0,03 A
PP	5,37 BC	0,97 A	4,16 A	0,13 BC	0,10 A	0,17 A
MPC	6,60 A	1,05 A	5,72 A	1,20 A	0,13 A	0,00 A

pH: (solo:água – 1:2,5); P: fósforo disponível; K<sup>+</sup>: disponível; Ca<sup>2+</sup>: cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup>: magnésio trocável; Al<sup>3+</sup>: alumínio trocável. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em sistema de plantio convencional

As diferenças observadas para SB foram significativas em todas as profundidades avaliadas, sendo os menores valores para os solos de mata nativa e milho até a camada de 20 cm. Logo após essa camada, os valores mais baixos foram para mata nativa e pastagem de *B. decumbens* (Tabela 8).

Os resultados de CTC a pH 7 (T), assim como os de SB, apresentaram os maiores valores nas camadas superficiais (Tabela 8), onde também foram

verificados os maiores teores de COS, e decresceram com a profundidade. A mata nativa diferiu estatisticamente das demais áreas, apresentando maiores valores de CTC até a profundidade de 20 cm (Tabela 8).

De modo geral, os teores dos nutrientes foram maiores nos solos de pastagens, principalmente as consorciadas, e lavoura de milho, comparativamente à mata nativa. Isso fica evidente ao comparar os valores de saturação por bases da CTC a pH 7,0 (V), pois esse parâmetro reflete a porcentagem dos sítios de troca de cátions do complexo coloidal do solo que estão ocupados por bases (Ca, Mg, K). As diferenças significativas (Tabela 6) em todas as camadas, para os valores de V, confirmam que os usos mais intensivos da terra com a utilização de adubos e corretivos aumentaram conforme esperado os teores de nutrientes no solo.

Tabela 8 Atributos químicos do solo dos diferentes sistemas de usos da terra

Usos da terra	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	t cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	T cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V %	m	P-rem mg L <sup>-1</sup>
0-5 cm							
MN	17,17 A	0,37 B	3,07 A	17,60 A	2,10 B	88,13 A	11,17 D
PE	4,38 B	3,05 A	3,25 A	7,43 BC	41,21 A	6,16 B	28,43 A
PA	3,27 B	4,40 A	4,47 A	7,67 BC	57,13 A	1,64 B	19,21 BC
PP	5,38 B	4,03 A	4,23 A	9,41 B	41,92 A	7,44 B	15,99 CD
MPC	3,38 B	2,44 AB	2,51 A	5,82 C	41,82 A	3,02 B	25,13 AB
5-10 cm							
MN	12,43 A	0,30 B	2,30 A	12,73 A	2,30 B	87,40 A	11,00 B
PE	4,36 B	2,77 A	3,00 A	7,12 BC	38,87 A	7,79 B	26,43 A
PA	3,39 B	3,61 A	3,67 A	7,00 BC	51,76 A	1,84 B	19,32 AB
PP	5,78 B	2,86 A	3,19 A	8,64 B	34,56 AB	18,02 B	14,69 B
MPC	2,98 B	2,21 AB	2,34 A	5,18 C	42,52 A	6,85 B	19,74 AB
10-20 cm							
MN	10,30 A	0,30 B	2,07 A	10,57 A	2,63 B	86,37 A	10,73 B
PE	4,06 B	2,35 A	2,62 A	6,41 BC	36,69 A	10,11 B	21,73 A
PA	3,66 B	2,27 A	2,43 A	5,93 BC	38,56 A	7,36 B	14,61 AB
PP	5,91 B	1,66 AB	2,13 A	7,57 B	21,85 AB	27,31 B	12,98 B
MPC	3,14 B	1,32 AB	1,49 A	4,46 C	29,70 A	12,15 B	15,81 AB

“Tabela 8, conclusão”

Usos da terra	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	t cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	T cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V %	m mg L <sup>-1</sup>	P-rem mg L <sup>-1</sup>
20-40 cm							
MN	7,37 A	0,20 D	1,20 B	7,60 AB	3,07 C	80,70 A	7,57 B
PE	3,12 BC	1,84 A	1,97 A	4,96 C	36,87 A	7,05 D	18,03 A
PA	4,73 B	1,02 BC	1,39 AB	5,75 BC	17,81 B	26,91 C	11,51 AB
PP	7,60 A	0,51 CD	1,11 B	8,11 A	6,31 C	54,04 B	10,55 AB
MPC	2,51 C	1,12 B	1,12 B	3,63 C	30,98 A	0,00 D	12,20 AB
40-60 cm							
MN	6,10 A	0,20 C	0,97 AB	6,37 A	3,43 C	78,07 A	6,53 AB
PE	2,25 BC	1,55 A	1,58 A	3,80 B	40,83 A	1,83 B	14,99 A
PA	3,84 B	0,80 B	1,07 AB	4,64 AB	17,27 B	22,87 A	7,22 AB
PA	3,84 B	0,80 B	1,07 AB	4,64 AB	17,27 B	22,87 A	7,22 AB
PP	5,86 A	0,32 BC	0,82 B	6,19 A	5,25 C	61,72 A	7,13 AB
MPC	1,66 C	1,30 A	1,30 AB	2,96 B	43,92 A	0,00 A	3,20 B
60-100 cm							
MN	4,37 A	0,20 B	0,50 B	4,60 A	4,53 C	56,50 A	4,37 AB
PE	1,81 C	1,05 A	1,05 AB	2,85 AB	36,33 AB	0,00 B	5,69 A
PA	2,25 BC	0,84 A	0,88 AB	3,10 AB	26,85 B	2,74 B	3,55 AB
PP	3,72 AB	0,24 B	0,41 B	3,96 AB	6,38 C	32,71 AB	4,07 AB
MPC	1,38 C	1,34 A	1,34 A	2,73 B	49,38 A	0,00 B	1,76 B

H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; t: capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva; T: capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; P-rem: fósforo remanescente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em sistema de plantio convencional

### 4.3 Efeitos do uso da terra nas propriedades físicas do solo

Os atributos físicos do solo, representados pela densidade e distribuição de tamanho dos agregados sofreram efeito significativo dos diferentes usos da terra nas profundidades avaliadas, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 Resultado de análise de variância para as características físicas do solo nos diferentes usos da terra

Fontes de variação	Ds	DMP	DMG	Agregados (%) > 2mm
Usos da terra (0-5 cm)	***	*	**	*
Usos da terra (5-10 cm)	***	**	**	**
Usos da terra (10-20 cm)	***	*	*	*
Usos da terra (20-40 cm)	***	ns	ns	ns
Usos da terra (40-60 cm)	***	-	-	-
Usos da terra (60-100 cm)	***	-	-	-

\* significativo em  $P < 0.05$ . \*\* em  $P < 0.01$ . \*\*\* em  $P < 0.001$ . n.s não significativo e – análise não realizada. Ds: Densidade do solo; DMP: Diâmetro Médio Ponderado e DMG: Diâmetro Médio Geométrico

Observa-se na Figura 5, que a Ds aumentou em profundidade até a camada de 20 cm em todos os sistemas e, depois houve uma tendência de estabilizar, com exceção da área de milho que houve maior variação até 40 cm de profundidade.

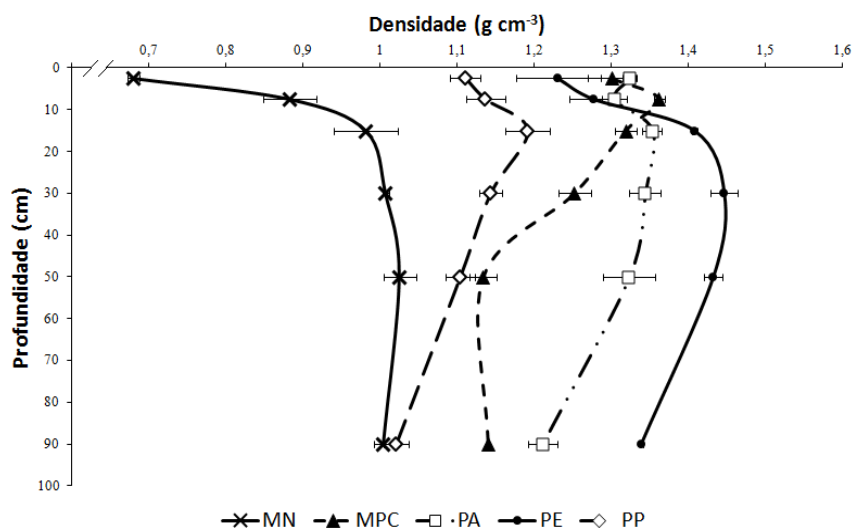


Figura 5 Valores de densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de usos da terra, em função da profundidade

Nota: Barras representam o erro padrão da média (n=3). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho no plantio convencional

O manejo do solo com pastagem ou cultura do milho elevou a Ds, em todas as profundidades (Tabela 10), resultado similar também foi verificado por Carneiro et al. (2009). Os usos de arado, grade e outras máquinas agrícolas na cultura do milho, seguidos pelo pisoteio das pastagens pelo gado, são as causas mais prováveis da compactação do solo nas áreas estudadas, em relação à mata nativa. Balbino et al. (2003) concluíram que o aumento na densidade em Latossolos é ocasionado pela redução da macroporosidade do solo, comum quando da substituição da vegetação nativa por pastagens. Alterações na Ds decorrentes do manejo também foram encontradas por Carvalho et al. (2010), que reportaram os maiores valores para as pastagens e lavouras, superiores em 15 e 14% ao valor sob mata nativa. No presente estudo, a compactação ocorreu

em uma magnitude muito maior, sendo mais de 90% superior ao da mata nativa nas camadas superficiais.

A Ds na área de pastagem pura de *B. decumbens* apresentou valores similares aos da mata nativa, a partir da profundidade de 40 cm (Tabela 10). Esses valores de Ds, relativamente baixos em relação aos outros manejos podem ser atribuídos ao tempo mais longo decorrido desde a conversão da cultura do milho para pastagem. Resultados concordantes foram encontrados por Araújo, Goedert e Lacerda (2007), que concluíram que as áreas com maior intensidade de uso do solo (pastagens plantadas de *B. decumbens* há mais de dez anos e produção de grãos) apresentaram maiores valores de Ds e menores de porosidade total, até 30 cm de profundidade, quando comparada à pastagem natural pouco utilizada pelos bovinos.

Nos solos sob cultura do milho, a Ds geralmente foi similar àquela sob pastagens com leguminosas plantadas há somente quatro anos em área ocupada anteriormente, também lavoura de milho (Tabela 10). Na área de milho somente ocorre a ocupação por lavoura durante aproximadamente 100 dias ao ano e, após a colheita, a cobertura por plantas invasoras e restos culturais é baixa. Assim, ocorre menor proteção do solo, proporcionando maior ruptura dos agregados por gotas de chuva, agravando os efeitos da compactação por preparo intensivo do solo. Em razão da baixa cobertura vegetal verificada ao longo do ano nesse ambiente ocorre menor proteção do solo que, segundo Schaefer et al. (2002), implica em maior impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, o que ocasiona na quebra mecânica dos agregados. No entanto, Richart et al. (2005) enfatizam que a principal causa de compactação nos solos agrícolas é causada pelo tráfego de máquinas. Os autores afirmam que esse problema agravou-se pela modernização da agricultura, pois aumentou o peso das máquinas e não houve aumento proporcional do tamanho e largura dos pneus, acarretando maiores pressões na superfície dos solos.

O efeito da descompactação verificado nas áreas de pastagens é limitado às camadas com maior densidade de raízes e requer um tempo, que ainda talvez, não foi alcançado nessas pastagens consorciadas, e que merece ser investigado após alguns anos.

Tabela 10 Valores de densidade do solo nas diferentes profundidades e sistemas de usos terra

Usos da terra	Densidade do solo					
	------(g cm <sup>-3</sup> )-----					
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40cm	40-60 cm	60-100 cm
MN	0,68 C (0,01)	0,88 C (0,03)	0,98 C (0,04)	1,01 D (0,00)	1,03 B (0,02)	1,00 C (0,01)
PE	1,23 AB (0,05)	1,28 AB (0,03)	1,41 A (0,00)	1,45 A (0,02)	1,43 A (0,01)	1,34 A (0,00)
PA	1,32 A (0,01)	1,30 AB (0,02)	1,35 AB (0,01)	1,34 AB (0,02)	1,32 A (0,03)	1,21 B (0,02)
PP	1,11 B (0,02)	1,14 B (0,03)	1,19 B (0,03)	1,14 C (0,02)	1,10 B (0,02)	1,02 C (0,02)
MPC	1,30 A (0,03)	1,36 A (0,01)	1,32 AB (0,01)	1,25 BC (0,02)	1,13 B (0,02)	1,14 B (0,00)

Letras iguais na mesma coluna indicam semelhança dos sistemas de usos da terra, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média (n=3). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente, MPC = milho em plantio convencional.

A Ds possui estrita relação com outros atributos do solo, que podem afetar diretamente o rendimento das culturas. Valores de Ds acima dos considerados críticos podem diminuir o espaço poroso total, a ponto de causar diminuição na condutividade de fluidos e absorção de nutrientes do solo, além



de elevar a resistência mecânica à penetração das raízes. No entanto, não existe na literatura consenso sobre um valor específico de  $D_s$ , visto que outros fatores do meio e da planta podem afetar na determinação desse parâmetro. Na cultura do milho em solos argilosos, foram encontrados que  $D_s$  acima  $1,27 \text{ g cm}^{-3}$  prejudicaram o crescimento radicular para a cultura (CORSINI; FERRAUDO, 1999). Os valores encontrados no presente trabalho foram superiores aos níveis críticos encontrados por Corsini e Ferraudo (1999), nos sistemas de manejo mais intensivos, constituídos pelas pastagens consorciadas e lavoura de milho em praticamente todas as camadas avaliadas. Na presente pesquisa, apesar da maior  $D_s$  em relação à mata nativa nos tratamentos de uso mais intenso, parece não ter comprometido o crescimento do sistema radicular das gramíneas devido à alta densidade de raízes.

Observado de outra maneira a compactação do solo neste trabalho pode ser obtida com a Figura 6. Observa-se que o solo sob mata nativa apresenta estrutura complexa em blocos e granular, resultando em elevada macroporosidade entre os agregados e conseqüente baixa densidade. Por outro lado, o solo sob milho apresenta estrutura em blocos muito maiores, com poucos macroporos, constituídos principalmente por grandes fissuras. As estruturas dos solos sob pastagem de *B. decumbens* e consorciada com *A. pintoi* são similares à do solo sob milho, porém com mais macroporos no interior dos blocos e fissuras menores. O solo sob pastagem com *S. guianensis* apresenta poucos grânulos, mas possui blocos e macroporos de tamanho similar ao solo da mata nativa, evidenciando uma maior recuperação da estrutura, ainda não ocorrida nas outras pastagens. Pode-se notar nas lâminas dos solos das pastagens consorciadas a presença marcante de raízes de diferentes espessuras.

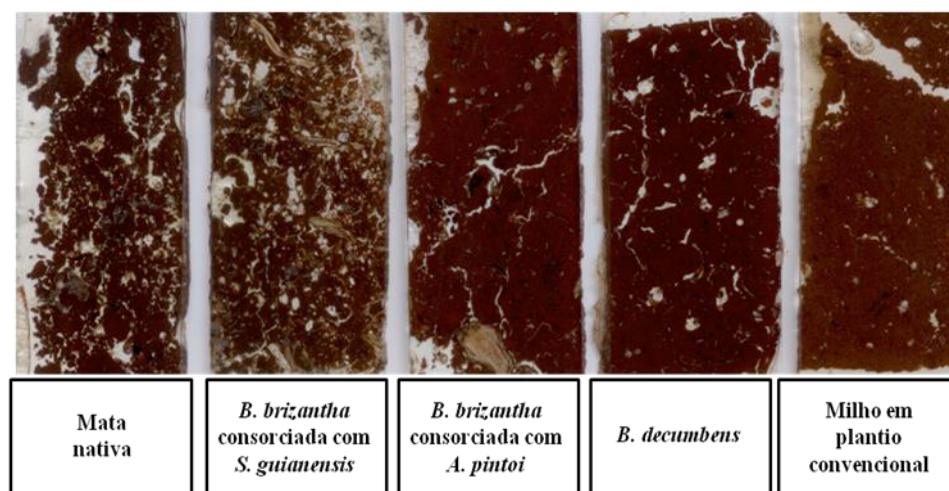


Figura 6 Imagem digitalizada de lâminas de Micromorfologia nos diferentes sistemas de usos de um Latossolo Vermelho em Lavras-MG

Nota: cada imagem possui largura de 2,3 cm.

Houve efeito do uso da terra na distribuição de tamanho de agregados estáveis em água até a profundidade de 20 cm (Tabela 11 e 12). A lavoura de milho foi o sistema que apresentou a menor percentagem de agregados com diâmetro  $> 2$  mm, DMP e DMG, devido à ruptura dos agregados com as operações anuais de aração e gradagem (Figuras 7 e 8).

Não há diferença entre pastagens e mata nativa quanto aos dados obtidos de DMP e DMG (Figuras 7 e 8), apesar da diferença em  $D_s$ . Esses resultados possivelmente podem ser atribuídos ao não revolvimento do solo por algum tempo, somado ao elevado aporte de resíduos e sistema radicular abundante nos solos com pastagens. A influência positiva do sistema radicular das gramíneas na agregação do solo também foi observada por Salton et al. (2008). Nesse estudo, os autores concluíram que os valores de DMP obtidos nos sistemas de pastagem permanente ou em rotação com lavouras em plantio direto igualaram

ou até superaram os encontrados nas áreas de mata, sendo os menores valores obtidos em sistemas apenas com lavouras.

Em outro estudo, Blanchart et al. (2004) revelam que foi possível restaurar as propriedades físicas de um Vertissolo sob agricultura com a introdução de pastagem de *Digitaria decumbens* e minhoca (*Polypheretima elongata*). Esses autores constataram que o efeito da grande biomassa de raízes é responsável por estabilizar agregados maiores que 500  $\mu\text{m}$  e que a presença de minhocas auxiliaram na formação de agregados entre 200-500  $\mu\text{m}$ . No presente estudo, foi observada uma maior população de minhocas nas áreas de pastagens no momento da abertura das trincheiras para coleta do solo, o que pode ter contribuição na formação e estabilidade dos agregados, apesar de não ter sido realizada mensuração do número de indivíduos.

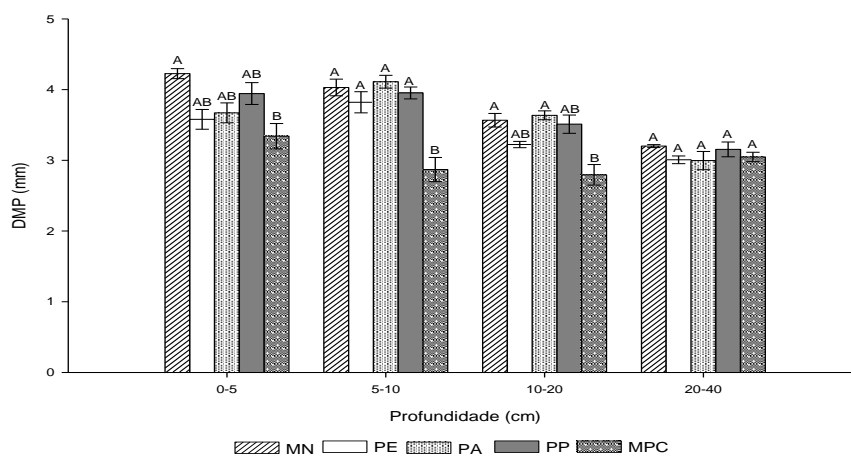


Figura 7 Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água nas diferentes profundidade e usos da terra

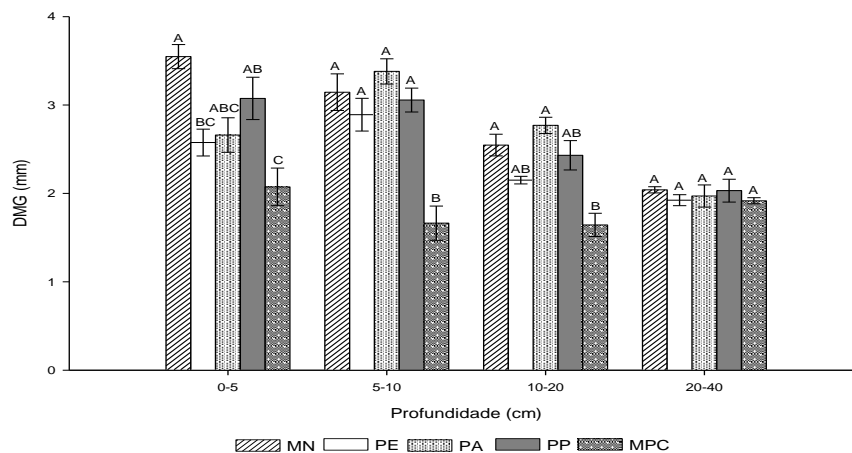


Figura 8 Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos agregados estáveis em água nas diferentes profundidade e usos da terra

Nota: Letras iguais na profundidade indicam semelhança dos sistemas de usos da terra pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Barras representam o erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

É importante ressaltar que nos ecossistemas de pastagem, os resíduos da parte aérea e, principalmente, as raízes das forrageiras auxiliam na formação de agregados de maior tamanho, enquanto o pisoteio animal exercido no momento do pastejo é caracterizado por diminuir os agregados do solo. Schwendenmann e Pendall (2006) sugerem a importância de avaliar separadamente as diferentes técnicas de manejo de pastagem para entender as propriedades particulares desse ecossistema e seus efeitos no solo. Talvez, por isso, no presente estudo foram observados maiores valores, apesar da não diferenciação estatística, para DMP e DMG (Figuras 7 e 8), assim como na distribuição de massa relativa dos agregados do solo (Tabela 11)  $> 2$  mm, na camada de 0-5 cm, para a pastagem pura de *B. decumbens*, pois essa área possui pastejo menos intensivo do que as

áreas de pastagens consorciadas, com pisoteio animal menos frequente e intenso, acrescentando-se também, ao maior tempo com gramíneas na área.

De modo geral, os solos sob todos os diferentes usos da terra apresentam agregados altamente estáveis e predomínio de grandes macroagregados (> 2 mm) (Tabelas 11 e 12), o que é característico de Latossolos de textura muito argilosa ou argilosa (BARTHÉS et al., 2008; ZINN et al., 2007).

Tabela 11 Distribuição relativa da massa de agregados nas diferentes profundidades e usos da terra

Tamanho (mm)	Usos da terra				
	MN	PE	PA	PP	MPC
	-----%-----				
	-----0-5 cm-----				
(>8)	80,2 A (1,6)	64,9 AB (3,4)	67,7 AB (3,4)	73,7 AB (3,7)	60,8 B (4,1)
(2-1)	10,8 A (0,1)	14,8 A (1,2)	11,6 A (1,0)	12,3 A (0,9)	12,1 A (1,3)
(1-0,5)	5,3 A (0,8)	11,5 A (1,5)	10,9 A (1,1)	7,4 A (1,4)	10,0 A (1,1)
(0,5-0,25)	2,2 B (0,5)	5,3 AB (0,7)	5,9 AB (0,7)	3,3 AB (1,0)	7,5 A (0,7)
(0,25-0,105)	0,9 B (0,1)	2,3 AB (0,2)	3,3 AB (0,7)	2,1 B (0,7)	5,5 A (0,7)
(>0,105)	0,7 B (0,1)	1,4 AB (0,3)	0,8 B (0,1)	1,1 AB (0,1)	4,1 A (1,1)
	-----5-10 cm-----				
(8-2)	76,1 A (2,6)	70,8 A (3,7)	77,4 A (2,2)	74,1 A (2,2)	49,6 B (3,7)
(2-1)	10,2 A (0,3)	12,2 A (1,5)	11,8 A (1,2)	11,6 A (1,4)	14,4 A (0,4)
(1-0,5)	6,7 B (1,0)	10,0 AB (1,3)	6,8 B (0,7)	7,5 B (0,5)	14,7 A (1,3)
(0,5-0,25)	3,5 B (1,0)	4,3 B (0,7)	2,2 B (0,4)	3,5 B (0,3)	11,4 A (1,6)
(0,25-0,105)	2,1 B (0,6)	1,5 B (0,2)	1,2 B (0,2)	2,3 B (0,4)	6,2 A (0,5)
(>0,105)	1,4 B (0,2)	1,3 B (0,1)	0,6 B (0,0)	1,0 B (0,1)	3,6 A (0,7)

Letras iguais na linha indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianenses*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho no plantio convencional. MN = Mata Nativa, PE = *B. brizantha*+*Stylozanthos* sp., PA = *B. brizantha*+*Arachis* sp., PP = Pastagem Permanente (*B. decumbens*) e MPC = Milho em Plantio Convencional.

Tabela 12 Distribuição relativa da massa de agregados nas diferentes profundidades e usos da terra

Tamanho (mm)	Usos da terra				
	MN	PE	PA	PP	MPC
	-----10-20 cm-----				
(8-2)	64,7 AB (2,3)	56,5 AB (1,0)	65,2 A (1,5)	63,6 AB (2,9)	47,4 B (3,3)
(2-1)	14,9 A (1,5)	16,3 A (0,2)	18,6 A (0,8)	14,6 A (0,3)	16,0 A (1,5)
(1-0,5)	10,7 A (0,6)	14,3 A (0,7)	10,5 A (0,5)	10,1 A (1,2)	15,9 A (1,1)
(0,5-0,25)	5,5 AB (0,8)	7,5 A (0,5)	3,5 B (0,3)	6,8 AB (0,6)	8,3 A (0,3)
(0,25-0,105)	3,3 AB (0,7)	3,8 AB (0,3)	1,7 B (0,2)	3,2 AB (1,0)	6,9 A (0,3)
(>0,105)	0,9 AB (0,1)	0,8 AB (0,2)	0,5 B (0,1)	1,8 AB (0,1)	2,2 A (0,6)
	-----20-40 cm-----				
(8-2)	56,5 A (0,7)	51,2 A (1,6)	50,4 A (3,0)	55,2 A (2,2)	52,5 A (2,0)
(2-1)	15,5 A (1,4)	18,7 A (1,3)	21,2 A (1,5)	16,5 A (1,2)	18,1 A (2,0)
(1-0,5)	12,5 A (0,2)	16,0 A (0,7)	15,6 A (1,3)	12,7 A (0,5)	14,1 A (0,7)
(0,5-0,25)	8,3 A (0,5)	8,3 A (0,6)	7,5 A (0,8)	9,1 A (1,6)	8,1 A (0,4)
(0,25-0,105)	5,4 A (0,9)	4,1 A (0,7)	4,0 A (0,8)	5,1 A (1,0)	5,2 A (0,9)
(>0,105)	1,7 A (0,2)	1,7 A (0,1)	1,3 A (0,2)	1,4 A (0,2)	2,0 A (0,1)

Letras iguais na linha indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianenses*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho no plantio convencional. MN = Mata Nativa, PE = *B.brizantha*+*Stylozanthos* sp., PA = *B.brizantha*+*Arachis* sp., PP = Pastagem Permanente (*B.decumbens*) e MPC = Milho em Plantio Convencional.

#### 4.4 Carbono orgânico do solo (COS) e densidade de raízes

Os teores de COS e C-MOP apresentaram efeito significativo dos diferentes usos da terra nas profundidades avaliadas, conforme a Tabela 13.

Tabela 13 Níveis de significância da análise de variância para os teores de carbono orgânico do solo (COS) e carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) nos diferentes usos da terra

Fontes de variação	Teores COS	Teores C-MOP
Usos da terra (0-5 cm)	***	**
Usos da terra (5-10 cm)	***	-
Usos da terra (10-20 cm)	***	**
Usos da terra (20-40 cm)	**	-
Usos da terra (40-60 cm)	**	-
Usos da terra (60-100 cm)	**	-

\* significativo para  $p < 0.05$  \*\* para  $p < 0.01$  \*\*\* para  $p < 0.001$ ; n.s. não significativo;  
- análise não realizada.

Os maiores teores de COS ocorreram, preferencialmente, nas camadas mais superficiais, que concentram a deposição de resíduos vegetais e a biomassa radicular, e decresceram em profundidade, exceção foi observada para o consórcio com *S. guianensis* e na lavoura de milho na camada mais superficial (Figura 9).

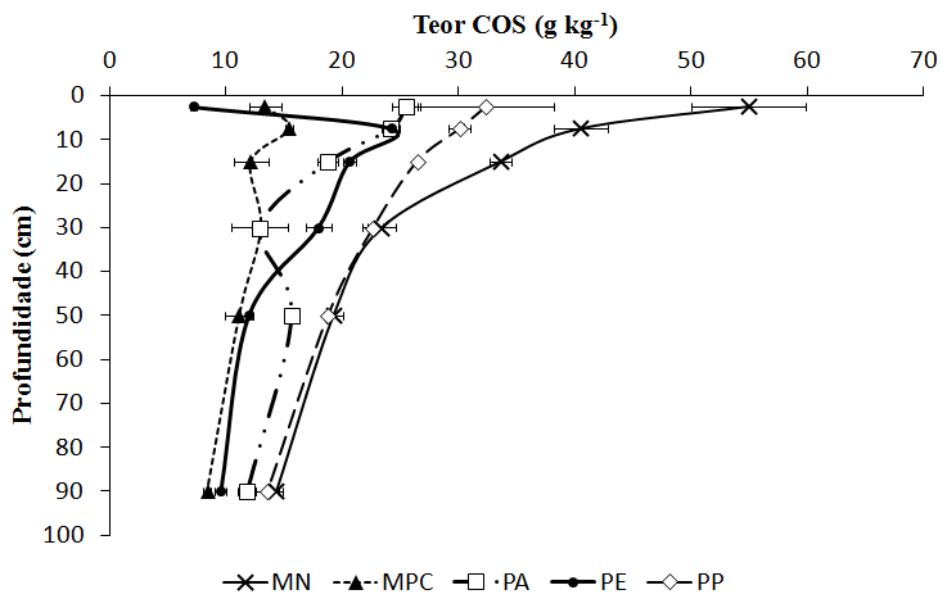


Figura 9 Teor de carbono orgânico do solo (COS) nos diferentes sistemas de usos da terra, em função da profundidade

Nota: As barras representam o erro padrão da média (n=3). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

Foi constatado maior teor de COS na camada de 0-5 cm em todos os tratamentos, no entanto nos sistemas lavoura de milho e pastagem com *S. guianensis* a concentração de COS foi maior na profundidade de 5-10 cm (Tabela 14). Esse resultado foi similar ao encontrado por Salton et al. (2008) em áreas de *B. decumbens* e milho em lavouras de plantio convencional. No caso do cultivo de milho, a quantidade superior de COS na camada de 5-10 pode ser devido à incorporação de resíduos nessa camada pela aração e gradagem do solo (Tabela 14). Para as pastagens com *S. guianensis*, o menor teor de COS foi verificado na camada 0-5 cm (7,19 g kg<sup>-1</sup>), o que é incomum e pode ser atribuído à grande proporção de resíduos de leguminosa na área (LOPES, 2009),



contribuindo para reduzir muito a relação C/N (7,01) e favorecendo a acelerada decomposição da MOS nesse ambiente.

A intervenção antrópica no ecossistema natural promoveu significativa redução (Tabela 14) nos teores de COS nas camadas mais superficiais. Na camada de 0-5 cm de profundidade, o teor de COS sob mata nativa foi muito superior, chegando ser sete vezes maior do que sob pastagem com *S. guianensis* e quatro vezes maior do que no solo com milho (Tabela 14). A área sob mata nativa proporcionou maior variação dos teores de COS, cujos resultados foram similares aos de Chan e McBoy (2010), possivelmente pela distribuição mais heterogênea dos resíduos da parte aérea e raízes, comparadas a sistemas mais uniformes encontrados nas gramíneas.

Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm de profundidade, a área sob mata nativa persiste com maiores teores de COS do que os outros sistemas e a área sob milho, com os menores (Tabela 14). Esses resultados podem ser atribuídos às perturbações físicas ocorridas no solo ocasionadas pelas operações anuais de aração e gradagem, quando do período de plantio de milho, o que potencializa o ataque microbiano à MOS (ZINN; LAL; RESCK, 2005). Nas camadas mais profundas do solo as variações dos teores de COS ocorreram, mas não foram tão pronunciadas quanto na superfície, de modo que as pastagem *B. decumbens* e com *A. pintoi*. tenderam a valores similares aos do solo sob mata nativa.

Tabela 14 Resultado dos teores de COS nas diferentes profundidades e usos da terra

Usos da terra	Carbono orgânico do solo					
	------(g kg <sup>-1</sup> )-----					
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40cm	40-60 cm	60-100 cm
MN	54,92 A (4,87)	40,50 A (2,33)	33,61 A (0,94)	23,41 A (1,25)	19,24 A (0,83)	14,33 A (0,53)
PE	7,19 C (0,27)	24,26 B (0,15)	20,60 BC (0,55)	17,94 ABC (1,10)	11,97 B (0,31)	9,56 BC (0,48)
PA	25,46 BC (1,23)	24,19 B (0,76)	18,77 C (0,89)	12,91 C (2,42)	15,61 AB (0,51)	11,80 ABC (0,81)
PP	32,33 B (5,82)	30,07 B (0,92)	26,41 B (0,19)	22,64 AB (0,90)	18,76 A (0,13)	13,56 AB (0,99)
MPC	13,37 BC (1,36)	15,43 C (0,33)	12,15 D (1,48)	13,00 BC (0,54)	11,15 B (1,22)	8,41 C (0,32)

Letras iguais na coluna indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

Foi constatado, neste experimento, um maior teor de carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) na camada de 0-5 cm comparado com a camada de 10-20 cm de profundidade, em todos os usos da terra (Figuras 10 e 11). Isso se deve à principal via de entrada de COS, que é por decomposição de raízes e serrapilheira encontrada em altas concentrações nas camadas superficiais. Na profundidade de 0-5 cm, a pastagem pura de *B. decumbens* foi a que apresentou maior teor de C-MOP, diferindo estatisticamente (Tabela 13) dos solos sob mata nativa, milho e pastagem consorciada com *S. guianensis*.

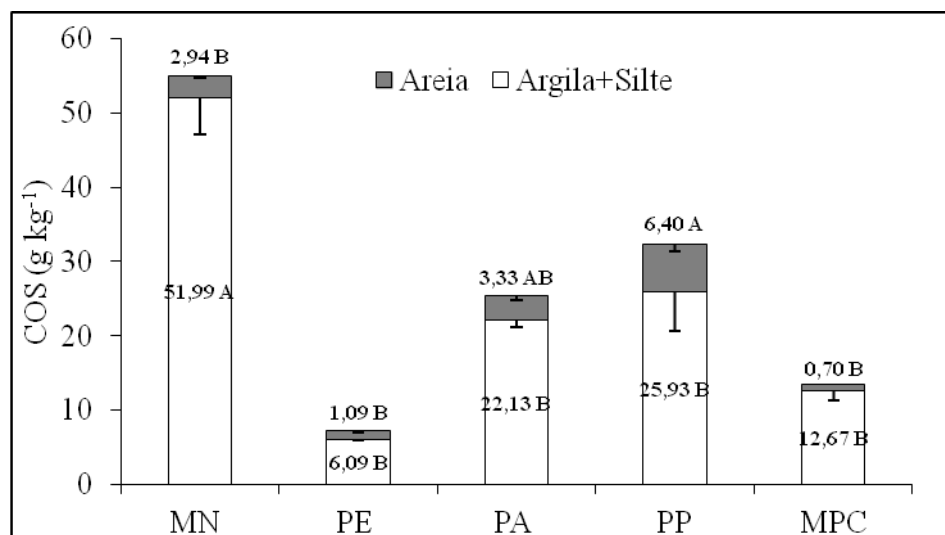


Figura 10 Teor de carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) nos diferentes sistemas de usos da terra na profundidade de 0-5 cm

Nota: Letras iguais na mesma fração indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

Na profundidade de 10-20 cm, a pastagem (*B. decumbens*) e a mata nativa foram as que apresentaram os maiores teores de C-MOP, diferindo estatisticamente das demais áreas (Tabela 13). Resultados semelhantes da distribuição do COS na fração pesada (adsorvido à argila) revelaram em outros estudos (DESJARDINS et al., 2004; SCHWENDENMANN; PENDALL, 2006) que o COS derivado de pastagens é mais comumente incorporado na fração areia dos solos, especialmente quando os resíduos são predominantemente de gramíneas.

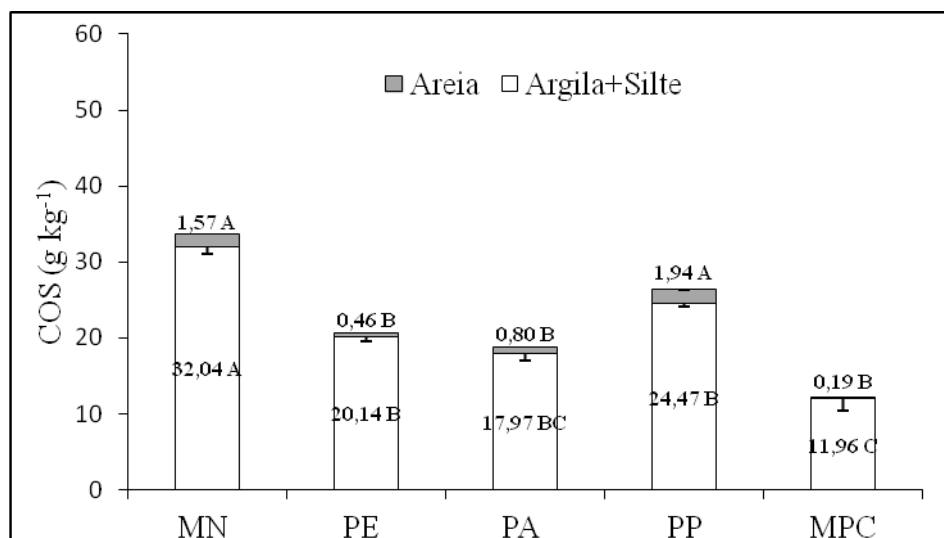


Figura 11 Teor de carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) nos diferentes sistemas de usos da terra na profundidade de 10-20 cm

Nota: Letras iguais na mesma fração indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

Uma vez que o C-MOP é a fração que se encontra menos decomposta, e por isso mais susceptível ao ataque microbiano e mineralização de nutrientes, é importante que o solo apresente quantidade adequada de C-MOP para garantir o fluxo de C para o solo e manter a atividade biológica. O C-MOP também foi afetado pelo manejo, mesmo que em menor magnitude do que o COS total, por causa da baixa partição dessa fração no COS total. Os menores teores de C-MOP sob milho são decorrentes das operações de aração e gradagem que oxidam rapidamente os resíduos frescos ainda fora de agregados (PES et al., 2011).

Esses resultados estão de acordo com os encontrados na mesma área de mata nativa em estudo, onde Rangel e Silva (2007) registraram valores das frações orgânicas associadas às partículas de areia em pequena proporção do

COS total, que corresponderam a de 2,0 a 4,3% na camada de 0-5 cm. Os autores atribuíram esse baixo teor de C-MOP à reduzida superfície específica e densidade de cargas da areia que tornam desprezível a ligação dos complexos organominerais. Quantidade muito superior de C-MOP foi relatada para solos de Cerrado por Zinn, Lal e Resck (2011), atingindo valores de carbono da fração areia que superam os 50%, que talvez se explique pela menor quantidade de COS total no Cerrado, onde o período seco mais prolongado pode desfavorecer uma humificação eficiente do C-MOP.

Quando se avaliam os estoques de COS e seus compartimentos no solo entre os sistemas avaliados, nota-se que houve diferenças significativas de acordo com o uso da terra e profundidade considerado (Tabela 15).

Tabela 15 Resultado de análise de variância para os estoques de carbono orgânico do solo (COS) nas diferentes profundidades e usos da terra

<b>Fontes de variação</b>	<b>Estoque COS</b>
Usos da terra (0-20 cm)	***
Usos da terra (0-40 cm)	***
Usos da terra (0-60 cm)	***
Usos da terra (0-100 cm)	***

\* significativo em  $p < 0.05$ . \*\* em  $p < 0.01$ . \*\*\* em  $p < 0.001$ . e n.s. não significativo.

Nas camadas de 0-20 e 0-40 cm, a mata nativa apresentou estoque de COS maior do que nas demais áreas (Tabela 16). Para as camadas de 0-60 e 0-100 cm, a mata nativa mostrou estoque superior às pastagens consorciadas e lavoura de milho, porém igual à pastagem de *B. decumbens* (Tabela 16). Isso permite constatar que o menor tempo de uso da pastagem de *B. decumbens* como lavoura de milho e o seu maior tempo de recuperação após a implantação da

pastagem proporcionaram a esse ambiente estoque de COS similar ao da mata nativa, quando se consideram essas profundidades.

Para a profundidade de 0-40 cm, dentre os sistemas manejados, a pastagem de *B. decumbens* proporcionou a maior média de estoque de COS, superando as outras áreas manejadas, e com o dobro do valor encontrado no solo sob milho (Tabela 16). Nessa profundidade, a mata nativa continua prevalecendo com maior estoque de COS, atingindo 128,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Os valores obtidos para a mata nativa nessa camada foram superiores aos encontrados nessa mesma área de estudo por Inácio (2009) e Rangel e Silva (2007), que reportaram valores de estoque de COS de 90,6 e 102,1 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As diferenças encontradas nesta e outras camadas do solo, podem ser atribuídas à metodologia utilizada para determinar o teor de C das amostras de solo, uma vez que nos trabalhos referidos utilizou-se a digestão por via úmida, que não oxida formas como carvão, por exemplo, enquanto no presente estudo adotou-se o método de combustão por via seca que oxida todas as formas de COS (GATTO et al., 2009). Até a profundidade de 40 cm, os dados revelam que a conversão de mata nativa para sistema de lavouras em plantio convencional pode acarretar mudanças substanciais nos estoques de COS.

Para ficar evidente a comparação, os valores quando comparados em percentagem, indicam que sistemas não conservacionistas como, por exemplo, o cultivo convencional do milho, ao longo de 25 anos, reduziram os estoques de COS em mais de 61% daquele originalmente encontrado na mata nativa (Tabela 16).

Nas pastagens consorciadas observaram-se perdas de COS em relação à mata nativa, possivelmente devido ao tempo mais recente da substituição da lavoura de milho no sistema convencional pelo consórcio, que no passado pode ter ocasionado deterioração dos estoques de COS. Os recentes quatro anos do estabelecimento dos consórcios podem ter promovido melhorias nos estoques de

COS, principalmente na pastagem consorciada com *Arachis pintoi*, porém estudos de longo prazo nesta área podem esclarecer com maior precisão a dinâmica do estoque de COS.

Tabela 16 Estoque de carbono orgânico do solo nas diferentes profundidades e usos da terra

Usos da terra	Estoque de carbono orgânico do solo							
	------(Mg ha <sup>-1</sup> )-----							
	0-20 cm		0-40 cm		0-60 cm		0-100	
MN	71,81 A	(3,65)	128,46 A	(5,24)	171,80 A	(7,26)	239,95 A	(9,75)
PE	33,20 CD	(0,34)	71,85 C	(1,71)	102,24 B	(2,14)	145,94 BC	(0,58)
PA	39,42 BC	(0,58)	71,34 C	(4,01)	100,32 B	(5,82)	155,95 B	(6,29)
PP	50,70 B	(2,88)	100,17 B	(4,22)	142,24 A	(5,02)	207,83 A	(5,89)
MPC	24,11 D	(0,47)	49,47 C	(1,98)	74,01 B	(2,94)	113,72 C	(5,47)

Letras iguais na coluna indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

Neste estudo, os estoques de COS na mata nativa, até a camada de 40 cm representam mais de 50% do estoque de COS até 1 m, enquanto nos ambientes contendo gramíneas mais da metade de seus estoques encontra-se abaixo dessa camada (Figura 12). Essa diferença é atribuída às maiores perdas de COS nas camadas superficiais dos solos manejados.

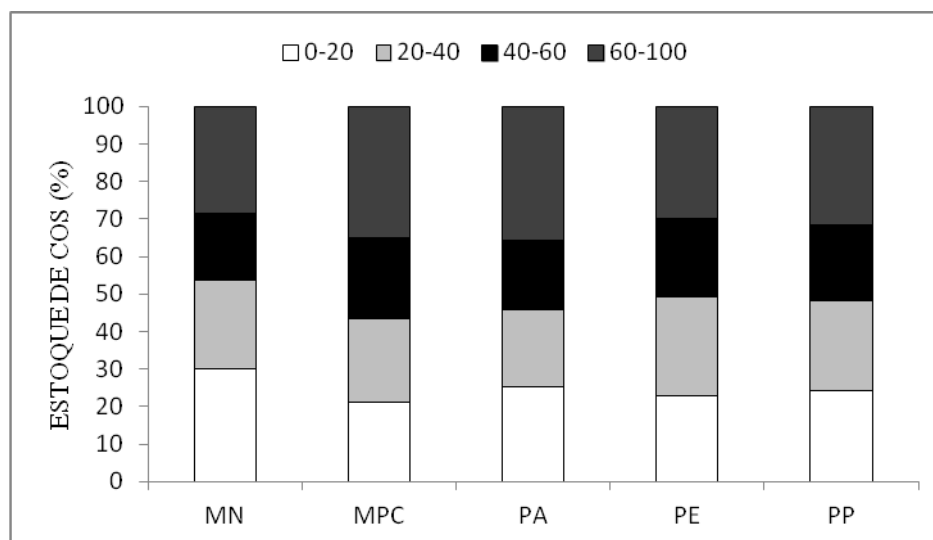


Figura 12 Distribuição percentual dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) por camadas

Nota: MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

A densidade de raiz apresentou diferença significativa nos diferentes usos da terra apenas na camada mais superficial avaliada, conforme a Tabela 17.

Tabela 17 Resultado de análise de variância para densidades de raízes

Fontes de variação	Densidade de raízes
Usos da terra (0-10 cm)	***
Usos da terra (10-20 cm)	ns
Usos da terra (20-40 cm)	ns
Usos da terra (40-60 cm)	ns
Usos da terra (60-100 cm)	ns

\* significativo em  $P < 0.05$ . \*\* em  $P < 0.01$ . \*\*\* em  $P < 0.001$ . e n.s. não significativo.



Na profundidade 0-10 cm as pastagens consorciadas apresentaram maiores densidades de raízes; a pastagem permanente de *B. decumbens* proporcionou valores intermediários e o milho, a menor massa seca de raízes por unidade de volume de solo nessa camada (Figura 13). Conforme se observa na Figura 13, nas camadas 10-20 e 20-40 cm não houve diferença significativa (Tabela 17) entre os sistemas avaliados, devido à alta variabilidade dos dados, que deveria ter sido evitado por maior número de repetições e ou amostragens maiores que poderiam ser mais representativas. Com relação a essa questão, Silva, Corsi e Imhoff (2002) relatam que estudos sobre sistema radicular de plantas forrageiras tropicais podem não ser conclusivos quando interpretados apenas por análise estatística. Isso se deve a grande variabilidade dos dados para essa característica, fazendo com que o coeficiente de variação apresente altos valores. Nas camadas de 40-60 e 60-100 cm os valores foram similares entre os sistemas de manejo.

Em estudo comparativo para determinar a densidade de raízes entre seis gramíneas, Cunha et al. (2010) concluíram que as *B. brizantha* cv. Marandu e *Xaraés* apresentaram maiores densidades médias de raízes, e que o *P. maximum* cv. Tanzânia alcançou maior profundidade efetiva do sistema radicular quando submetido a doses crescentes de N. Os valores de densidade de raízes para *B.brizantha* foram próximos aos encontrados por Cunha et al. (2010), que registraram valores variando de 1,34 a 1,55 g dm<sup>-3</sup>, sendo os valores do presente estudo na camada superficial de 1,54 a 1,79 g dm<sup>-3</sup>.

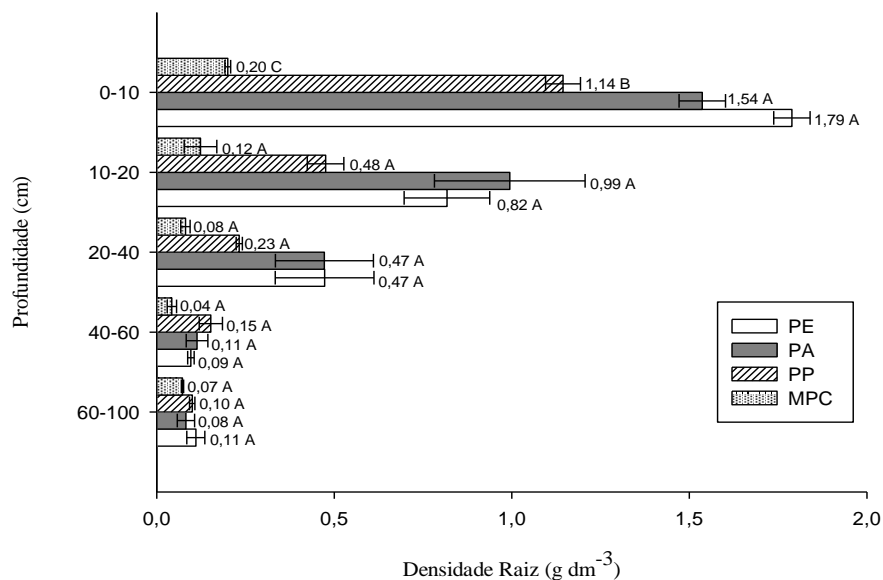


Figura 13 Densidade de raízes de diferentes gramíneas em profundidade

Nota: Letras iguais na mesma profundidade indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Barras representam o erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

O consórcio estabelecido há pouco mais de quatro anos proporcionou um grande acúmulo de raízes nas camadas mais superficiais, porém o crescimento das raízes de gramíneas e leguminosas não foi verificado em camadas mais profundas do solo.

#### 4.5 Nitrogênio total do solo (NT)

Os teores de NT e razão C/N apresentaram efeito significativo dos diferentes usos da terra até as profundidades de 60 e 5 cm, respectivamente, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 Resultado de análise de variância para os teores de nitrogênio total (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N)

Fontes de variação	Teores NT	Relação C/N
Usos da terra (0-5 cm)	*	*
Usos da terra (5-10 cm)	***	ns
Usos da terra (10-20 cm)	*	ns
Usos da terra (20-40 cm)	**	ns
Usos da terra (40-60 cm)	*	ns
Usos da terra (60-100 cm)	ns	ns

\* significativo em  $p < 0.05$ . \*\* em  $p < 0.01$ . \*\*\* em  $p < 0.001$ . e n.s. não significativo.

Os resultados obtidos para os teores de nitrogênio total (NT) do solo mostram, para todas as camadas até 60 cm diferenças significativas entre os usos da terra (Tabela 18). Em geral, as áreas sob milho e pastagem com *S. guianensis* apresentaram os valores mais baixos para teor de NT.

De acordo com a Tabela 19, verifica-se que o solo sob o milho, apesar de receber adubações nitrogenadas, possui baixos teores de NT, talvez em razão das grandes quantidades que são perdidas por exportação, volatilização e lixiviação.

Tabela 19 Resultado dos teores de nitrogênio total do solo sob diferentes usos da terra

Usos da terra	Nitrogênio total do solo					
	------(g kg <sup>-1</sup> )-----					
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40cm	40-60 cm	60-100 cm
MN	3,50 A (0,55)	2,75 A (0,05)	2,42 A (0,08)	1,62 AB (0,00)	1,35 AB (0,05)	1,82 A (0,46)
PE	1,04 B (0,01)	1,81 BC (0,08)	1,61 AB (0,16)	1,08 C (0,05)	1,01 BC (0,00)	0,95 A (0,05)
PA	2,41 AB (0,00)	2,08 B (0,13)	2,01 AB (0,23)	1,29 BC (0,10)	1,35 AB (0,05)	1,01 A (0,00)
PP	2,42 AB (0,31)	2,28 AB (0,10)	1,75 AB (0,05)	1,88 A (0,05)	1,62 A (0,15)	1,22 A (0,15)
MPC	1,22 B (0,15)	1,41 C (0,00)	1,21 B (0,00)	1,15 BC (0,10)	0,81 C (0,00)	0,89 A (0,06)

Letras iguais na profundidade indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*); MPC = milho em plantio convencional.

Os teores de NT apresentaram comportamento similar aos do COS, havendo decréscimo de seus teores com a profundidade (Figura 14). Isso se deve ao fato de o N e C serem componentes da matéria orgânica, estando, dessa forma, estreitamente associados. Esses resultados concordam com os de Portugal et al. (2008), que compararam áreas de pastagem degradada, seringal e citros,

evidenciando que esses sistemas não recuperaram os teores originais C e N em relação à mata secundária.

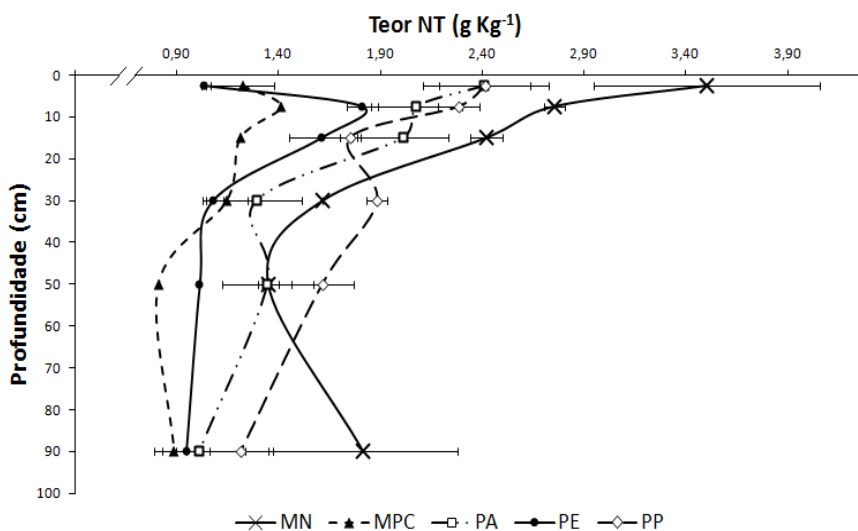


Figura 14 Teor de nitrogênio total (NT) do solo nos diferentes sistemas de uso da terra, em função da profundidade.

Nota: As barras representam o erro padrão da média (n=3). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

A variação simultânea dos teores de C e N totais explica a homogeneidade da relação C/N do solo nos diversos usos, com exceção da pastagem consorciada com *S. guianensis*, que na profundidade de 0-5 cm apresentou baixa relação C/N (7,01) (Tabela 20).

Tabela 20 Relação carbono/ nitrogênio (C/N) do solo sob diferentes usos da terra

Usos da terra	Relação C/N do solo					
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40cm	40-60 cm	60-100 cm
MN	16,53 A (1,57)	14,69 A (0,70)	13,90 A (0,08)	14,47 A (0,76)	14,26 A (0,33)	12,70 A (0,71)
PE	7,01 B (0,24)	13,52 A (0,64)	13,26 A (1,13)	16,87 A (1,39)	11,83 A (0,30)	10,13 A (0,32)
PA	10,56 AB (0,51)	11,73 A (0,39)	9,60 A (0,74)	9,75 A (1,24)	11,71 A (0,88)	11,66 A (0,79)
PP	12,94 AB (0,88)	13,25 A (0,60)	15,12 A (0,43)	12,04 A (0,57)	11,92 A (0,96)	11,51 A (1,09)
MPC	11,37 AB (1,42)	10,93 A (0,23)	10,01 A (1,21)	11,55 A (0,74)	13,77 A (1,52)	9,71 A (0,91)

Letras iguais na profundidade indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*); MPC = milho em plantio convencional.

Normalmente, à medida que a disponibilidade de N aumenta por causa da fixação de N pela leguminosa, a gramínea tende a dominar na associação. No entanto, nessa área foi observado um grande número de plantas de *S. guianensis* no consórcio que, segundo dados experimentais dessas áreas (FORTES, 2009; LOPES, 2009), indicam quantidades de 23 a 42 plantas  $m^{-2}$  no estabelecimento desse consórcio, valores muito superiores aos verificados para a leguminosa *A. pintoi*. Avaliações posteriores na mesma área constataam que, após um ano sem pastejo, mais de 60% da composição de matéria seca nessas parcelas era constituída por *S. guianenses* (MENEZES, 2010)<sup>1</sup>. Possivelmente, os altos

<sup>1</sup> Comunicação pessoal por Rodrigo Carvalho Menezes em 2010. Dados ainda não publicados de sua dissertação. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

teores de P e K (Tabela 7) encontrados nas camadas mais superficiais teriam beneficiado a sobrevivência e a produtividade de *S. guianensis*, associado ao período de pousio da pastagem após o período experimental que se encerrou em 2009. Essa predominância de *S. guianensis* na pastagem não é comumente encontrada no campo, embora já tenha sido documentada em pastagem de *B. decumbens* (MOREIRA et al., 2005).

Dessa maneira, ao longo de quase quatro anos de consórcio a leguminosa competiu por recursos do ambiente com as gramíneas, e a grande quantidade de N incorporado pela fixação biológica era suficiente para suprir a demanda das plantas. Assim a relação C/N atingiu valores tão baixos que favoreceram muito a decomposição dos resíduos e, conseqüentemente diminuiu os teores de C e N nessa profundidade. Na pastagem consorciada com *A. pintoi*, o seu estabelecimento foi mais lento durante o período experimental realizado na área (FORTES et al., 2009), de modo que a pastagem apresentou uma proporção mais próxima do ideal entre gramínea e leguminosa. É importante destacar que, além da produção e deposição de biomassa vegetal no solo, o teor de COS pode variar em virtude da qualidade do material aportado, dentre outros fatores (COSTA et al., 2009).

O estoque de NT do solo exibiu efeito significativo dos diferentes usos da terra nas profundidades avaliadas, conforme a Tabela 21.

Tabela 21 Resultado de análise de variância para os estoques de NT do solo nos diferentes usos da terra

Fontes de variação	Estoque NT
Usos da terra (0-20 cm)	*
Usos da terra (0-40 cm)	*
Usos da terra (0-60 cm)	**
Usos da terra (0-100 cm)	*

\* significativo em  $p < 0.05$ . \*\* em  $p < 0.01$ . \*\*\* em  $p < 0.001$ . e n.s. não significativo.

Os estoques de NT do solo apresentaram comportamento semelhante ao observado para o COS, ou seja, as áreas que possuem maiores estoques de COS também apresentaram os maiores estoques de NT (Tabela 22). A variação proporcional desses estoques pode ser atribuída à quantidade relativamente homogênea de N que se encontra na matéria orgânica. No entanto, essa mesma variação nos estoques não foi observada por Cardoso et al. (2010), que notaram que a substituição de floresta semidecídua e Cerradão por pastagem de *Brachiaria decumbens* promoveu redução nos estoques de COS, porém não alterou os estoques de NT do solo.

Para a camada de 0-20 cm, o sistema de mata nativa não diferiu da pastagem de *B. decumbens* e pastagem consorciada com *A. pintoi*, mas foi superior àquele sob milho e pastagem consorciada com *S. guianensis* (Tabela 22).

Na camada de 0-40 cm, os resultados para os estoques de NT foram próximos aos encontrados por Rangel e Silva (2007), na mesma área de mata nativa, com valores médios de  $8,73 \text{ Mg ha}^{-1}$  no presente estudo e  $7,98 \text{ Mg ha}^{-1}$  naquele.



Nas profundidades de 0-60 e 0-100 cm, os sistemas de mata nativa, pastagem de *B. decumbens* e pastagem consorciada com *A. pintoi* continuam a apresentar estoques de NT muito semelhantes (Tabela 22), sendo a mata nativa superior ao milho e pastagem consorciada com *S. guianensis*.

Tabela 22 Estoque de nitrogênio do solo nas diferentes profundidades e usos da terra

Usos da terra	Estoque de nitrogênio do solo (Mg ha <sup>-1</sup> )							
	0-20 cm		0-40 cm		0-60 cm		0-100	
MN	4,72 A	(0,40)	8,73 A	(0,46)	11,74 A	(0,44)	18,17 A	(1,01)
PE	3,01 B	(0,26)	5,71 BC	(0,38)	7,83 BC	(0,33)	11,80 B	(0,28)
PA	3,66 AB	(0,22)	7,18 ABC	(0,49)	10,05 AB	(0,49)	14,83 AB	(0,55)
PP	3,72 AB	(0,23)	7,38 AB	(0,26)	10,94 A	(0,07)	16,69 A	(0,57)
MPC	2,40 B	(0,00)	4,79 C	(0,12)	6,78 C	(0,23)	10,47 B	(0,24)

Letras iguais na coluna indicam semelhança dos sistemas de uso e manejo pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média ( $n=3$ ). MN = mata nativa; PE = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *S. guianensis*; PA = pastagem (*B. brizantha*) consorciada com *A. pintoi*; PP = pastagem (*B. decumbens*) permanente; MPC = milho em plantio convencional.

## 5 CONCLUSÃO

O uso antrópico do solo altera suas propriedades físicas e químicas em relação à mata nativa. Os sistemas com uso mais intensivo pelas práticas de adubação e calagem resultaram em melhoria da fertilidade do solo. No entanto, a intensa utilização do solo prejudicou os atributos físicos do solo, principalmente, nas pastagens consorciadas e lavoura de milho. Nessas áreas os maiores valores de densidades do solo podem ser atribuídos a compactação gerada por maquinário agrícola e por pisoteio de bovinos, porém nas áreas contendo pastagem o não revolvimento do solo e a alta densidade de raízes possibilitam a formação e estabilização de agregados do solo equivalentes ao da mata nativa.

O cultivo convencional de milho apresenta baixos teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo, que podem ser considerados indicadores da sua degradação, resultante em menor resiliência do sistema e menor oferta de serviços ambientais. As pastagens consorciadas também apresentam teores e estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo inferior aos encontrados na mata nativa, é possível que tenha ocorrido perdas nesses teores quando essas áreas foram submetidas ao plantio convencional anos atrás. Contudo, as pastagens consorciadas com *Arachis pintoi*, podem ter sido mais eficazes em recuperar parte desses estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo perdidos.

## REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Org.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 1-42.

ALMEIDA, R. G. et al. Produção animal em pastos consorciados sob três taxas de lotação, no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 852-857, 2002. Suplemento.

ANUÁRIO da pecuária brasileira. São Paulo: FNP, 2002. 400 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**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, set./out. 2007.

BALBINO, L. C. et al. **Estrutura e propriedades hidráulicas em latossolos sob cultivo na região do cerrado**. Brasília: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2003. 43 p.

BARCELLOS, A. O. et al. Potencial e uso de leguminosas forrageiras dos gêneros *Stylosanthes*, *Arachis* e *Leucaena*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM: A PLANTAFORRAGEIRA NO SISTEMA DE PRODUÇÃO, 17., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 297-357.

\_\_\_\_\_. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, p. 51-67, 2008. Suplemento.

BARTHÈS, B. G. et al. Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, n. 1, p. 14-25, Apr. 2008.

BLANCHART, E. et al. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of Vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture, Martinique, WI. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 343-355, July 2004.

CAMPBELL, B. D.; HUNT, D. Y. Global climate change effects on competition and succession in pasture. In: TOW, P. G.; LASENBY, A. (Ed.). **Competition and succession in pastures**. London: CAB International, 2001. p. 233-259.

CARDOSO, E. L. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 1028-1035, set. 2010.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 147-157, jan./fev. 2009.

CARVALHO, A. J. et al. Efeito da época de semeadura de brachiaria decumbens e dedessecantes em pré-colheita sobre o rendimento de grãos do feijoeiro e a biomassa forrageira em cultivo consorciado. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 5, p. 893-899, set./out. 2011.

CARVALHO, J. L. N. et al. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 342-349, 2010.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. **Agricultura e aquecimento global**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. 44 p. (Boletim Informativo, 23).

CERRI, C. E. P. et al. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 58-72, Jan. 2007.

CHAN, K. Y.; MCBOY, A. Soil carbon potential under perennial pastures in the mid-north coast of New South Wales, Australia. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v. 44, n. 5, p. 185-191, Sept./Oct. 2010.

CORSI, M.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; PAGOTTO, D. S. Sistema radicular: dinâmica e resposta a regimes de desfolha. In: MATTOS, W. R. S. (Ed.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 838-852.

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**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, fev. 1999.

COSTA, O. V. et al. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de Tabuleiro Costeirono sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1137-1145, 2009.

CUNHA, F. F. et al. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 351-357, 2010.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Comunicação classificatória e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DESJARDINS, T. et al. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 6, p. 365-373, Nov./Dec. 2004.

DIAS, P. F. et al. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de *Digitaria*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1015-1021, jun. 2006.

\_\_\_\_\_. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Revista Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 38-44, 2007.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém: MBDF, 2011. 29 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 1097-1104, maio/jun. 2003.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FOLLETT, R. F.; SCHUMAN, G. E. Grazing land contributions to carbon sequestration. In: MCGILLOWAY, D. A. (Ed.). **Grazingland: a global resource**. Wageningen: Academic, 2005. p. 266-277.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Genetic improvement of forage grasses and legumes to reduce greenhouse gas emissions**. Rome, 2007. Disponível em: <[http://www.fao.org/ag/AGP/.../abberton\\_%20genetic improvement.pdf](http://www.fao.org/ag/AGP/.../abberton_%20genetic%20improvement.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2012.

\_\_\_\_\_. **Livestock's long shadows: environmental issues and options**. Rome, 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

FORTES, C. A. **Fósforo e uréia em pastagem consorciada de capim-marandu e amendoim forrageiro**. 2010. 94 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

GATTO, A. et al. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 735-740, maio/jun. 2009.

GIACOMINI, S. J. et al. Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno como fonte de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto: II., potencial de fornecimento de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 751-762, jul./ago. 2004.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 8, n. 4, p. 345-360, Aug. 2002.

INÁCIO, E. S. B. **Distribuição vertical de carbono orgânico em latossolo sob diferentes usos**. 2009. 86 p. Tese (Doutorado em Ciências do solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 27 set. 2010.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: fourth assessment report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2007a. 939 p.

\_\_\_\_\_. **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers.** Cambridge: Cambridge University, 2007b. 804 p.

KARIA, C. T. et al. Gênero *Stylosanthes*. In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. (Ed.). **Plantas forrageiras.** Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 367-401.

KLUMPP, K. et al. Long-term impacts of agricultural practices and climatic variability on carbon storage in a permanent pasture. **Global Change Biology**, Oxford, v. 17, n. 12, p. 3534-3545, Dec. 2011.

LAL, R. The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 74, n. 1, p. 155-192, Jan. 2002.

LASCANO, C. E.; CÁRDENAS, E. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, p. 175-182, 2010. Suplemento.

LOPES, J. **Doses de fósforo e taxas de lotação em pastagem de capim-xaraés consorciado com estilozantes-mineirão.** 2009. 139 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MAIA, S. M. F. et al. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso States, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 149, n. 1/2, p. 84-91, Feb. 2009.

MAQUERE, V. et al. Influence of land use (savana, pasture, eucalyptus plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, n. 5, p. 863-877, Oct. 2008.

MARTUSCELLO, J. A. et al. Produção de biomassa e morfogênese do capim-braquiária cultivado sob doses de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 4, p. 923-934, 2011.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre: Gênese, 2004. 290 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 662 p.

MOREIRA, L. M. et al. Renovação de pastagem degradada de capim-gordura com a introdução de forrageiras tropicais adubadas com nitrogênio ou em consórcios. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 442-453, mar./abr. 2005.

NABINGER, C. Manejo da desfolha. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 18., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2001. p. 231-251.

NEILL, C. et al. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, Tempe, v. 7, n. 4, p. 1216-1225, Dec. 1997.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 317-328.

NOSBERGER, J.; BLUM, H.; FUHRER, J. Crop ecosystem responses to climatic change: productive grasslands. In: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. (Ed.). **Climate change and global crop productivity**. London: CAB International, 2000. p. 271-291.

PAGOTTO, D. S. **Comportamento do sistema radicular do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jack.) sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo**. 2001. 51 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

PAIM, N. R. Manejo de leguminosas forrageiras de clima temperado. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Ed.). **Plantas forrageiras de pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 301-318.

PARIS, W. **Produção animal em pastagens de coastcross-1 consorciada com *Arachis pintoi* com e sem adubação nitrogenada**. 2006. 109 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Maringá, Maringá, 2006.

PARIS, W. et al. Produção de novilhas de corte em pastagem de Coastcross-1 consorciada com *Arachis pintoi* com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 122-129, jan./fev. 2009.

PES, L. Z. et al. The primary sources of carbon loss during the crop-establishment period in a subtropical Oxisol under contrasting tillage systems. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 163-171, Dec. 2011.



PORTUGAL, A. F. **Resiliência da estrutura em Argissolo sob diferentes usos, na Zona da Mata de Minas Gerais**. 2005. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. V. D.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 575-585, mar./abr. 2010.

PORTUGAL, A. F. et al. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, set./out. 2008.

PURCINO, H. M. A. et al. Utilização e contribuição de leguminosas na produção animal. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 226, p. 76-97, 2005.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, nov./dez. 2007.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon?: mechanisms for a specific stabilisation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 269, n. 1/2, p. 341-356, 2005.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 47-86.

RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa, MG: UFV, 1990. 100 p.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicação**. Lavras: UFLA, 2005. 192 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005.

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**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 11-21, jan./fev. 2008.

\_\_\_\_\_. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, out. 2011.

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**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 669-678, maio 2002.

SCHMIDT, M. W. I. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, London, v. 478, p. 49-56, Oct. 2011.

SCHUNKE, R. M. et al. **Estoques de carbono em pastagens de braquiária consorciada com leguminosa**. Campo Grande: EMBRAPA, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/Fertbio.2004.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

SCHWENDENMANN, L.; PENDALL, E. Effects of forest conversion into grassland on soil aggregate structure and carbon storage in Panama: evidence from soil carbon fractionation and stable isotopes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 288, n. 1/2, p. 217-232, Oct. 2006.

SILVA, A. P.; CORSI, M.; IMHOFF, S. D. C. Soil compaction versus cow-stocking rates on an irrigated grazing system. **Advances in Geocology**, Amsterdam, v. 35, n. 3, p. 397-406, Mar. 2002.

SOUSSANA, J. F. et al. FULL accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 121, n. 1, p. 121-134, Mar. 2007.

SOUSSANA, J. F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, Cambridge, v. 4, n. 3, p. 334-350, 2010.

SOUZA, E. D. de et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1829-1836, nov./dez. 2009.

SPAIN, J. M.; PEREIRA, J. M. Sistemas de manejo flexible para evaluar germoplasma bajo pastoreo: una propuesta. In: LASCANO, C.; PIZARRO, E. (Ed.). **Evaluación de pastos com animales: alternativas metodologias-RIEPT**. Cali: CIAT, 1985. p. 85-87.

TARRÉ, R. et al. The effect of the presence of legume on *Brachiaria humidicola* pasture. **Plant and Soil**, The Hague, v. 234, n. 1, p. 15-26, Jan. 2001.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 147 p.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Perspectives of grass-legume pastures for sustainable animal production in the tropics. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004. p. 142-154.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 28, n. 5, p. 337-251, 1936.

ZINN, Y. L. et al. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 4, p. 1204-1214, 2007.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. W. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, Jan. 2005.

\_\_\_\_\_. Eucalypt plantation effects on organic carbon and aggregation of three different-textured soils in Brazil. **Soil Research**, Rome, v. 49, n. 7, p. 614-624, Nov. 2011.