

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Departamento de Pós-graduação em Geografia

Silvia Pereira Carneiro

**Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos
e manejos em área do cerrado**

Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil

Abril – 2010

Silvia Pereira Carneiro

**Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos
e manejos em área do cerrado**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geografia e Análise Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como pré-requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientadora: Prof^a. Dr^a Cristiane Valéria de Oliveira

Belo Horizonte
Instituto de Geociências da UFMG

2010

À minha família e amiga amada Ruth, que há algum tempo olha por mim do céu.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Geociências - IGC da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, especificamente ao Departamento de Geografia, pela oportunidade de realização do curso e formação profissional.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo pelos incontáveis préstimos, sem os quais essa pesquisa não teria sido realizada. Nominalmente, agradeço àqueles com quem estive diretamente em contato: Dr. Ivanildo, Jaqueline, Amanda, Joseane, Giovana, Ubiana, Márcia, Nelson do Laboratório de Microbiologia; Clóvis, Paulo, Enedir do Laboratório de Fertilidade do solo; ao senhor Paulo e sua incrível equipe do setor de Técnicas Agrícolas; Rosana e Conceição da Biblioteca; e especialmente ao Dr. Ramon Costa Alvarenga que viabilizou todo o trabalho desenvolvido nessa instituição e pela participação na banca examinadora.

À Professora Cristiane Valéria de Oliveira exemplo de profissionalismo, paciência e pelo apoio incondicional desde o início dos trabalhos. Ao Prof. Ricardo Alexandrino Garcia pela ajuda na parte estatística. À professora Vilma Lúcia Macagnan Carvalho e aos demais membros da banca examinadora. Aos funcionários da biblioteca, especialmente a Beth, pelos inúmeros Comut e a Paula (ou Oráculo) secretária da pós-graduação.

A minha família, principalmente, as minhas irmãs que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando todas as dificuldades e alegrias. A todos os meus amigos que te forma direta ou indireta contribuíram para a realização desse trabalho, especialmente, a Rafaele, pela confecção dos mapas; ao Rafael, pelo ajuda nos cálculos matemáticos, a Ana pela ajuda na escrita do abstract e na leitura dos inúmeros textos em inglês.

À Deus.

OBRIGADA!

RESUMO

O solo desempenha importantes funções na manutenção dos processos interativos que ocorrem na biosfera tais como a filtragem e retenção de contaminantes, armazenamento e ciclagem da água, sustentação do crescimento radicular, retenção e liberação de nutrientes para as plantas dentre outras. O uso irracional do solo, seja urbano ou rural, compromete as funções desempenhadas por esse componente da biosfera, resultando em uma alteração do todo, visto que suas partes estão estreitamente inter-relacionadas.

Dentro da temática ambiental o uso sustentável do solo vem adquirindo cada vez mais relevância, sendo objeto de estudo de vários pesquisadores. Dessa valorização surgem novos conceitos dentre os quais o de qualidade do solo.

Objetivando avaliar a qualidade do solo em área sob diferentes usos e manejos, foram amostradas camadas de um LATOSSOLO VERMELHO Típico sob quatro tipos de sistemas de ocupação: cerrado natural (área de referência), sistema convencional de preparo do solo com arado de discos e duas gradagens, sistema de plantio direto e florestamento de pinus.

As áreas localizam-se no campo experimental do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo no município de Sete Lagoas - MG, com latitude 19°28'S, longitude 44°15'W e altitude de 732m. O clima é Aw (Köppen), ou seja, típico de savana, com inverno seco e temperatura média do ar no mês mais frio superior a 18° C.

Foram realizadas coletas das seguintes camadas 0,0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-60 cm e analisados os seguintes atributos do solo: capacidade de troca catiônica, soma de bases, pH, matéria orgânica, carbono da biomassa microbiana e respiração basal, atividade enzimática urease e fosfatase ácida. Os indicadores analisados complementaram uma pesquisa anterior desenvolvida na área, cujo objetivo era analisar as alterações de alguns atributos físicos do solo em virtude do tipo de uso e manejo adotado. Desse trabalho foram utilizados os dados dos indicadores: argila dispersa em água, densidade aparente, porosidade e estabilidade dos agregados na classe 2-4 mm. A associação dos resultados obtidos em ambas as pesquisas permitiu a execução de uma análise estatística, a organização de um diagrama comparativo e o cálculo de um índice de qualidade do solo para cada tipo de uso.

Os resultados evidenciaram uma relação inversa entre a qualidade do solo e a intensidade de uso a que as áreas foram submetidas. Dentre os sistemas analisados o florestamento de pinus foi o que apresentou o menor desvio em relação ao cerrado nativo, resultado de uma pequena modificação nos atributos físicos e químicos. Sob esse manejo os

indicadores biológicos, especialmente a biomassa microbiana e a respiração basal, foram mais sensíveis às alterações sofridas pelo ambiente.

A manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e seus consequentes efeitos positivos nos atributos físicos, químicos e biológicos aliado ao seu não-revolvimento garantiram ao solo sob plantio direto um índice de qualidade maior do que o calculado para o solo sob preparo convencional. Em ambos os sistemas de cultivo, os indicadores físicos demonstram maior sensibilidade para avaliar mudanças na qualidade do solo.

Perante a análise dos dados dos indicadores e da elaboração do modelo comparativo foi possível avaliar o nível de degradação do solo em função do uso de cada área. Pode-se ainda, recomendar o emprego deste procedimento para avaliação de impactos ambientais do uso do solo na região do Cerrado e o fortalecimento da disseminação do plantio direto em detrimento do preparo convencional do solo.

Palavras chaves: qualidade do solo, sistemas agrícolas, física do solo, química do solo, biologia do solo.

ABSTRACT

The soil plays important functions in the maintenance of interactive processes that occur in the biosphere such as the filtering and retention of pollutants, storage and cycling of the water, sustentation of the roots growth, retention and release of nutrients for the plants among others. The irrational use of the soil, either urban or rural, commits the functions performed by this component of the biosphere, resulting in an alteration of the whole, since its parts are narrowly interrelated

From the inside of the environmental theme the sustainable use of the soil acquires more relevance, being object of study of many researchers. In this point of view, new concepts appear amongst them the soil quality.

Which the aim of evaluating the soil quality in areas under distinct uses and management, soil samples were taken from four kinds of systems of occupation in Typical Red Latosol: natural savannah (reference area), disk plow system of preparation of the soil with plough and two harrow disk, no tillage system of the soil, and forestation of pinus.

The areas are situated in the experimental field of Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo - CNPMS (National Research Center of Corn and Sorghum) in the city of Sete Lagoas – MG, with latitude 19°28'S, longitude 44°15'W and altitude of 732m. The climate is Aw (Köppen), typical of savannah, with dry winter and average temperature of air in the coldest month above 18 ° C.

Some soil layers were collected: 0,0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-60 cm and some attributes of the soil were analyzed: cation exchange capacity, sum of bases, pH, organic matter, microbial biomass carbon and basal biology respiration, enzyme activity urease and acid phosphatase. The analyzed pointers had complemented a developed previous research in the area, whose object was analyze the alterations of some physical attribute of the soil because of the type of use and adopted management. From this work the data of the indicators were used: dispersed clay in water, bulk density, porosity and stability of aggregates in class to 2-4 mm. The association of the results obtained in both researches allowed the execution of statistics analysis, the organization of a comparative diagram and the calculation of an index of soil quality for each type of use.

The results showed a inverse relation between soil quality and intensity of use in which areas were submitted. Among the analyzed systems forestation of pinus showed the least deviation in relation to the native vegetation, result of a small change in the physical and

chemical attributes. Under this management the biological indicators, especially the microbial biomass and basal respiration were more sensitive to changes suffered by the environment.

The maintenance of vegetal waste on the soil surface and its resulting positive effects on physical, chemical and biological attributes together with its non-revolvement guaranteed to the soil under no tillage a higher quality index than calculated for the soil under disk plow system of preparation. In both cropping systems, the physical indicators demonstrate higher sensitivity to assess changes in the soil quality.

In the face of analysis of data of the indicators and the elaboration of the comparative model it was possible to evaluate the level of the soil due to the use of each area. It can still, to recommend to the use of this procedure for evaluation of environmental impacts of the use of the soil in the Savannah region and the reinforcement of the dissemination of the no tillage in detriment of the disk plow preparation of the soil.

Word-key: soil quality, agricultural systems, soil physics, soil chemistry, soil biology.

ÍNDICE

Introdução.....	17
Capítulo 1 – Revisão Bibliográfica	
1.1 - Uso do Solo.....	20
1.2 – Sistemas de preparo do solo.....	23
1.3 - Qualidade do solo.....	25
1.4 - Os indicadores da qualidade do solo.....	27
1.4.1 - Indicadores físicos da qualidade do solo.....	30
1.4.2 - Indicadores químicos da qualidade do solo.....	32
1.4.3 - Indicadores biológicos da qualidade do solo.....	36
Capítulo 2 - Caracterização da Área	
2.1 – Localização.....	41
2.2 - Geologia e geomorfologia.....	42
2.3 - Hidrologia, clima, cobertura vegetal e uso do solo.....	45
2.4 – Pedologia.....	45
3- Metodologia.....	51
3.1 - Amostragem do solo.....	54
3.2 - Indicadores de qualidade do solo avaliados.....	55
3.2.1 – Atributos físicos.....	55
3.2.2 – Atributos químicos	55
3.2.3 – Atributos biológicos.....	56
3.3 – Análises estatísticas e modelagem.....	59
Capítulo 4 – Resultados	
4.1 - Atributos biológicos.....	62
4.1.1 – Respiração Basal.....	63
4.1.2 – Carbono da biomassa microbiana.....	65
4.1.3 – Atividade enzimática.....	69
4.3.1.1 – Fosfatase ácida.....	69
4.3.1.2 – Urease.....	72
4.2 - Atributos Químicos.....	75

4.2.1 – pH.....	77
4.2.2 – Matéria orgânica.....	78
4.2.3 – Soma de bases.....	81
4.2.4 – Capacidade de troca catiônica.....	86
4.3 - Atributos Físicos.....	88
4.3.1 – Densidade.....	89
4.3.2 – Porosidade.....	91
4.3.3 – Argila dispersa em água.....	92
4.3.4 – Estabilidade dos agregados.....	94
4.4 – Correlação entre as variáveis.....	96
4.5 – Modelo de Qualidade do Solo	
4.5.1 – Índice de qualidade do solo sob Florestamento de Pinus.....	99
4.5.2 – Índice de qualidade do solo sob plantio direto.....	101
4.2.3 – Índice de qualidade do solo sob preparo convencional.....	103
5 – Considerações finais.....	105
Referências bibliográficas.....	107
Anexos.....	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funções do solo, atributos relacionados e indicadores da qualidade do solo.....	29
Figura 2 - Localização do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.....	41
Figura 3 - Mapa geológico do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.....	42
Figura 4 - Mapa geomorfológico do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.....	44
Figura 5 - Mapa pedológico do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.....	46
Figura 6 - Cerrado nativo no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.....	51
Figura 7 - Florestamento de pinus vista geral e do interior do tratamento no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.....	52
Figura 8 - Área de cultivo sob preparo convencional do solo no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.....	52
Figura 9 - Área de cultivo sob plantio direto do solo no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.....	53
Figura 10 – Localização das áreas de estudo no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.....	53
Figura 11 – Croqui de localização dos tratamentos estudados.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios dos indicadores biológicos respiração basal (RB), carbono da biomassa microbiana (CBM), fosfatase ácida e urease obtidos Valores médios de respiração basal ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade.....	62
Tabela 2 - Características químicas obtidas nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade.....	72
Tabela 3 - Valores médios densidade (g/cm^3) obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade.....	89
Tabela 4 - Valores médios porosidade total % obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade.....	91
Tabela 5 - Argila dispersa em água g/kg obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade.....	93
Tabela 6 - Valores médios estabilidade dos agregados na classe de 2-4mm obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade.....	94
Tabela 9 - Valores de correlação entre os indicadores avaliados.....	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valores médios de respiração basal ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$), obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade.....	61
Gráfico 2 - Valores médios de carbono da biomassa microbiana do solo (mg C Kg^{-1} solo), obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade	66
Gráfico 3 - Valores médios da atividade enzimática Fosfatase ácida (μg de ρ -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1}), obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade	70
Gráfico 4 - Valores médios da atividade enzimática urease ($\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1}$ solo h^{-1}), obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade.....	73
Gráfico 5 - Valores médios do teor de matéria orgânica (dag kg^{-1}), obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade	79
Gráfico 6 - Valores médios de soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade	84
Gráfico 7 - Valores médios de saturação por bases (%) obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade	85
Gráfico 8 - Valores médios da capacidade de troca catiônica ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) obtidos nos solos sob os tratamentos avaliados entre 0 a 60 cm de profundidade.....	87
Gráfico 9 - Diagrama comparativo da qualidade do solo da área sob florestamento de pinus, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao cerrado nativo.....	99

Gráfico 10 - Diagrama comparativo da qualidade do solo da área sob plantio direto do solo, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao cerrado nativo.....	101
Gráfico 11: Diagrama comparativo da qualidade do solo da área sob preparo convencional do solo, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao cerrado nativo.....	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Descrição morfológica do solo sob Cerrado Nativo.....	47
Quadro 02 - Descrição morfológica do solo sob Florestamento de Pinus.....	48
Quadro 03 - Descrição morfológica do solo sob Plantio Direto.....	49
Quadro 04: Descrição morfológica do solo sob Preparo Convencional.....	50

INTRODUÇÃO

A concepção tradicional das relações entre a sociedade e a natureza desenvolvidas até o século XIX, vinculadas ao processo de produção capitalista, considerava o homem e a natureza como pólos distintos. Cabe ao homem, em sua exterioridade, descrever e dominar a natureza, sendo esta entendida como um objeto, uma propriedade, uma fonte ilimitada de recursos à disposição da humanidade.

O desenvolvimento econômico presenciado até os anos 70 baseou-se nessa compreensão, sendo a acumulação realizada por meio da intensa exploração dos recursos naturais. Somente a partir dessa década que os graves problemas ambientais até então vivenciados transcendem as dimensões locais e adquirem notoriedade mundial.

Do cenário de discussão ambiental, iniciado na década de 70, emergem mudanças na visão de mundo, toma-se consciência de que os recursos naturais são finitos e que a demanda constante e sem limites exigida pelo modelo econômico encontra-se desprovida de bases materiais, além disso, entende-se que o uso incorreto destes pode ocasionar o fim da humanidade.

Dentre os tópicos associados à consciência ambiental, o solo passou a ser considerado e analisado como um recurso nativo de essencial importância para a manutenção da vida e do meio ambiente (Santos, 2007).

Dentro dos sistemas interativos da biosfera o solo é um recurso nativo vital e representa um balanço entre os fatores físicos, químicos e biológicos (Morris, 2007). Dentre as várias funções do solo pode-se destacar: a filtragem e retenção de contaminantes, armazenamento e ciclagem da água, sustentação do crescimento radicular, retenção e liberação de nutrientes para as plantas dentre outras. Segundo Doran e Parkin (1994), o solo é o principal componente na manutenção da qualidade ambiental com efeitos em nível local, regional e mundial.

Em contraposição à visão ambiental existe uma crescente preocupação em se aumentar à produção de alimentos tentando atender as demandas resultantes do aumento da população. Esse cenário gerou uma pressão pelo uso intensivo dos recursos naturais, principalmente o solo, resultando na diminuição da sua qualidade e comprometendo a qualidade ambiental e a saúde de todos os organismos envolvidos no agroambiente.

A qualidade do solo, conceito que atribui ao solo várias funções tem sido proposta como um indicador integrado da qualidade do ambiente e da sustentabilidade da produção agrícola.

De acordo com Doran e Parkin (1994)

“qualidade do solo é a capacidade ou especificidade do solo de exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana” (Doran e Parkin, 1994, p.7).

Por se tratar de um conceito abstrato, faz-se necessário o desenvolvimento de sistemas de avaliação quantitativos, baseados em uma combinação de propriedades do solo ou em indicadores químicos, físicos e biológicos que sejam sensíveis a mudanças e distúrbios causados pelo manejo e possibilitem o monitoramento dessas, a médio e longo prazo, no estado de qualidade do solo avaliado. Esses indicadores necessitam ser quantificados localmente e integrados em um índice de qualidade do solo (IQS), permitindo que se aponte a direção para a qual as mudanças na qualidade do solo estão seguindo.

O monitoramento da qualidade do solo permite um melhor planejamento e execução das práticas de manejo e conservação do solo e da água, conseqüentemente, assegura ou mesmo melhora a qualidade do solo e a realização de suas funções no meio ambiente, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental.

Ademais, a proposição de um índice de qualidade do solo pode ser útil na avaliação de impactos ambientais no que diz respeito à incorporação de áreas preservadas ao processo produtivo agropecuário, a urbanização, mineração entre outras. Assim, torna-se um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental.

A construção de um índice de qualidade do solo adquire grande relevância quando se considera o crescimento populacional registrados nas áreas metropolitanas e seu conseqüente aumento da pressão sob o uso do solo, revelado através da intensificação da produção de alimentos dentro de perímetro urbano e periurbano, utilizando métodos intensivos. Assim selecionou-se como área de estudo um recorde espacial localizado no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS, em Sete Lagoas. A escolha desse município justifica-se por sua vocação econômica, uma vez que, tradicionalmente a economia da cidade deve sua

evolução às atividades agropecuárias. Com a instalação da Embrapa no município foram introduzidos novos tipos de cultivo no município: a soja e o sorgo, fortalecendo seu posicionamento no cinturão verde abastecedor da Região Metropolitana de Belo Horizonte (Nogueira, 2003).

O objetivo geral desse trabalho **é avaliar comparativamente a qualidade do solo, utilizando indicadores físicos, químicos e biológicos, em áreas sob diferentes usos e manejos.** A pesquisa tem caráter de complementaridade de um estudo realizado anteriormente na área que se dedicava a pesquisar alterações físicas no solo decorrentes do tipo de uso e manejo. Desse modo, também, visa somar dados ao conhecimento já existente. Além disso, o estudo tem como objetivos específicos:

- Comparar as características químicas e biológicas de um Latossolo sob vegetação nativa (Cerrado) com aquelas do solo sob Pinus, Plantio Direto e Sistema convencional de preparo.
- Averiguar quais características dos solos (químicas ou biológicas) são mais afetadas pelo seu uso.
- Verificar qual manejo compromete de forma mais significativa a capacidade do solo de exercer suas funções dentro dos limites de seu uso e do ecossistema, e como essas alterações interferem no funcionamento dos demais processos ambientais.

1- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 - Uso do solo

O solo é essencial para o desenvolvimento da vida humana, uma vez que é o solo que suporta os vegetais, dos quais, a humanidade depende direta ou indiretamente. Além disso, o solo desempenha importantes funções nas relações e interações existentes na biosfera. A utilização desse recurso natural deve ser pautada em práticas que visem à minimização ou mesmo impedimento de sua degradação, e por consequência mantenham a qualidade ambiental.

De acordo com Lepsch (1977, p.13) o solo pode ser definido como:

“a massa natural, que compõe a superfície da terra, que suporta ou é capaz de suportar plantas, ou também como a coleção de corpos naturais que contêm matéria viva e é resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza durante certo tempo e é influenciada pelo tipo de relevo”.

Para Embrapa (2006, p.5) o solo é uma:

“[...] uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do planeta. [...]. Ocasionalmente podem ter sido modificados por atividades humanas”.

Outras definições de solo foram elaboradas por Curi et al. (1993), como:

“Solo. (1) Material mineral/ou orgânico inconsolidado na superfície da terra que serve como meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres. (2) Matéria mineral não consolidada, na superfície da terra, que foi sujeita e influenciada por fatores genéticos e ambientais do material de origem, clima (incluindo efeitos de umidade e temperatura), macro e microorganismos, e topografia, todos atuando durante um período e produzindo um produto solo, o qual difere do material do qual ele é derivado em muitas propriedades e características físicas, químicas, mineralógicas, biológicas e morfológicas” (CURI et al., 1993, p. 74).

Entre as definições de solo têm-se como pontos similares aspectos que envolvem sua formação e sua função. Identifica-se nessas acepções a importância do solo para a

sobrevivência do homem, pois esse é considerado o principal substrato para o crescimento das plantas, seres essenciais na formação e funcionamento da cadeia alimentar.

Segundo Souza (1993) o solo constitui-se do recurso natural mais intensamente utilizado para atender às necessidades de produção contínua de alimentos nas quantidades e variedades exigidas pela humanidade. Logo, seu uso, de maneira racional e adequada, constitui fator imprescindível para a obtenção de resultados satisfatórios nos empreendimentos agrícolas. Para a concretização destes objetivos, torna-se necessário conhecer as características do solo – intrínsecas e extrínsecas – que fornecerão subsídios para avaliação do comportamento do solo quando submetido a diferentes tipos de exploração.

Para Lepsch (1991), o desenvolvimento da atividade agrícola está diretamente relacionado à existência de determinados aspectos do solo, que por sua vez originam condições ambientais específicas. As características dos solos que mais interferem no desenvolvimento da atividade agrícola são a profundidade efetiva, a reserva de nutrientes, a capacidade de armazenamento de água e sua baixa erodibilidade.

As propriedades nutricionais do solo são afetadas por propriedades como capacidade de troca catiônica, carga elétrica, espécie e concentração de cátions permutáveis, sais solúveis e condutividade elétrica (Lal,1999). Os solos das regiões tropicais úmidas, em função das condições climáticas, geralmente, têm algumas limitações relacionadas às propriedades químicas, como baixa reserva de nutrientes, pequena quantidade de material orgânico, acelerada oxidação, grande exigência de fosfato, baixa CTC, e moderada a alta acidez (Lal, 1999; Greenland, 1981 apud Simões, 2007).

No que se refere às propriedades físicas do solo, Lal (1999) afirma que a textura, a estrutura e a distribuição de tamanho de poros condicionam a infiltração da água e a aeração, facilitam o crescimento das raízes das plantas, influenciam nos processos de compactação e adensamento do solo.

Outros aspectos físicos, também, são pontuados por Lepsch (1991) como determinantes no uso do solo, tais como relevo favorável, disponibilidade de água, tipos e graus de susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. A junção dos aspectos inerentes do solo e dos aspectos ambientais forma a base para a classificação da capacidade de uso do solo.

A capacidade de uso do solo pode ser caracterizada como uma adaptabilidade para fins diversos, sem que sofra depauperamento pelos fatores de desgaste e empobrecimento (Lepsch, 1991).

Para Bertoni e Lombardi Neto (1999), a classificação da capacidade de uso do solo visa estabelecer bases para o seu melhor aproveitamento e envolve a avaliação das necessidades para os vários usos que possam ser dados a determinada porção de terra. Desse modo, as classes de capacidade de uso do solo são consideradas como pressupostos sobre os quais fatores econômicos e sociais de determinada área basearam-se para elaborar modificações no uso do solo.

Outro sistema de classificação das terras que se destaca é o sistema de avaliação da aptidão agrícola elaborado por Ramalho Filho e Beek (1995). A avaliação da aptidão agrícola baseia-se na comparação das condições oferecidas pelas terras, com a exigência de diversos tipos de usos. Trata-se, portanto, de um processo interpretativo que considera informações sobre características de meio ambiente, de atributos do solo e da viabilidade de melhoramento de qualidades básicas das terras.

Apesar de mencionarem aspectos referentes à relação custo/benefício e tendência econômica, a longo prazo, Ramalho Filho e Beek (1995), apontam que o objetivo maior do método reside na orientação, com vistas à sustentabilidade de uso das terras, no planejamento regional e nacional.

Sob a ótica da agricultura sustentável, a avaliação da aptidão agrícola reveste-se de grande importância, visto que, historicamente, a ocupação agrícola das terras tem gerado problemas ambientais, em virtude não somente do uso indevido de áreas frágeis, como também da sobreutilização de terras (uso do solo acima de sua capacidade produtiva). É comum a condução do uso de uma área de forma incompatível com sua real aptidão agrícola, resultando em problemas de degradação de agroecossistemas, trazendo junto à perda de competitividade do setor agrícola e deterioração da qualidade de vida da população (CURI et al., 1992 apud Pereira et al., 2006).

1.2 - Sistemas de preparo do solo

O preparo do solo é um conjunto de operações agrícolas na qual se procura alterar seu estado físico, químico e biológico, de forma a proporcionar melhores condições para o máximo desenvolvimento das plantas cultivadas. As alterações impostas pelo preparo do solo devem atingir uma profundidade específica, objetivando o bom arejamento e umidade, beneficiando o desenvolvimento radicular e, por conseguinte, a produção máxima dentro das possibilidades de clima e nutrição da planta (Alvarenga et al.; 1987).

No sistema convencional, o preparo do solo consiste no revolvimento de camadas superficiais, visando incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e com isso elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água, facilitando o crescimento das raízes das plantas (Braunak e Dexter, 1989 apud Gabriel Filho et al., 2000). O revolvimento do solo também promove o corte e o enterrio das plantas daninhas e auxilia no controle de pragas e patógenos do solo (Alvarenga et al.; 1987). Esse revolvimento é realizado, basicamente, com aração e gradagens. O arado efetua o corte e a inversão da camada arada do solo, além de promover a incorporação de resíduos vegetais e plantas daninhas a profundidade revolvida. A grade complementa esse trabalho, diminuindo o tamanho dos torrões na superfície, além de nivelar o terreno.

O preparo intensivo do solo, promovido pelo sistema de cultivo convencional, atua desagregando as partículas da camada superficial do solo e acelera a oxidação da matéria orgânica, aumentando a possibilidade de translocação de argila no perfil, e, por conseguinte a compactação, que leva à diminuição de infiltração de água e aumento nas perdas por erosão (Alvarenga et al.; 1987; Gabriel Filho et al., 2000; Pavan Junior, 2006; Silva, 2008).

Outro problema, oriundo do uso excessivo e inadequado de arado e grade, é a compactação do solo nas camadas subsuperficiais (conhecida como pé-de-arado ou pé-de-grade). Essas camadas compactadas tendem a aumentar a erosão, pois dificultam a infiltração da água da chuva, saturando rapidamente o solo, e com isso aumentando o escoamento superficial da água que arrasta consigo as partículas do solo (Camargo e Alleoni, 1997).

Nos anos 30, surge na Inglaterra um novo sistema de cultivo realizado em solo não arado ou gradeado, denominado de plantio direto. Esse sistema nasce como uma alternativa para combater a erosão por meio do controle do escoamento superficial da água da chuva utilizando restos culturais como barreira que reduz a velocidade da água de escoamento, facilitando a infiltração de água no solo. No Brasil, este plantio só se desenvolveu

rapidamente a partir da década de 70, quando foi adotado por agricultores no sul do país (Corrêa e Cruz, 1987). Este tipo de preparo mínimo do solo é visualizado como uma técnica conservacionista, pois proporciona a melhoria das propriedades químico-físicas do solo e a conservação por períodos mais prolongados da água e da matéria orgânica, propiciando condições para o aumento da capacidade produtiva do solo (Alves, 1992).

Para Cruz et al., (2001) o plantio direto se caracteriza principalmente pelo não revolvimento do solo e pela interação dos seguintes fundamentos:

- a. Eliminação/ redução das operações de preparo do solo. A adoção desse fundamento promove a maior manutenção da estabilidade dos agregados, propiciando uma melhora na estrutura do solo, influenciando diretamente sua aeração que afeta a taxa de infiltração da água da chuva, a disponibilidade de nutrientes, o desenvolvimento radicular das plantas e a atividade biológica do solo.
- b. Uso de herbicidas apropriados, que permitem um controle adequado das plantas daninhas antes e depois do plantio.
- c. Formação de cobertura morta. Considerada como essência do plantio direto, a manutenção de restos culturais sobre o solo fornece proteção contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo o volume e a velocidade do escoamento superficial, diminuindo a erosão. Além de permitir uma maior infiltração de água, a cobertura morta, contribui para a redução da temperatura e conservação da umidade do solo, à medida que o protege contra os raios solares. A atividade microbiológica também é modificada pela manutenção dessa camada de palha, uma vez que essa promove um aumento da disponibilidade da matéria orgânica, material de onde a maioria dos microrganismos obtém energia e os elementos minerais e orgânicos para a realização de seus processos vitais. Ademais esse maior aporte de matéria orgânica influencia positivamente a agregação, a estrutura do solo e a capacidade de troca catiônica.
- d. Rotação de culturas. A combinação de espécies vegetais que possuem diferentes exigências nutricionais, produção de fitomassa e sistema radicular confere ao sistema mais eficiência e maior facilidade no controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

Os benefícios da adoção do sistema plantio direto foram relatados por vários autores (Derpsch et al.,1991; Castro Filho et al., 1998, Beutler et al., 2001; Cogo et al., 2003; Costa et al., 2003; Oliveira et al., 2004; Pavan Junior, 2006). É relevante salientar que as melhorias

verificadas no plantio direto relacionam-se diretamente com a adoção de cobertura morta. A manutenção dessa cobertura nos solos da região do Cerrados é dificultada pelo clima, pois a seca é bastante prolongada e a palhada é rapidamente decomposta. Porém, esses resíduos quando satisfatoriamente permanecem na superfície do solo interferem positivamente nas funções ambientais desempenhada por esse elemento natural.

1.3 - Qualidade do solo

O termo qualidade do solo tornou-se mais usual a partir de 1990, após a publicação do relatório intitulado “soil and water quality – an agenda for agriculture” (Karlen et al., 1997). Segundo Araújo (2008), nesse relatório, a qualidade do solo havia sido concebida em razão de seu papel em ecossistemas naturais e agroecossistemas, uma vez que a qualidade deste recurso natural, historicamente, sempre esteve relacionada à sua produtividade.

O desenvolvimento do conceito e sua aplicação no manejo e uso da terra, desde então, tem tido várias abordagens entre cientistas da ciência do solo (Doran e Parkin, 1994; Larson e Pierce, 1994; Karlen et al., 1997; USDA, 2001a).

Karlen et al. (1997) consideram como qualidade do solo, a capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água e do ar e suportar o crescimento humano.

O conceito de qualidade do solo, definido por Johnson et al., (1997) apud Araújo e Monteiro (2007), refere-se à condição do solo relativa aos requerimentos de uma ou mais espécies biológicas e/ou de algum propósito humano.

Larson e Pierce (1994, p. 37) conceituaram qualidade do solo como “capacidade do solo funcionar dentro dos limites do ecossistema e interagir positivamente com o meio ambiente externo daquele ecossistema”.

Para Araújo (2008), as diferentes definições de qualidade do solo explicitam a complexidade do tema, ressaltando que os múltiplos conceitos baseiam-se, em sua maioria, na utilização do solo pelo homem para fins agrícolas e relacionadas com as funções desse recurso em ecossistemas naturais e agrícolas. Para o autor essa multiplicidade de conceitos indica que o mesmo continuará a evoluir.

Sojka e Upchurch (1999) apud Araújo (2008), definem três cenários que dificultam a construção de um conceito único de qualidade do solo:

“a) a definição pode mudar para a mesma área de terra e mesmo uso, dependendo das condições climáticas (efeito da sazonalidade); b) a definição pode mudar dependendo da habilidade de cada produtor em manejar sua área, uma vez que alguns aplicam demasiada quantidade de “inputs”, fazem uso inadequado de mecanização, desperdiçando tempo no campo, etc.; c) a definição deve mudar para cada cultivo e sistema de cultivo, para cada praga, doença, etc., uma vez que a sistemática para cada cenário altera a definição de qualidade do solo” (Sojka e Upchurch, 1999 apud Araújo, 2008 p.6) .

Karlen et al. (1997) e USDA (2001b) aprofundam a discussão, ao afirmarem que a qualidade do solo pode ser vista de duas diferentes formas: (a) como uma característica intrínseca de determinado solo (*qualidade intrínseca*); (b) como uma condição de "saúde" do solo (*qualidade dinâmica do solo*). A qualidade intrínseca ao solo é aquela governada pelos processos formadores do mesmo. Consequentemente, cada solo apresenta uma capacidade própria de funcionar. Esta característica intrínseca pode ser definida por parâmetros que reflitam o potencial pleno ou ideal de determinado solo de realizar determinada função.

A segunda maneira de avaliar a qualidade do solo assume que, se um solo está funcionando em um potencial máximo para determinado uso (talvez através da adoção das "melhores práticas de manejo"), ele apresenta excelente qualidade. Porém, se o mesmo está funcionando bem abaixo de seu potencial, pode-se concluir que ele está com sua qualidade prejudicada ou empobrecida. Segundo os autores, a avaliação da qualidade dinâmica do solo pressupõe implicitamente que os ecossistemas envolvidos estejam suficientemente compreendidos de forma a se saber se o sistema encontra-se realmente sustentável. Para tanto, as avaliações de qualidade do solo requerem a medição do estado atual de determinado indicador e a comparação dos resultados com valores desejáveis ou conhecidos.

1.4 – Os indicadores da qualidade do solo

Para avaliar a qualidade de um solo é necessário que se analise algumas propriedades do mesmo, que, em conjunto, são denominadas indicadores de qualidade do solo, que podem ser propriedades ou processos físicos, químicos e biológicos do solo (USDA, 2001b).

Para Mielniczuk et al. (2003), uma questão essencial em relação à qualidade do solo é a identificação de indicadores que possam auxiliar na avaliação de terras em relação à degradação, na realização de estimativas de necessidades de pesquisa e de financiamentos e julgamento das práticas de manejo utilizadas, a fim de monitorar as mudanças na sustentabilidade e na qualidade ambiental.

Segundo Doran e Parkin (1994), os indicadores selecionados devem cumprir os seguintes critérios:

- Abranger processos do ecossistema e relacionar-se às modelagens orientadas por processos.
- Integrar processos e propriedades físicas, químicas e biológicas.
- Ser acessíveis a diversos usuários e aplicáveis a condições de campo.
- Ser sensíveis a variações de manejo e clima, mas resistentes a flutuações em curto prazo.
- Se possível, devem fazer parte de bases de dados de solo já existentes.
- Sua determinação deve ser simples, acurada e de baixo custo.

Santana e Bahia Filho (1999) argumentam que um indicador deve ainda ser sensível o bastante para refletir a influência de manejo e clima em variações de longo prazo na qualidade do solo, mas não tão sensível a ponto de ser influenciado por pequenas alterações no clima. Segundo os mesmos autores, os indicadores de qualidade do solo são importantes para focar os esforços de conservação em melhoria das condições do solo; avaliar práticas e técnicas de manejo do solo; relacionar qualidade do solo com outros recursos; coletar as informações necessárias para determinar tendências de mudanças na qualidade do solo e orientar as decisões de manejo.

Islam e Weil (2000) classificam os indicadores em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH e disponibilidade de nutrientes; os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como: profundidade, camadas restritivas, textura e mineralogia; e, entre esses dois extremos, estão os indicadores intermediários, que

demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de qualidade do solo.

Os indicadores escolhidos para uma determinada avaliação devem ser testados e monitorados, permitindo, então, avaliar as mudanças da qualidade do solo ao longo do tempo ou em diferentes escalas, possibilitando identificar a heterogeneidade natural do solo, flutuações sazonais ou incertezas analíticas. Para cada região agro-climática, é necessário determinar os atributos que são mais sensíveis ao manejo, pois estes são os mais desejáveis como indicadores e para observação das mudanças na qualidade do solo (Arshad e Martin. 2002 apud Morris, 2007).

Para Santana e Bahia Filho (1999), é necessário que se estabeleça um limite de sustentabilidade para cada indicador, para que seja possível separar a condição sustentável da não sustentável. De acordo com os mesmos autores dois enfoques distintos têm sido propostos para o estabelecimento destes critérios de referência: 1) condição de solo nativo; 2) condições que maximizem a produção e conservem o meio ambiente.

Vários outros autores têm preferido adotar como critério de referência as condições prevalentes em solos que suportam uma vegetação nativa e que tenham sofrido mínimos distúrbios antropogênicos (Dick,1994; Doran et al., 1994; Islam e Weil, 2000). Segundo Doran et al. (1994), o uso desse critério garante larga aplicabilidade das avaliações de qualidade do solo com respeito à sustentabilidade, uma vez que as propriedades físicas, químicas e biológicas que suportam uma vegetação nativa evoluíram para um estado de equilíbrio que garante uma viabilidade de longo prazo do ecossistema circunvizinho.

Chaer (2001) ressalta que o solo é um ambiente complexo, onde os inúmeros processos químicos, físicos e biológicos interagem em fluxo constantemente, de forma heterogênea e, frequentemente, de difícil medição. Combinando esses fatores de complexidade do ambiente solo com a definição de qualidade do solo, que reconhece as suas múltiplas funções, pode se ter idéia que a medida de qualidade desse sistema é extremamente difícil.

Doran e Parkin (1994), Karlen e Stott (1994) e Larson e Pierce (1994) constroem uma proposta para superar essa dificuldade. Esses autores defendem a idéia de que é necessário definir explicitamente as funções da qualidade do solo, identificando os atributos de cada função, e então, selecionar um conjunto mínimo de indicadores para a medição de cada atributo.

Considerando que o solo tem como função o suporte aos processos da vida, ou seja, prover o suporte físico e os nutrientes para as plantas, promover a retenção e o movimento da água, suportar as cadeias alimentares do solo e as funções reguladoras do ambiente, incluindo a ciclagem de nutrientes, a diversidade microbiana, a remediação de poluentes e a imobilização de metais pesados, Larson e Pierce (1994) propõem um modelo explicativo do relacionamento das funções do solo com os atributos do solo, que podem ser resumidos nas suas qualidades físicas, químicas e biológicas (Figura 1).

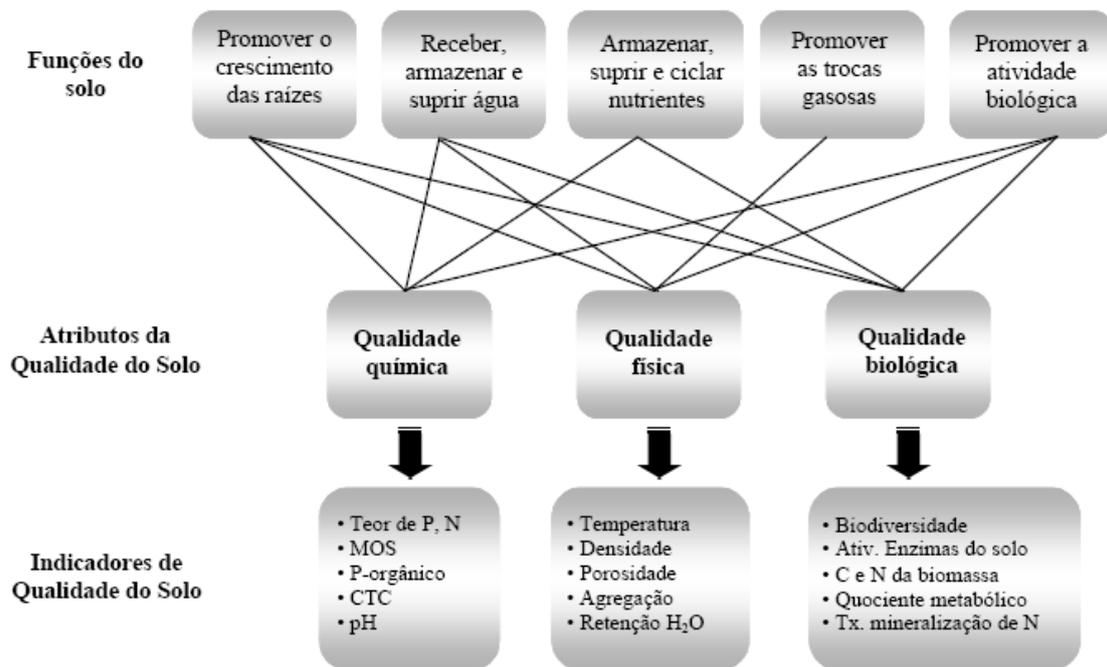


Figura 1. Funções do solo, atributos a elas relacionados e indicadores de qualidade do solo. Figura organizada por Chaer (2001) baseada em Larson e Pierce (1994).

1.4.1 - Indicadores físicos de qualidade do solo

A qualidade física de solos é um importante elemento de sustentabilidade, estando essas propriedades envolvidas em vários processos do solo e em muitas de suas funções, como: suporte ao crescimento radicular; armazenamento e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica. Os indicadores físicos, que têm sido utilizados e recomendados com maior frequência por pesquisadores, para aferir os impactos no solo sobre as referidas funções são: densidade do solo; estrutura, resistência à penetração; porosidade; capacidade de retenção d'água; grau de flocculação; e estabilidade de agregados. (Lal, 1999; Goedert, 2005; Araújo, 2008; USDA, 2008).

A densidade do solo corresponde à massa de solo seco, em um determinado volume e é uma propriedade muito variável e dependente de outras propriedades, tais como a estrutura e compactação do solo. Normalmente, a densidade do solo tende a aumentar com a profundidade, sendo influenciada por uma infinidade de fatores, como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação, diminuição da porosidade do solo, dentre outros (Araújo, 2004; Costa, 2004).

Oliveira et al. (2003) afirmam que a realização de práticas de manejo em solos com elevados teores de umidade ou mesmo o impacto das chuvas, podem contribuir para elevar os valores de densidade do solo. Para esses mesmos autores, o grau de compactação do solo, também, pode ser utilizado na avaliação do estado compressivo ou da resistência à penetração do solo. Essas características do solo correlacionam-se diretamente com o crescimento dos vegetais, sendo usados para estimar os efeitos do manejo do solo sobre o ambiente radicular.

A porosidade é a quantidade de espaços vazios entre as partículas de solos em relação ao seu volume total (Coelho Netto, 2001). A distribuição dos espaços ocupados por fluídos (gases e líquidos) no solo em classes de tamanho influencia diretamente o armazenamento de água, a disponibilidade de nutrientes e o transporte da solução e do ar no solo (Resende et al., 2002).

A porosidade e a densidade do solo são bons indicadores da qualidade do solo, pois, qualquer alteração dessas propriedades modifica o movimento da água e do ar, o que influi nos processos bioquímicos do solo e pode dificultar o desenvolvimento das plantas (Grohmann, 1972 apud Pignataro Netto, 2008). Essas propriedades também são consideradas como bons indicadores do estado de estruturação do solo.

Segundo Resende *et al.* (2002), a estrutura do solo é dada pela agregação das partículas primárias - argila, silte e areia, juntamente com a matéria orgânica - em unidade maiores – agregados-, que no geral, pode resultar em cinco tipos de estrutura: granular, em blocos, prismática, colunar e laminar. A estrutura é uma das características físicas mais importantes do solo, pois está relacionada com a aeração do solo, que por sua vez interfere na disponibilidade de ar e água às raízes das plantas, na infiltração de água e na sua retenção, no suprimento de nutrientes, na resistência mecânica do solo à penetração e no desenvolvimento do sistema radicular.

A capacidade de retenção de água, além de indicar a disponibilidade potencial de água para a cultura, é também um bom indicador de transporte e erodibilidade, sendo favorecida pela distribuição e forma de poros que, por sua vez, são influenciados pela textura, pela agregação, pela densidade do solo e pelos teores de MOS. Qualquer alteração de uma dessas características poderá gerar alterações na retenção de umidade (Hillel, 1982 apud Nunes, 2003).

A estabilidade dos agregados representa o quanto da massa de agregados do solo por classe se modifica pela lavagem em água a partir da distribuição inicial a seco. Este indicador varia com as características inerentes ao solo e com os sistemas de manejo. Carvalho (2007) aponta alguns processos como o trânsito dos animais e a mobilização do solo com aração e gradagem como responsáveis pelo aumento da compactação e redução do tamanho e da estabilidade dos agregados. Estes efeitos diminuem a macroporosidade, além de fazer com que as partículas do solo se mantenham separadas, mais susceptíveis à movimentação dentro do perfil do solo. Além disso, ao serem transportadas, tais partículas levam consigo nutrientes do solo adsorvidos, que vão contribuir para a eutrofização de cursos d'água.

Estudo realizado por Melo e Silva (1995) indicou que o manejo adotado na pastagem provocou compactação do solo e reduziu a matéria orgânica, aumentando a densidade, reduzindo a macroporosidade e influenciando negativamente o tamanho dos agregados estáveis em água quando comparado ao solo de cerrado nativo, o que também foi observado por Carvalho (2007).

Outro aspecto que condiciona as características físicas do solo é o seu teor de matéria orgânica, pois muitas vezes, ela é o principal agente de formação e estabilização da estrutura, e, o uso de sistemas de manejo sem revolvimento do solo resulta no aumento da estabilidade de agregados (Silva e Mielniczuk, 1997; Castro Filho et al. 1998; Campos et al., 1999; D'Andréa et al., 2002) e dos estoques de MOS, demonstrando uma inter-relação entre esses dois atributos.

Estudos realizados por Beutler et al. (2001), na área da Embrapa Milho e Sorgo, indicaram que o uso de índices de estabilidade de agregados, especialmente a percentagem de agregados maiores que 2 mm e entre 2 e 1 mm, e seu diâmetro médio geométrico constituem-se como boas ferramentas para identificação dos efeitos dos sistemas de manejo.

Balesdent et al. (2000) apud Conceição (2006) advertem que a utilização de sistemas de manejo com intenso revolvimento da camada arável conduz à degradação das características físicas, químicas e biológicas do solo, principalmente para os que apresentam textura arenosa e em regiões cujas precipitações pluviométricas possuem elevado potencial erosivo.

A adoção de manejos que garantam a qualidade física do solo possibilita a manutenção das suas funções correlacionadas a essas propriedades. Portanto, solos que apresentem bons indicadores físicos são menos susceptíveis a processos modificadores como compactação e adensamento, formação de crosta, selamento superficial e erosão acentuada.

1.4.2 - Indicadores químicos de qualidade do solo

Os indicadores químicos são normalmente agrupados em variáveis relacionadas com o teor de carbono, acidez do solo e medidas de disponibilidade de nutrientes. Atualmente, para se estimar a qualidade do solo sugere-se a adoção dos seguintes indicadores químicos: capacidade de troca de cátions (CTC), disponibilidade de nutrientes, pH, matéria orgânica, carbono (C) orgânico, entre outros (Doran, 1997). O autor enfatiza que a avaliação do pH, da capacidade de troca catiônica e de nutrientes torna-se essencial para analisar aspectos químicos de qualidade do solo, uma vez que fornecem uma medida da habilidade do solo em suprir nutrientes e funcionar como um tampão contra aditivos químicos e corretivos.

A capacidade de troca catiônica é calculada por meio da soma total dos cátions (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , H^+ e Al^{+3}) que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas (Embrapa, 1997). Esses cátions, que ficam adsorvidos na superfície das partículas dos solos, estão em equilíbrio com cátions em excesso presentes na solução do solo e são prontamente disponíveis às raízes das plantas. Para Araújo (2004), a manutenção natural de quase a totalidade da biota terrestre ocorre em virtude das reações de troca de cátions em solução no solo. A reação de troca de cátions em solução é fundamental

para o solo, sendo um bom indicador da sua atividade coloidal. Segundo Costa (2004, p. 195),

“os fenômenos de retenção e troca iônica no solo são relacionados com diversos processos químicos e físicos que ocorrem no mesmo, tais como alterações dos minerais, eluviação, variação de consistência e volume do material do solo com teor em água e absorção de elementos nutritivos pelas raízes das plantas. Portanto, essa característica tem extraordinária importância sob o ponto de vista pedológico e agrônomo”.

Denomina-se por Saturação por base a soma das bases trocáveis (Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+}) expressa em porcentagem da capacidade de troca de cátions. Valores baixos de índice de saturação por bases, indicam que há pouca quantidade de cátions trocáveis saturando as cargas negativas.

Mensurações que expressem a saturação por base do solo, bem como o potencial de outros nutrientes que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas como: fósforo (P) e enxofre (S) disponíveis; nitrogênio (N) e fósforo (P) total e teor de micronutrientes são importantes para avaliar a qualidade de solo entre sistemas de manejos diferentes (Reganold e Palmer, 1995 apud Nunes 2003).

O pH influencia muitos processos naturais. No solo, de acordo com Alvarez et al. (1994), o pH é um importante fator na produção agrícola, influenciando na disponibilidade de nutrientes às raízes das plantas, propiciando condições favoráveis ou de toxidez. Além disso, o pH pode favorecer tanto o desenvolvimento de microorganismos que operam transformações úteis para melhorar as condições do solo, bem como para dar meio próprio a microorganismos causadores de doenças de plantas. Costa (2004, p.228) enfatiza que o “pH afeta extraordinariamente a solubilidade de vários elementos, como por exemplo, o ferro e o alumínio”.

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui um sistema muito complexo, onde se encontram resíduos das plantas e animais em diferentes graus de decomposição, produtos excretados pelos organismos e microrganismos vivos, substâncias orgânicas solúveis em água e a matéria orgânica estabilizada, comumente denominada húmus. Apesar da pouca contribuição em termos de massa total em solos minerais (em torno de 5%), a matéria orgânica exerce uma grande influência nas características e processos dos solos.

O teor de matéria orgânica no solo é resultado do balanço entre a deposição de resíduos orgânicos no solo e a sua decomposição. Quando os solos não estão sob cultivo ocorre um acúmulo de resíduos que permite o aumento no teor de matéria orgânica. O cultivo normalmente diminui a entrada de resíduos orgânicos no sistema e, por outro lado aumenta a taxa de sua decomposição. A taxa de decomposição da matéria orgânica é dependente do tipo de solo, clima e também do manejo (Carvalho, 2007).

A matéria orgânica do solo apresenta potencial para ser utilizada como atributo chave na qualidade do solo (Doran e Parkin, 1994). Tal importância advém da sua sensibilidade às modificações consequentes dos sistemas de manejos empregados no processo produtivo, bem como da sua capacidade de ciclar nutrientes no sistema solo e influenciar as suas características físicas, químicas e biológicas (Conceição et. al., 2005; Conceição, 2006).

Mielniczuk (2008) reafirma a importância da matéria orgânica como indicador da qualidade do solo assinalando que a maioria dos atributos do solo e do ambiente tem estreita relação com a matéria orgânica, destacando-se a estabilidade dos agregados e da estrutura, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, CTC, disponibilidade de nutrientes para as plantas, liberação de CO₂ e outros gases para atmosfera.

Estudos realizados por Conceição et al. (2005), indicaram que a fração particulada da matéria orgânica (> 53µm) é mais sensível para discriminar os sistemas de manejo adotados. Os resultados também comprovaram que os sistemas que apresentaram melhoria da qualidade do solo incrementaram a participação do Carbono na fração particulada no estoque total do Carbono orgânico, enquanto, aqueles que reduziram a relação entre esses atributos tiveram sua qualidade comprometida ou reduzida.

Em solos tropicais, mais intemperizados, a CTC da matéria orgânica pode representar de 58 a 62% da CTC total e a manutenção ou o aumento dos teores de matéria orgânica nesses solos é fundamental para a retenção de nutrientes e para a diminuição da lixiviação (Sanchez, 1976 apud Nunes, 2003). Sua influência é maior quanto menor a profundidade do solo, uma vez que a matéria orgânica se concentra principalmente na sua camada superficial do solo.

Conceição (2006) e Carvalho (2007) enfatizam a importância da matéria orgânica na agregação das partículas primárias do solo (frações areia, silte e argila), e, por conseguinte, na formação de estruturas secundárias estáveis que compõem a estrutura do solo. Nesses processos de agregação ocorrem interações entre as partículas minerais e orgânicas, microorganismos e a própria planta, principalmente através do sistema radicular. O grau de interação e a magnitude dos mecanismos envolvidos definem o nível de agregação que um determinado solo poderá atingir.

Castro Filho et al. (1998) identificaram que houve um expressivo aumento dos teores de carbono orgânico na camada superior (0-10 cm) do solo cultivado com plantio direto comparado aquele com plantio convencional. Têm-se, como efeitos positivos, a manutenção da arquitetura dos poros pela permanência intacta dos restos de raízes das culturas, a ação da meso e macro fauna na fragmentação desses resíduos e na formação de galerias, que, por conseguinte, influem na aeração e na movimentação descendente da água, produzindo trocas mais intensas e contribuindo para a agregação do solo em sistema de plantio direto.

De acordo com Amado et al. (1999), o uso de sistemas conservacionistas, que englobam adubação verde, rotação de culturas e plantio direto, é capaz de elevar ou ao menos manter os teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, reduzir as perdas de nutrientes via imobilização por microrganismos e liberar gradualmente nutrientes.

Mielniczuk (2008) indica que, para promover sistemas de manejo conservacionistas, que visam à recuperação do solo e produtividade das culturas faz-se necessário a adoção dos pré-requisitos: (1) proporcionar boa cobertura do solo durante o ano, por plantas ou seus resíduos, com ênfase nos períodos de maior precipitação e insolação; (2) proporcionar aporte contínuo e abundante de resíduos vegetais para contrabalançar a rápida decomposição da MOS do solo e dos resíduos vegetais e, (3) promover o mínimo revolvimento do solo, permitindo o máximo de resíduos na superfície e redução das reações de oxidação da MOS.

Reinert et al. (2006) reconhecem a complexidade do manejo da matéria orgânica em condições tropicais e subtropicais, uma vez que as taxas de oxidação são muito elevadas. Contudo, os autores enfatizam que recuperação de solos degradados pode ser obtida com o aumento gradativo dos teores de matéria orgânica no solo, estando esse incremento dependente das condições de clima, solo, manejo e quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados.

1.4.3 - Indicadores biológicos de qualidade do solo

As propriedades biológicas e bioquímicas do solo, tais como: a atividade enzimática, a taxa de respiração, e a biomassa microbiana - BM são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais e na determinação da qualidade do solo (Turco et al., 1994; Doran e Parkin, 1997).

A biomassa microbiana é a parte viva e o reservatório mais ativo da matéria orgânica do solo, constituída por fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários, algas e microfauna, excluindo-se raízes e animais inferiores a $5 \times 10^3 \text{ mm}^3$ (Jenkinson e Ladd, 1981 apud Silveira, 2007). Ela atua em processos como: a formação do solo (intemperização das rochas), o controle da decomposição e o acúmulo de resíduos orgânicos, regulando o fluxo de matéria e energia no solo, a dinâmica dos nutrientes minerais, a reserva e ciclagem de nutrientes, a biorremediação de poluentes e metais pesados, entre outros (Silva, 2008). Além dessas funções, França (2007) aponta que por ser o maior componente lábil da matéria orgânica, a atividade metabólica da biomassa atua na liberação e reciclagem dos nutrientes presentes nos resíduos orgânicos, o que a torna um importante reservatório de nutrientes potencialmente disponíveis para as plantas.

A biomassa microbiana é a principal fonte de enzima, sendo assim responsável pela quase totalidade da atividade biológica no solo, catalisando as transformações bioquímicas, representando fonte e dreno de carbono e troca de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo-planta (Moreira e Siqueira, 2002).

A biomassa microbiana do solo é influenciada por inúmeros fatores como os que afetam a densidade e a atividade dos organismos do solo e, em especial, pela disponibilidade de C e nutrientes (N, P e S), umidade do solo, aeração, pH, teor e tipo de argila e textura do solo (Roscoe et al., 2006 apud França, 2007).

Segundo Smith e Paul (1990) apud Carvalho (2005), a argila influi na biomassa microbiana, pois aumenta a adsorção de compostos orgânicos e nutrientes, proporciona maior capacidade tampão e protege os microrganismos contra predadores. Solos com altos teores de argila apresentam maior imobilização de C e N pela biomassa microbiana.

Para Diniz (2007), em ambientes como do cerrado, onde existem duas estações definidas, a seca e a chuvosa, a sazonalidade é um agente determinante da dinâmica dos microrganismos do solo, alterando os fluxos de matéria e de energia nos ecossistemas. Em condições climáticas de disponibilidade hídrica e temperaturas amenas ocorre um aumento da

biomassa. A matéria orgânica, a umidade e a fertilidade do solo também estimulam o desenvolvimento microbiano.

A biomassa microbiana está correlacionada com a dinâmica da matéria orgânica do solo, assim, fatores que alteram os teores de matéria orgânica, normalmente provocam alterações na biomassa microbiana. O uso e a forma de manejo do solo afetam de formas diferentes a biomassa microbiana, podendo intensificar ou retardar processos de decomposição, mineralização e humificação do solo. Para Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), a biomassa microbiana constitui um indicador mais sensível que o resultado quantitativo do C orgânico e do N total para aferir alterações na matéria orgânica consequentes do manejo do solo e das práticas de cultivo.

Estudos realizados por Matsuoka et al. (2003), Mendes et al.(2003) e Mendes e Reis Junior (2004) demonstraram que, depois da incorporação dos solos nativos de Cerrado ao processo agrícola, ocorreu queda acentuada nos níveis de biomassa microbiana, isto é, da fração viva e mais ativa da matéria orgânica do solo.

De acordo com Mendes e Reis Junior (2004, p.20),

“Entre os fatores responsáveis por condições mais favoráveis ao desenvolvimento microbiano, na área sob vegetação nativa, merecem destaque a ausência de preparo do solo e a maior diversidade florística dessas áreas. A ausência de revolvimento do solo favorece o acúmulo da serrapilheira na sua superfície (o que propicia a ocorrência de menor variação e de níveis mais adequados de temperatura e umidade), a preservação das hifas fúngicas e a maior presença de raízes finas (que aumentam a entrada de substratos carbonados no sistema, via exudatos radiculares). A diversidade florística das áreas nativas influencia não só a produção (quantidade), mas também a qualidade da serrapilheira”.

Tótola e Chaer (2002) argumentam que mudanças significativas na quantidade de biomassa podem ser detectadas muito antes que alterações na matéria orgânica total possam ser percebidas, possibilitando a adoção de medidas de correção antes que a perda da qualidade do solo seja mais severa. Assim, o monitoramento das alterações nos níveis de biomassa microbiana do solo é uma medida adequada para determinar se um conjunto de práticas é sustentável.

Balota et al. (1998), avaliando o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em condições de diferentes manejos do solo, verificaram incrementos na ordem de 118 e 101% no carbono e no nitrogênio da biomassa microbiana, respectivamente, em sistema de plantio

direto em função de um maior acúmulo de carbono no solo em relação ao preparo convencional.

Outro indicador biológico é a respiração do solo que representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbicos do solo, raízes e macrorganismos, que utilizam O_2 como acceptor final de elétrons, até CO_2 . Assim, ela pode ser avaliada tanto pelo consumo de O_2 como pela produção de CO_2 (Moreira e Siqueira, 2002), sendo a quantidade de C liberado indicativo do C lábil ou prontamente metabolizável do solo.

Embora a biomassa microbiana seja um dos indicadores biológicos mais utilizados, sua determinação não fornece indicações sobre os níveis de atividade das populações microbianas do solo, ou seja, podem ocorrer situações em que os solos apresentem elevadas quantidades de biomassa inativa e vice-versa (De-Polli; Guerra, 2008). Portanto, faz-se necessário a utilização de parâmetros que afirmam a atividade microbiana no que se refere ao seu estado metabólico atual e potencial das comunidades de microrganismos do solo. Dentre esses, destacam-se as determinações de C e N prontamente mineralizáveis e as de atividade enzimática dos solos (Mendes; Reis Junior, 2004).

A sensibilidade para detectar alterações na qualidade do solo, garante às avaliações das atividades enzimáticas do solo, uma ampla difusão pela pesquisa agrônômica mundial. Além disso, os métodos utilizados na determinação desses indicadores são simples e rápidos, além de se correlacionarem com outras propriedades do solo (Silveira, 2007).

As enzimas existentes no solo têm origem nos microrganismos, vegetais ou animais. Muitos microrganismos do solo produzem enzimas extracelulares para degradar moléculas orgânicas complexas em moléculas simples que podem ser assimiladas (Schmitz, 2003). A atividade enzimática também age como catalisadora de diversas reações, atuando, principalmente, no processo de decomposição dos resíduos, na ciclagem de nutrientes e na formação da matéria orgânica e da estrutura do solo (Mendes et al., 1999).

Após ser liberada para o solo, uma proteína enzimática pode ser imediatamente metabolizada pelos microrganismos ou se associar física ou quimicamente aos colóides ali presentes, tornando-se mais estável e inacessível a inibidores e extratores. Desse modo, cerca de um terço do nitrogênio do solo pode estar na forma de complexos protéicos com colóides (Melo, 1998).

Como as enzimas estão presentes em baixas concentrações no solo, a quantificação destas é feita de maneira indireta, através da medida da sua atividade, e não pela sua quantidade. Geralmente, a atividade é medida através da quebra de um substrato específico

para cada enzima a ser avaliada, em condições padronizadas de pH e temperatura (Moreira; Siqueira, 2002).

A atividade das enzimas depende de uma série de fatores, como a concentração de substrato e da enzima, a composição do meio de reação, temperatura, pH, inibidores, propriedades do solo como umidade e conteúdo de carbono orgânico, distribuição da biomassa radicular no solo e práticas de manejo entre outros (Matsuoka, 2003; Schmitz, 2003; Silveira, 2007; Carneiro, 2008). Segundo Dick (1994), um efeito comum de redução da atividade das enzimas no solo é o efeito de repressão catabólica, gerado pela presença maior do produto da reação por elas catalisada, no meio. Este aumento pode ocorrer, por exemplo, pela adição de adubações minerais ao solo, que resultem na liberação de nutrientes que são o produto final da reação de determinadas enzimas. Desse modo, nos sistemas de cultivo as atividades enzimáticas são inibidas, e, portanto, menores do que as registradas em sistemas naturais e que não recebem adubos constantemente. Nesses últimos sistemas de manejo os elevados valores das atividades enzimáticas indicam a dependência desses em relação à ciclagem dos nutrientes pelas enzimas.

A quantificação da atividade enzimática do solo pode fornecer informações sobre as alterações nestes processos metabólicos e, juntamente com a biomassa microbiana, pode contribuir para uma melhor compreensão sobre os efeitos das práticas de manejo e uso empregadas no solo. Dentre as enzimas, destacam-se a urease e as fosfatases, que atuam no ciclo de dois importantes nutrientes, o nitrogênio e o fósforo, respectivamente.

As ureases participam do ciclo do nitrogênio, contribuindo para a liberação de elemento na forma inorgânica (Schmitz, 2003). O ciclo do nitrogênio possui relevada importância agrícola, econômica e ecológica, sendo sua principal característica a interação entre as atividades de organismos autotróficos e heterotróficos. Dentre as formas de nitrogênio orgânico encontradas, está a uréia, ocorrendo de forma natural por meio de excreções de animais e como produto de mineralização de ácidos nucleicos.

Através do processo de amonificação a uréia se transformará com o auxílio da enzima urease em amônio que, por sua vez, terá vários destinos, de acordo com as condições ambientais, sendo possível ser imobilizado pelos microrganismos, absorvido pelos vegetais superiores, adsorvidos pelos minerais de argila, além de ser oxidado a nitrato, iniciando assim o processo de nitrificação (Victoria et al., 1992).

Dentre os microrganismos que hidrolisam a uréia estão as bactérias, fungos e os actinomicetos (Roberge e Knowles, 1967 apud Silveira, 2007). A quantificação da atividade da urease pode fornecer uma indicação do potencial do solo em converter nitrogênio orgânico

em mineral, contudo, deve-se ter cautela na interpretação desses dados, pois o processo de mineralização sofre diversas influências como pH, temperatura, quantidade de substrato, qualidade da serrapilheira incorporada além de outros (Carvalho, 2005).

As fosfatases são hidrolases fundamentais na mineralização do fósforo e, conseqüentemente, na ciclagem deste nutriente no ambiente. Elas estão amplamente distribuídas do solo e têm sido muito estudadas porque catalisam a hidrólise de fósforo orgânico a fósforo inorgânico, disponibilizando-o assim para as plantas. De acordo com seu pH ótimo de ação, podem ser classificadas como ácidas (pH 6,5) ou alcalinas (pH 11). Os microrganismos e as plantas são responsáveis pela produção das fosfatases ácidas, enquanto as alcalinas parecem ser produzidas somente por microrganismos (Tabatabai, 1994, apud Schmitz, 2003).

Dentre os elementos importantes para sustentar o potencial produtivo das culturas agrícola na região do Cerrado, o fósforo (P) merece um destaque especial, pois além de apresentar baixo teor desse P total e muito baixo teor de P disponível para as plantas o suprimento deste elemento no solo é dificultado pela baixa eficiência de aplicação dos fertilizantes fosfatados, já que as fontes solúveis de P adicionados ao solo normalmente podem ser adsorvidas ou convertidas a compostos de baixa solubilidade (Brady e Weil, 1996 apud Silva, 2008). A produção de enzimas, fosfatases feita por certos microrganismos catalisam a hidrólise de ésteres e anidridos de H_3PO_4 disponibilizando fontes inorgânicas de fósforo para as plantas. Isso mostra que a contribuição dos microrganismos para fornecer este elemento para o solo, através de sua atividade enzimática, pode ser significativa. A biomassa microbiana não só imobiliza o P, formando um reservatório lábil deste nutriente, como também representa importante função nos processos de mineralização e solubilização deste elemento (Mendes e Reis Junior, 2003).

2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1- Localização

A área de estudo situa-se no Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo – CNPMS –, localizado no município de Sete Lagoas/MG, no km 65 da Rodovia MG 424, que liga Belo Horizonte a Sete Lagoas, distando 12 km desta. O CNPMS ocupa uma área de 1.932,80 ha e encontra-se nas coordenadas geográficas 19°28' latitude sul e longitude 44°15' W (figura 2).

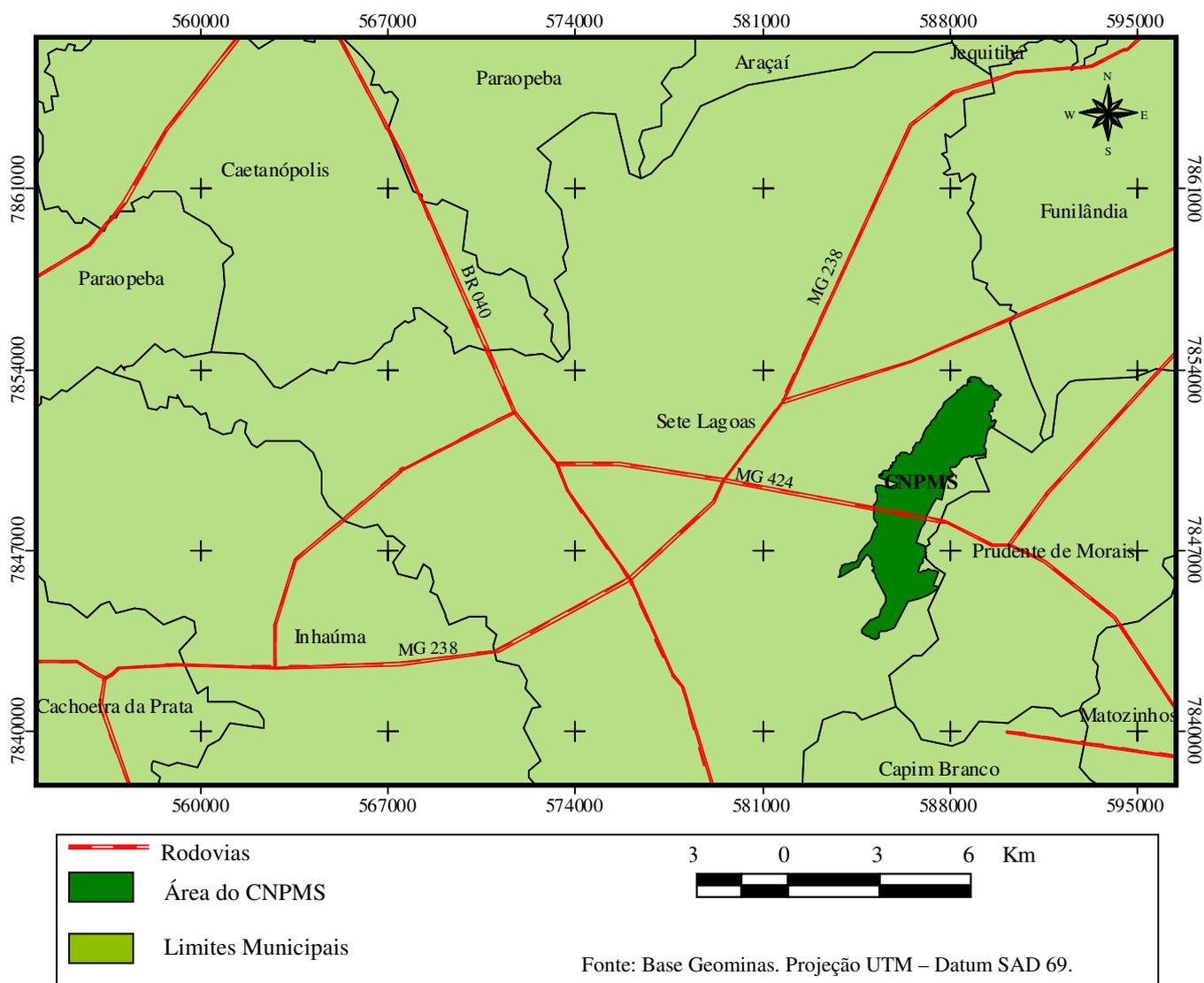


Figura 2 – Localização do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS.

2.2- Geologia e Geomorfologia

Geologicamente, o CNPMS está inserido no domínio do Grupo Bambuí, na Formação Sete Lagoas, unidade basal desse Grupo (IGA, 1978) (figura3).

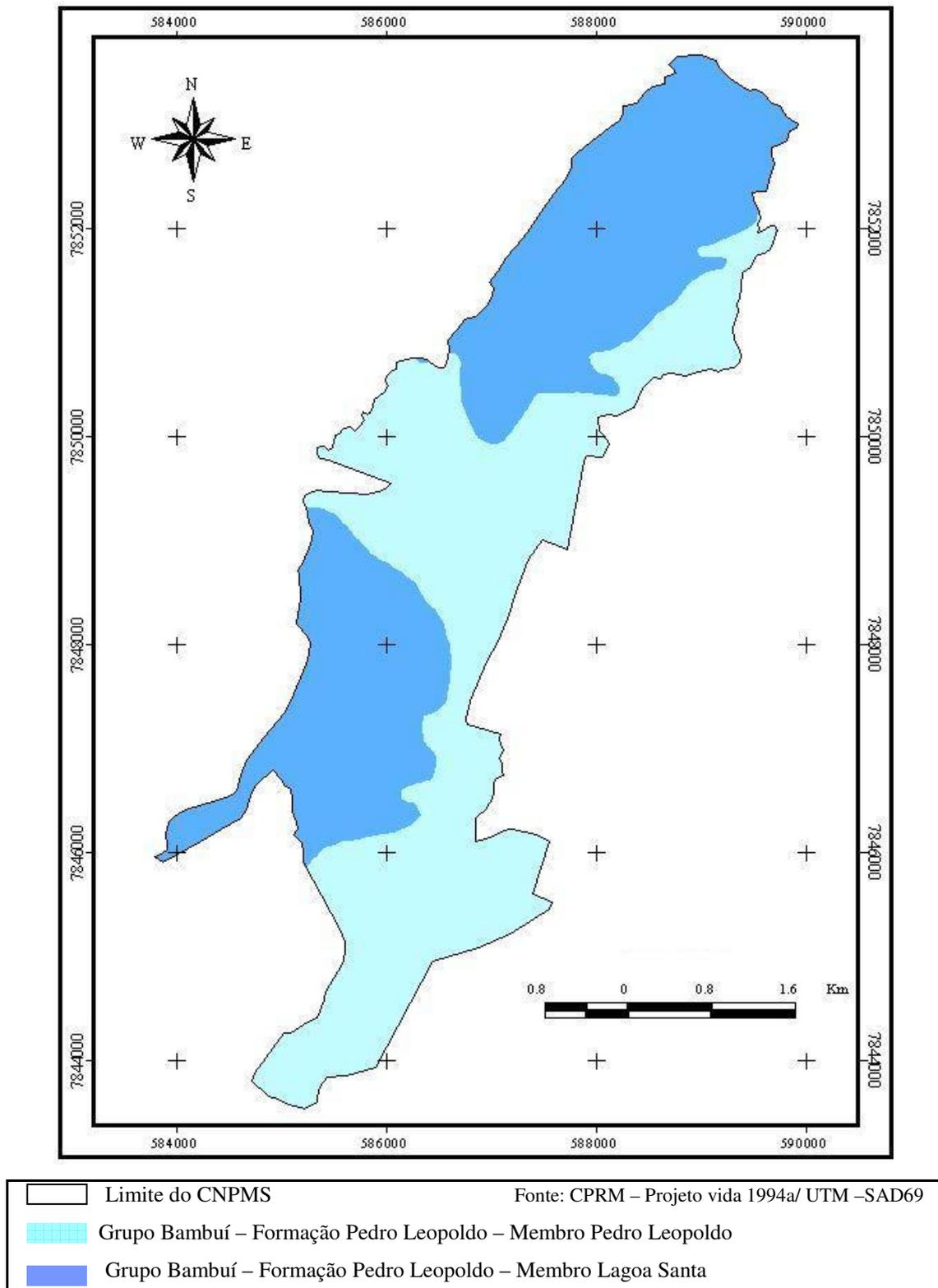


Figura 3 - Mapa geológico do CNPMS

Sob a designação de Grupo Bambuí identifica-se uma espessa sequência de rochas sedimentares e metassedimentares de baixo grau metamórfico que cobre uma área de cerca de 650.000 km² do Brasil Central, ocorrendo nos estados de MG, GO, BA, MS. Sua idade é neoproterozóica com datações radiométricas K/Ar, Rb/Sr e Pb/Pb indicando idades entre 600 e 650 milhões de anos (Amaral e Kawashita, 1967).

Observando as características sedimentológicas e estratigráficas Tuller; Ribeiro e Danderfer (1991) apud “Projeto Vida” CPRM (1994a) dividiram a Formação Sete Lagoas, sobre a qual encontra-se o CNPMS, em dois membros, o inferior, Pedro Leopoldo e o superior, Lagoa Santa. No primeiro membro predominam rochas carbonáticas impuras, enquanto, no segundo membro destacam-se rochas carbonáticas puras, com granulação fina.

No que se refere à geomorfologia, o CNPMS está inserido na unidade Superfícies Aplainadas, cuja origem relaciona-se aos processos denudacionais realizados pela drenagem do Rio São Francisco (IGA, 1977). Segundo “Projeto Vida” da CPRM (1994b), a maior parte da área do CNPMS está localizada no nível mais rebaixado desse aplainamento, que corresponde a uma extensa superfície ondulada que ocorre em altitudes em torno de 730 metros.

Na porção norte ocorre o predomínio das formas de deposição fluvial, terraços e várzeas. Essas morfologias são produtos da sedimentação, resultantes do trabalho de erosão lateral dos rios e deposição em suas calhas de drenagem. Os terraços apresentam-se como planos horizontais, localizados acima da várzea atual e delimitados por rebordos erosivos. As várzeas são as áreas que bordejam os cursos d’água e sofrem periodicamente inundação (Projeto Vida – CPRM, 1994b). Formas relacionadas com o entalhamento dos cursos d’água e mobilização e posterior deposição de material ocupam pequenas extensões na área da Embrapa (figura 4).

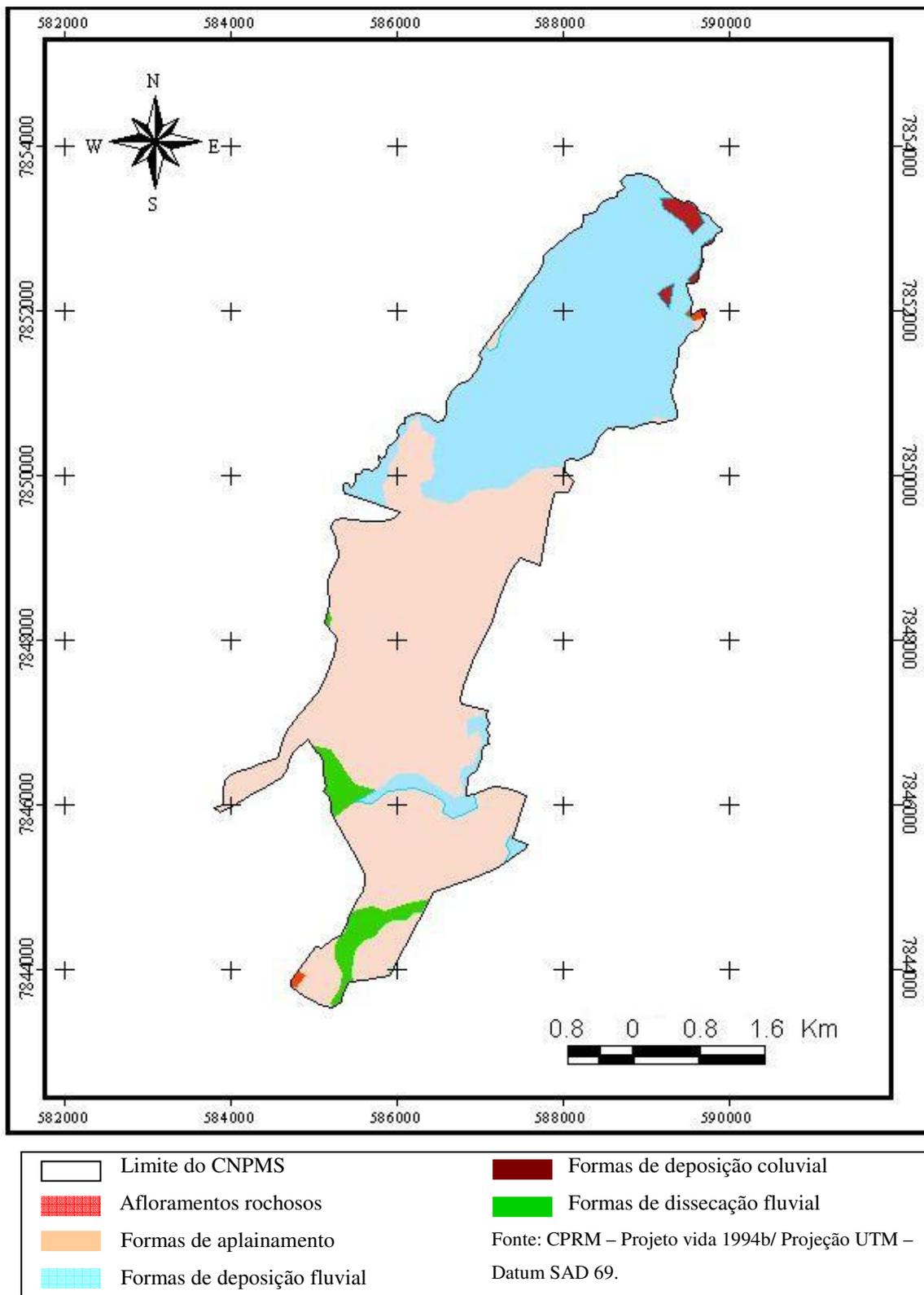


Figura 4 - Mapa geomorfológico do CNPMS

2.3 – Hidrografia, Clima, Cobertura Vegetal e Uso do Solo

A área do CNPMS integra a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Matadouro, afluente do Rio das Velhas, o qual pertence à Bacia do Rio São Francisco. Do ponto de vista hidrográfico, a bacia do Ribeirão Matadouro apresenta aspectos típicos de regiões cársticas, caracterizando-se por um sistema de drenagem pobre, com uma rede de córregos esparsos e moderadas descargas médias.

Segundo a classificação climática de Köppen apud Ayoade (2003), o clima local é do tipo Tropical estacional de savana – Aw, com invernos secos e verões chuvosos. De acordo com IGA, a temperatura e precipitação médias anuais são de 22,9°C e 1450 mm, respectivamente. Coletas de temperatura e pluviometria realizadas no CNPMS durante os anos de 1970 a 2009 indicam que o período de menor índice pluviométrico ocorre entre os meses de abril a setembro e o de maior índice é verificado entre novembro a janeiro.

A área do CNPMS está inserida de acordo com o mapa de Vegetação do Brasil do IBGE, 1993, escala 1: 5.000.000 no domínio da Savana (cerrado). A Savana gramíneo-lenhosa (Cerrado) - natural ou antrópica - caracteriza-se por formações campestres que se alternam com pequenas árvores isoladas, capões florestados e galerias florestais ao longo dos rios, mostrando, assim, uma grande variabilidade estrutural e, em consequência, grandes diferenças em porte e densidade, no que também influi a intensidade da ação antrópica. Apresenta dois estratos distintos, um arbóreo xeromorfo, lenhoso; com árvores que variam de pequeno a médio porte e que possuem troncos e galhos tortuosos, folhas coriáceas e brilhantes ou revestidas por uma densa camada de pêlos; e outro estrato gramíneo lenhoso.

A implantação de pastagens e de áreas cultivadas é a principal causa da devastação do cerrado na região. De acordo com CPRM “Projeto vida” (1994c), a classe de uso da terra mais dominante de Sete Lagoas é a pastagem, que representa 40,45% do território municipal.

2.4- Pedologia

Na área do CNPMS predominam os seguintes tipos de solo: ARGISSOLOS, LATOSSOLOS, GLEISSOLOS, NEOSSOLOS e CAMBISSOLOS (figura 5).

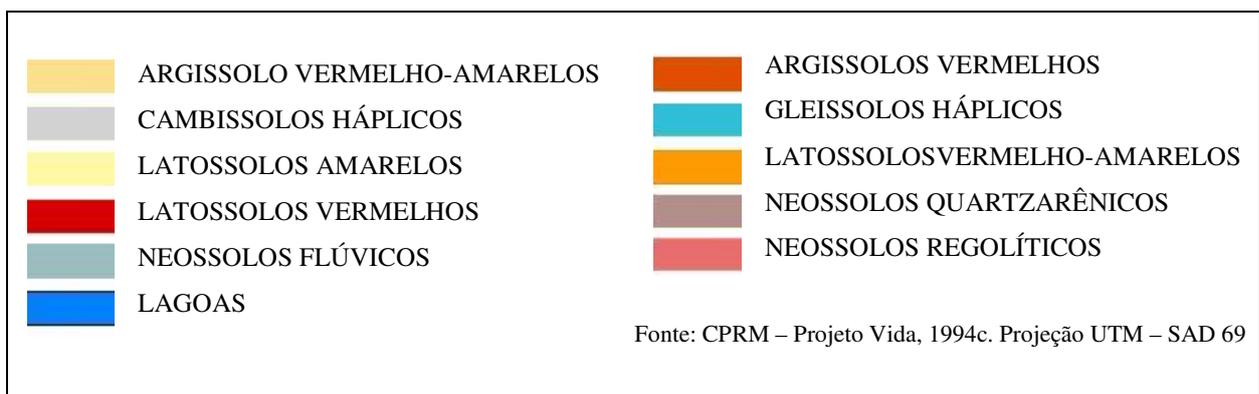
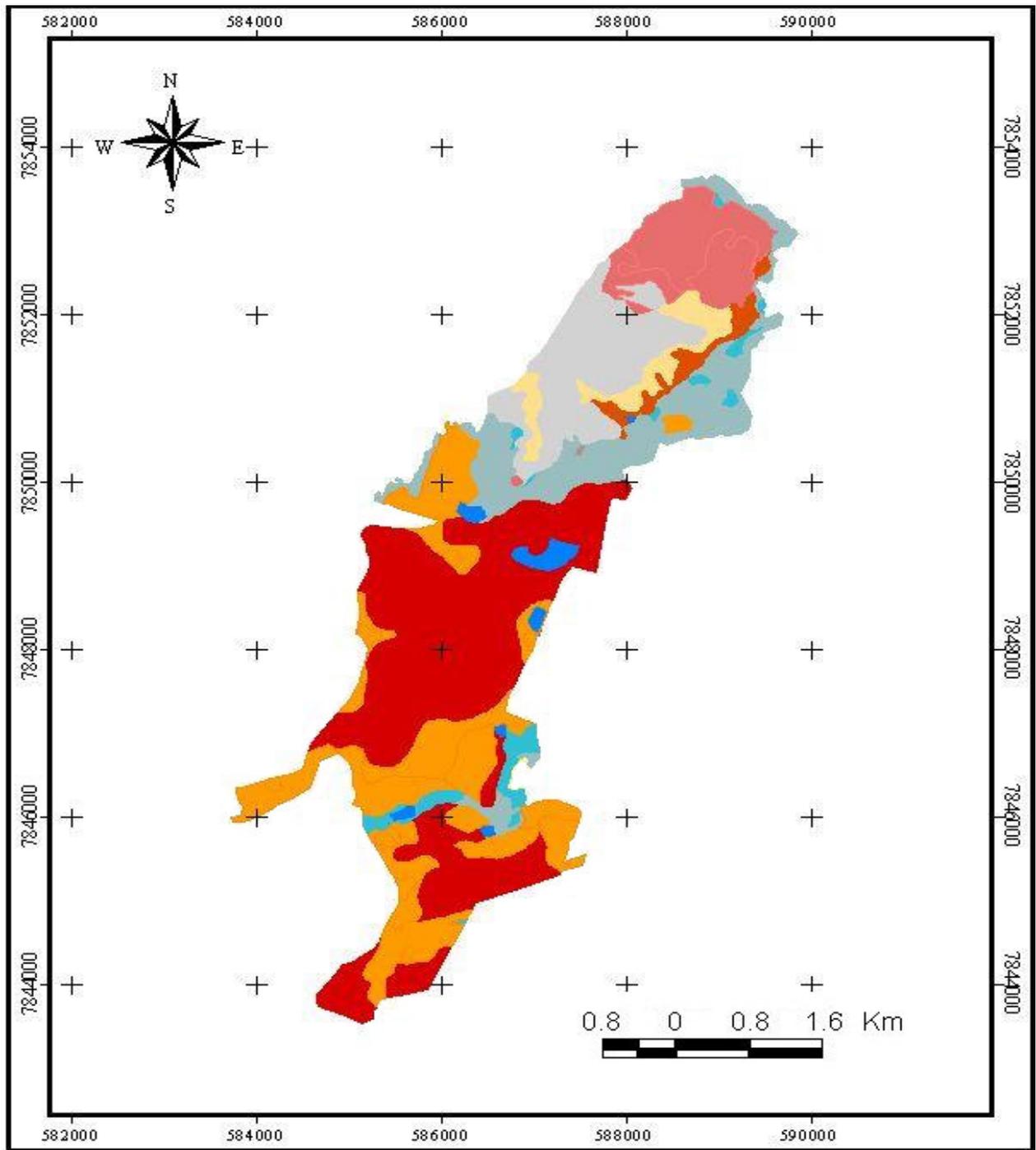


Figura 5 – Mapa pedológico do CNPMS.

Em virtude dos tratamentos estudados se encontrarem sobre LATOSSOLOS, somente essa classe de solo será abordada. Os LATOSSOLOS são solos, geralmente, muito profundos e evoluídos, que apresentam como característica diferencial a ocorrência do horizonte B latossólico (Bw), o qual é constituído essencialmente por minerais altamente intemperizados. O contraste entre os horizontes ocorre apenas entre o A e B, sendo observada pouca diferenciação entre os subhorizontes. São, normalmente, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos (Embrapa, 2006). Estão presentes na área do CNPMS os LATOSSOLOS VERMELHOS, AMARELOS e VERMELHO-AMARELOS. Especificadamente predomina na área de estudo os LATOSSOLOS VERMELHOS, a descrição morfológica do mesmo foi realizada por Cunha (2009), sendo apresentada nos quadros 1, 2, 3, 4.

Quadro 01: Descrição morfológica do solo sob Cerrado Nativo

Perfil Cerrado Nativo – CN		
Localização: borda da mata - média vertente		Solo: Latossolo Vermelho
Situação de declive: plano	Erosão: não aparente	Vegetação: Cerrado nativo
Relevo: suave ondulado	Drenagem: bem drenado	Uso atual: preservação permanente
Horizontes – cm		
A 0-19	Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4 – úmido); argilosa; fraca pequena granular; solta; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara. Porosidade muito pequena.	
B1 19-40	Bruno (7,5 YR 4/4 - úmido); argilosa; moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajoso; transição gradual. Porosidade muito pequena	
B2 40- 60+	Vermelho (2,5 YR 4/8 - úmido); argilosa; moderada média; granular; macia muito friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajoso. Porosidade muito pequena e pequena	
Uso atual Cerrado: Muitas raízes finas e médias principalmente no horizonte A, solo com boa aeração, bem drenado e com atividade microbiana. Solo descrito úmido.		

Fonte: Cunha (2009)

Quadro 02: Descrição morfológica do solo sob Florestamento de Pinus

Perfil Florestamento de Pinus – FP		
Localização: borda da média vertente		Solo: Latossolo Vermelho
Situação de declive: plano	Erosão: não aparente	Vegetação: Cerrado
Relevo: suave ondulado	Drenagem: bem drenado	Uso atual: preservação permanente-reflorestamento de pinus.
Horizontes – cm		
A 0-14	Bruno-avermelhado (5YR 4/3 - úmido); argilo-siltosa; fraca pequena blocos angulares; ligeiramente dura; friável; ligeiramente pegajosa; ligeiramente plástica. Porosidade muita média.	
B 14-40	Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4 - úmido); argilo siltosa; moderada pequena blocos subangulares; macia; muito friável; plástica; pegajosa; transição plana. Porosidade poucos muito pequeno.	
C 40-60+	Vermelho-amarelo (5YR 4/6 - úmido); argilo siltosa; moderada pequena blocos subangulares; macia; friável; ligeiramente plástica; pegajoso. Porosidade presente muito pequena.	
Obs. Presença de pequenos fragmentos de rochas (quartzo) na profundidade de 40-60 cm. Presença de raiz em todos os horizontes. Solo descrito úmido chuva no dia anterior e no dia da coleta.		

Fonte: Cunha (2009)

Quadro 03: Descrição morfológica do solo sob Plantio Direto

Perfil Plantio Direto - PD		
Localização: média vertente		Solo: Latossolo Vermelho
Situação de declive: plano	Erosão: não aparente	Vegetação: Cerrado
Relevo: suave ondulado	Drenagem: bem drenado	Uso atual: plantio de milho com sistema de manejo de plantio direto
Horizontes – cm		
A p 0-12	Vermelho-amarelo (5YR 4/6 - úmido); argilosa; média pequena blocos subangulares; muito dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajoso, porosidade presente muito pequena comum; transição plana e difusa	
B1 12-38	Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4 - úmido); argilo siltosa; pequena blocos subangulares; dura; firme; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajoso; porosidade presente muito pequena comum.	
B2 38-60+	Vermelho-amarelo (5YR 5/8 - úmido); argilosa; pequena blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosos; porosidade presente muito pequeno.	
Obs. Uso atual plantio de milho com sistema de manejo de plantio direto Presença de carvão. Chuva do dia anterior e no dia da coleta.		

Fonte: Cunha (2009)

Quadro 04: Descrição morfológica do solo sob Preparo Convencional

Perfil Preparo Convencional - PC		
Localização: borda da média vertente		Solo: Latossolo Vermelho
Situação de declive: plano	Erosão: não aparente	Vegetação: Cerrado
Relevo: suave ondulado	Drenagem: moderadamente drenado	Uso atual: plantio de milho com sistema de manejo com arado de disco e duas gradagens (destorroadora e niveladora)
Horizontes – cm		
Ap 0-12	Vermelho-amarelo (5YR 4/6 - úmido); argilosa; moderada média blocos subangulares; muito dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajoso, porosidade presente muito pequena comum; transição plana e difusa.	
B1 12-40	Bruno-forte (7,5 YR 4/6 - úmido); argilo siltosa; moderada pequena blocos subangulares; dura; firme; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajoso; porosidade presente muito pequena comum.	
B2 40-60+	Vermelho-amarelo (5YR 5/8 - úmida); argilosa ; moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosos; porosidade presente muito pequeno.	
Obs. Uso atual plantio de milho com sistema de manejo de grade contínua. Presença de formigas na profundidade de 40-60 cm.		

Fonte: Cunha (2009)

3 - METODOLOGIA

Em princípio, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre importantes conceitos utilizados no trabalho. Essa primeira fase teve como finalidade criar uma base conceitual objetiva, sob a qual se fundamentou a discussão dos resultados. Desta forma foram selecionados artigos, dissertações, estudos governamentais que abordavam a temática do uso, degradação e qualidade do solo.

A escolha da área de estudo, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS ocorreu em virtude da existência de uma pesquisa anterior desenvolvida nesse local, cujo objetivo era analisar as alterações de alguns atributos físicos do solo em virtude do tipo de uso e manejo adotado. Desse modo, as informações pesquisadas nesse trabalho servirão como complemento dos conhecimentos preexistentes. Após a definição da área realizou-se uma visita de reconhecimento, sendo percorrida as áreas sob diferentes tipos de usos do solo que foram estudadas.

A qualidade do solo foi avaliada em quatro tipos tratamentos sendo:

1) **Cerrado Nativo (CN)** – área escolhida como referência para comparação das alterações dos atributos químicos, físicos e biológicos, é uma área com vegetação de cerrado stricto sensu, preservada, que não possui histórico de perturbação antrópica (figura 6).



Figura 6: Cerrado nativo no CNPMS. Foto da autora, 2009.

2) **Floresta de Pinus (FP)** – área de florestamento com indivíduos arbóreos adultos, plantada em 1970 após a retirada do cerrado. A implantação desse tratamento ocorreu sem adubação ou tratos culturais (figura 7).



Figura 7: Florestamento de pinus vista geral e do interior do tratamento no CNPMS. Foto da autora, 2009.

3) **Preparo convencional do solo (PC)** – posteriormente à retirada do cerrado e a plantação do pinus, o restante da área foi corrigida quimicamente e passou a ser cultivada em sistema de preparo convencional, sendo que no tratamento selecionado nesse estudo adota-se o preparo do solo com uso de arado de discos e duas gradagens (destorroadora e niveladora) (figura 8). Quando verifica-se valores de acidez não indicados para o cultivo realiza-se a técnica de calagem. A adubação da lavoura é efetuada na ocasião do plantio. Após a colheita a área fica recoberta pelos resíduos culturais e em pousio até o próximo ciclo de cultivo.



Figura 8: Área de cultivo sob preparo convencional do solo no CNPMS. Foto da autora, 2009.

4) **Sistema de plantio direto (PD)** – área destinada a plantio de grãos, principalmente milho, em sistema de plantio direto, implantada a partir de 1995 em substituição ao preparo convencional anteriormente adotado desde 1970 (Alvarenga et al., SD) (Figura 9).



Figura 9: Área de cultivo sob plantio direto do solo no CNPMS. Foto da autora, 2009.

A área de estudo caracteriza-se como uma vertente suave. As áreas de cultivo sob diferentes preparos encontram-se entre o florestamento de pinus e o cerrado nativo (figura 10).

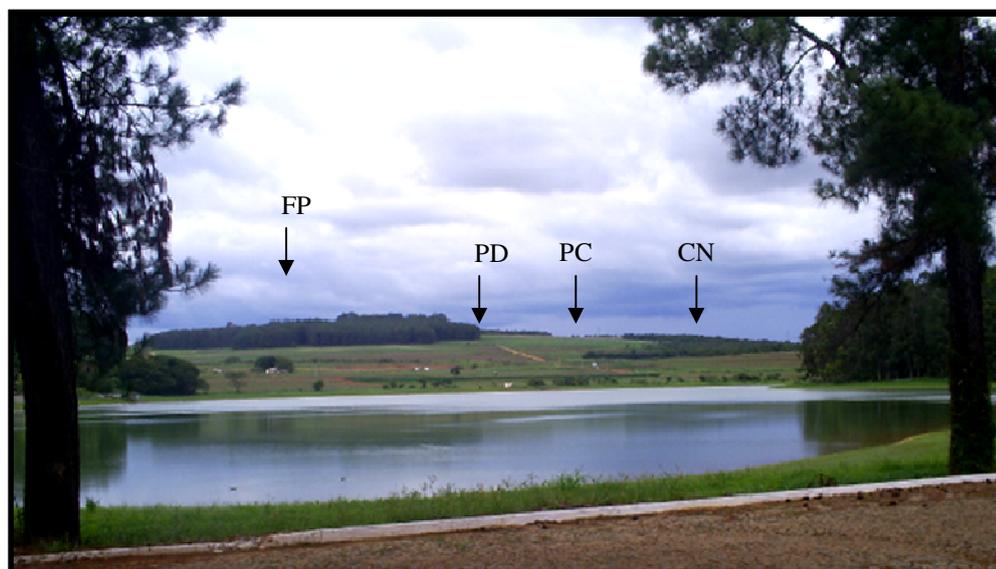


Figura 10 – Localização das áreas de estudo no CNPMS, sendo florestamento de pinus (FP), plantio direto (PD), preparo convencional (PC) e cerrado nativo (CN). Fonte Imagem: Cunha, 2009.

3.1- Amostragem do solo

As coletas das amostras de material de solo foram efetuadas em fevereiro e julho de 2009. Adotou-se a o método de coleta de amostras compostas, que consiste na mistura homogênea das várias amostras simples, coletadas em pontos uniformemente distribuídos na área de estudo. A distribuição dos pontos de coleta por toda a área garante a representatividade desta. Para cada sistema avaliado foram realizadas três repetições, a fim de garantir confiabilidade ao estudo. Assim, os dados apresentados resultam da média entre os valores obtidos nas três repetições. A figura 11 apresenta a disposição espacial ao longo da vertente (figura 10) das repetições segundo os tratamentos avaliados. As repetições dos sistemas de cultivo estudados não são contínuas espacialmente, sua localização é intercalada com outros modos de preparo do solo.

Pinus 1	Plantio Direto 1		Preparo Convencional 1		Cerrado 1
Pinus 2		Plantio Direto 2		Preparo Convencional 2	Cerrado 2
Pinus 3	Preparo Convencional 3		Plantio Direto 3		Cerrado 3

Figura 11 – Croqui da disposição espacial dos tratamentos estudados.

Realizou-se sete coletas simples de cada uma das camadas a seguir: de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 30 cm, 30 a 40 cm e 40 a 60 cm. As amostras simples foram reunidas em baldes plásticos, cuidadosamente destorroada e homogeneizada, para obter uma amostra composta representativa de cada camada.

De cada amostra composta foram retiradas porções de aproximadamente 300 g, para a realização das análises químicas e biológicas em laboratório de análise de solo do CNPMS. No que diz respeito ao material destinado as análises biológicas procedeu-se da seguinte forma: os sacos plásticos contendo as amostras de solo foram mantidos sob refrigeração durante o transporte e posteriormente armazenados em geladeira a 4°C.

3.2 – Indicadores de qualidade do solo avaliados

3.2.1 – Atributos Físicos

Os dados referentes aos indicadores físicos foram produzidos por Cunha (2009). Os indicadores densidade do solo, porosidade total, argila dispersa em água e estabilidade dos agregados classe de 2-4 mm foram selecionados como constituintes do índice de qualidade do solo. A partir dos dados referentes aos indicadores físicos produzidos por Cunha (2009) foram efetuadas as análises estatísticas discutidas no item 4.3 e 4.4 desse trabalho.

3.2.2 – Atributos Químicos

Os indicadores analisados foram: pH, Capacidade de Troca Catiônica, Soma de Bases e Teor de Matéria Orgânica. Todas as análises laboratoriais seguiram os procedimentos determinados por Embrapa (1997).

O pH em água (acidez ativa) foi determinado, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo-solução na proporção de 1:2,5.

O cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com Cloreto de Potássio - KCl 1 mol/L e quantificados, no caso de Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica e do Al^{3+} por titulação com solução de NaOH 0,025 mol/L. Após a leitura os valores de cálcio e magnésio foram multiplicados pelos fatores 0,499 e 0,822368 respectivamente. O Potássio e o Sódio trocáveis foram extraído com solução em solução duplo ácido (HCl 0,05 mol/L + H_2SO_4 0,0125 mol/L), nos padrões de 20 mg/L e 50 mg/L de Potássio e 2 mg/L, 5mg/L e 10 mg/L de Sódio, e posteriormente quantificados por fotometria.

Após a determinação dos valores dos cátions a saturação por base foi determinada através do cálculo:

$$V\% = \frac{SB \times 100}{CTC}$$

Sendo:

$$SB = \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$$

$$CTC = \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$$

A matéria orgânica foi determinada pelo método Walkley-Black, baseada na oxidação do carbono orgânico a CO_2 e H_2O por íons de dicromato em meio fortemente ácido (H_2SO_4). Nesta reação, considera-se o dicromato consumido equivalente ao carbono orgânico existente na amostra de solo, tendo o dicromato de potássio como padrão. O excesso de dicromato não consumido é titulado por colometria, com solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal 0,05 mol/L. Após a leitura os valores do carbono orgânico foram multiplicados pela constante 1,724.

3.2.3 – Atributos Biológicos

Os indicadores analisados foram: Carbono da Biomassa Microbiana, Respiração Basal e Atividades enzimáticas – Urease e Fosfatase Ácida.

Os procedimentos de preparo da amostra e laboratoriais adotados seguiram as determinações de Silva; Azevedo e De-Polli (2007). Inicialmente as amostras recém coletadas foram peneiradas em malha de 2 mm, retirando-se os fragmentos de animais e vegetais por meio de catação.

A respiração e a biomassa microbiana foram determinadas pelo método de respiração induzida pelo substrato (SIR), conforme Anderson e Domsch (1978 apud Gama-Rodrigues e Monteiro, 2004). Esse método tem como princípio que, quando concentrações crescentes de glicose são adicionadas ao solo, a taxa de respiração inicial aumenta até o seu valor máximo.

Anteriormente a análise dos indicadores respiração basal e carbono da biomassa microbiana realizou-se um experimento para estabelecer a quantidade de glicose que proporcionaria a maior taxa de respiração. Utilizou-se nesse experimento níveis variáveis de glicose. As concentrações testadas foram 5, 10, 20 e 40 mg de glicose por grama de solo seco. Foram utilizadas amostras das camadas 0-10 e 40-60 do solo da área do cerrado, considerada como referência. Os resultados desse experimento indicaram que, na concentração 10 mg de glicose por grama de solo, ocorreram as maiores respostas respiratórias. Após a determinação da quantidade de glicose a ser adicionada a amostra de solo para se obter a resposta máxima da atividade respiratória, seguiu-se a análise dos indicadores respiração e carbono da biomassa microbiana.

Em laboratório pesou-se 20 gramas de solo. As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro de 2 litros, hermeticamente fechados para que não haja entrada de CO_2 do ar

externo ou fuga do CO₂ internamente produzido. Adicionou-se a amostra de solo à solução de glicose na concentração 10 mg por grama de solo.

Dentro de cada frasco de 2 litros colocou-se um frasco de vidro de 100 mL contendo 10 mL de NaOH 0,5 M. Após essa transferência os frascos de vidro de 2 litros foram fechados e guardados dentro de caixas vedadas, isentas de luminosidade e com temperatura em torno de 25 a 28°C por 24 horas.

Após o processo de incubação, retirou-se o frasco contendo NaOH dos frascos de 2 litros, adicionou-se 2 mL de BaCl₂ 10% (m/v) para a completa precipitação do CO₂, seguido de imediato fechamento do frasco.

Ao frasco de NaOH acrescentou-se 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v), procedendo, posteriormente, a titulação sob agitação magnética com solução 0,5 M de ácido clorídrico. Ao final da titulação a coloração da solução transformou-se de rosa para incolor.

O valor da respiração basal do solo é dado pela Equação (Silva et al.,2007):

$$\text{RBS (mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}) = (((Vb-Va) \times M \times 6 \times 1000)/Ps)/T$$

Onde:

RBS = carbono oriundo da respiração basal do solo;

Vb (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (branco); Va (mL) = volume gasto na titulação da amostra;

M = molaridade exata do HCl;

Ps (g) = massa de solo seco e

T= tempo de incubação da amostra em horas.

Paralelamente determinou-se a massa de solo seco de cada amostra de solo, sendo levado à estufa a 105°C, por 48 horas, 10 gramas de solo. O valor da massa do solo seco foi obtido através da subtração do peso final do peso inicial. Para converter a taxa de respiração em biomassa, Anderson e Domsch (1978 citados por Gama-Rodrigues e Monteiro, 2004) calibraram seu método em relação ao método de fumigação e incubação e propuseram a seguinte equação para estimar a biomassa microbiana:

$$\text{B} = 40,4 \text{ X} + 0,37$$

Onde:

B = biomassa microbiana (mg C g⁻¹ de solo)

X = taxa de respiração máxima (mL C-CO₂ g⁻¹ de solo). Realizou-se a conversão de mL para mg de acordo com as condições normais de temperatura e pressão, por meio do método de análise dimensional.

Embora valores absolutos de BMS não possam ser obtidos com esse método, os resultados podem ser utilizados para discriminar efeitos oriundos da imposição de diferentes tratamentos (Parkinson e Paul, 1982 apud De-polli e Guerra, 2008)

A atividade enzimática urease foi definida através da metodologia de Kandeler e Gerber (1989), obedecendo aos seguintes procedimentos:

- 1- Pesou-se 0,5 gramas de solo em tubos de centrífuga
- 2- Acrescentou-se 0,25 mL do reagente 1¹
- 3- A amostra foi levada à estufa para incubação durante 1 hora a 37° C
- 4- Após a incubação, adicionou-se 5 mL do reagente 2² e procedeu-se a agitação dos tubos por 30 minutos.
- 5- Centrifugou-se as amostras a 4000 rpm por 10 minutos.
- 6- Retirou uma alíquota de 0,1 mL das amostras e dos níveis da curva padrão³. Essa sub-amostra foi introduzida em tubos de ensaio.
- 7- Adicionou-se 0,5 mL do reagente 3⁴, misturando a amostra no vórtex.
- 8- Aguardou-se um período de 15 minutos e acrescentou-se 0,5 mL do reagente 4⁵, misturando novamente as amostras com a ajuda do vórtex.
- 9- Após um período de 1 hora, necessário para o desenvolvimento de cor, procedeu-se a leitura das amostras no espectrofotômetro a 660 nm.
- 10- A partir das leituras dos experimentos de curva padrão determinou-se a equação linear utilizada no cálculo da urease.

Para a determinação da atividade enzimática fosfatase ácida seguiu-se os seguintes procedimentos:

¹ Solução de 0,24 g de uréia dissolvida em 50 mL de água destilada.

² Solução de KCl 1M

³ Experimentos com níveis de 0, 5, 10, 15 e 20 µg de NH₄ mL⁻¹ a partir da solução de 100 µg de NH₄ mL⁻¹. A solução de NH₄ mL⁻¹ foi preparada usando 0,297g de NH₄mL dissolvido em 10 mL de água destilada. Desse preparado retirou-se uma alíquota de 1,0 mL e diluindo-a novamente em 9,0 mL de água destilada.

⁴ Solução preparada utilizando-se: - 3,4g de Salicinato de Sódio. - 2,5g de Citrato de Sódio. - 2,5g de Tartarato de Sódio. - 0,012g de Nitroprussiato de Sódio.

⁵ Solução resultante da dissolução de 3,0g de NaOH em 75 mL de água destilada, acrescida de 10 mL de Hipoclorito de Sódio.

- 1- Pesou-se 0,15 gramas de cada amostra de solo em eppendorfs.
- 2- Adicionou-se 0,48 mL do reagente 1⁶.
- 3- Acrescentou-se 0,12 mL do reagente 2⁷.
- 4- A amostra foi levada à estufa para incubação durante 1 hora a 37° C
- 5- Após a incubação, adicionou-se 0,12 mL do reagente 3⁸ e 0,48 do reagente 4⁹ efetuando em seguida a agitação dos eppendorfs utilizando o vortéx.
- 6- Procedeu-se a leitura das amostras no espectrofotômetro a 660 nm.
- 10- A partir das leituras dos experimentos de curva padrão determinou-se a equação linear utilizada no cálculo da fosfatase ácida.

3.3 – Análises Estatísticas e modelagem

As análises estatísticas dos valores das características químicas, físicas e biológicas do solo foram realizadas utilizando-se o software estatístico SPSS. Os dados dos tratamentos foram submetidos à análise de variância (Anova). As médias foram comparadas pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. Foi também realizada a correlação de Pearson entre os resultados dos indicadores analisados.

Existem vários modelos para avaliação da qualidade do solo, conforme descrito por Tótola e Chaer (2002); contudo, segundo Araújo (2004) esses modelos são de complexa aplicação e enfatizam a qualidade do solo orientada para a produção, sendo sua aplicação direcionada, sobretudo para a pesquisa. O mesmo autor enfatiza a necessidade de desenvolvimento de métodos de avaliação ambiental de aplicação rápida, visando sua utilização por instituições de fiscalização e controle ambiental, como órgãos de meio ambiente, organizações da sociedade civil entre outros.

A pesquisa segue a modelagem proposta por Araújo (2004), cuja montagem do modelo baseou-se no trabalho de Islam e Weil (2000). Foram adotadas as seguintes premissas:

⁶ Solução preparada com 1,21g de Tris, 1,16g de ácido maleico, 1,40g de ácido cítrico e 0,63 de ácido bórico. O pH da solução foi corrigido pra 6,5 com HCl.

⁷ Solução de p-nitrofenol fosfato 0,05 M

⁸ Solução de CaCl₂ 0,5 M

⁹ Solução de NaOH 0,5 M.

1- Os indicadores de qualidade do solo coletados no cerrado nativo são considerados como referência, pois se acredita que sob esse uso tenha-se a maximização das principais características julgadas favoráveis à conservação do ecossistema, e principalmente, que estejam em equilíbrio com a estabilidade ecológica da região, sendo, portanto considerada sua qualidade igual a 100%.

2- Os atributos físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo foram considerados igualmente importantes para a determinação da qualidade do solo, sendo atribuído a cada categoria o mesmo peso no modelo.

3- Os indicadores de qualidade do solo de cada categoria obedeceram à mesma relação de importância, sendo o peso atribuído a cada indicador resultante da razão entre o peso de cada categoria de atributo pelo número de indicadores que compõe a mesma.

O cálculo da qualidade do solo realizou-se individualmente para cada área. Para cada categoria de atributos atribuiu-se o valor de 100%. Dentro de cada categoria, esse percentual foi dividido igualmente entre os indicadores. Para a avaliação da contribuição do valor de cada indicador em um tipo de uso de solo, foi calculada, a soma da percentagem dos desvios de cada indicador em relação ao solo de cerrado. Para o modelo foi utilizada a camada de solo mais afetada pelos tipos de uso em função da análise dos resultados obtidos para cada indicador, ou seja, camada 0 -10 cm. A fórmula geral utilizada para este cálculo se encontra abaixo:

$$A(f,q,b) = \sum Iz$$
$$Iz = A + [a \cdot (Sr - Sy) \cdot Sr^{-1} \cdot b]$$

Onde:

Sr = valor do indicador avaliado, do solo de referência (cerrado nativo)

Sy = valor do indicador avaliado, de acordo com o tipo de uso do solo em análise (y = preparo convencional, plantio direto, florestamento de pinus)

Iz = valor do indicador (z), avaliado para um determinado tipo de uso, na camada 0-10 cm, comparado com o valor do indicador do solo de referência.

z = Indicador físico, químico ou biológico estudado, ex: Densidade do solo, Soma de Bases, Biomassa Microbiana.

a = 100% / número de indicadores

b = 1,0 (se, a redução do valor do indicador é considerada desejável).

- 1,0 (se, o aumento do valor do indicador é considerado desejável).

O último passo consistiu na inserção dos dados de cada categoria de atributos em um diagrama com três vértices representando as variáveis físicas, químicas e biológicas, variando de 0 a 100% , salvaguardando os casos em que o conjunto de atributos for superior a área de referencia, portanto superior a 100%. No diagrama, é delimitada uma linha correspondente a 100% que corresponde ao cerrado nativo, uso considerado ecologicamente sustentável, assim quanto mais próximo a ele mais próximo o sistema de uso avaliado se encontra da sustentabilidade.

O cálculo do Índice de Qualidade do Solo (IQS), que agrega os três tipos de atributos do solo, será obtido por meio da razão entre a área geométrica do triângulo formada entre os três vértices do diagrama para cada tipo de uso pela área calculada para o cerrado nativo de acordo com a fórmula:

$$\text{IQS} = A_x \cdot A_c^{-1}$$

Sendo:

A_x = área geométrica formada entre os três vértices de atributos no diagrama do modelo, para os tipos de uso avaliados (x = plantio convencional, plantio direto, florestamento de pinus).

A_c^{-1} = área geométrica formada entre os três vértices de atributos no diagrama do modelo, para a área do cerrado nativo.

4- RESULTADOS

4.1 - Atributos biológicos

A inclusão dos microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo justifica-se pelo fato desses demonstrarem uma grande sensibilidade às mudanças de manejo e suas atividades influenciarem diretamente a funcionalidade e a sustentabilidade do solo; uma vez que os microrganismos atuam como agentes transformadores no fluxo de energia e de resíduos orgânicos, promovendo a mineralização e a absorção de nutrientes pelas plantas, com efeitos sobre outros componentes físico-químicos e biológicos da interface solo-planta e sobre a fertilidade do solo (Colozzi Filho e Andrade, 2001) (tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios dos indicadores biológicos respiração basal (RB), carbono da biomassa microbiana (CBM), fosfatase ácida e urease obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade.

Manejo	Prof (cm)	RB Mg C-CO ₂ kg ⁻¹ d ⁻¹	CBM Mg C g ⁻¹	Fosfatase ácida µg de p-nitrofenol g ⁻¹ solo h ⁻¹	Urease µg N-NH ₄ g ⁻¹ solo h ⁻¹
CN	0-10	10,74	399,09	1546	198,10
	10 20	6,37	257,56	1364	166,60
	20-30	5,81	235,10	1318	148,34
	30-40	3,77	152,72	1222	132,59
	40-60	3,76	152,41	1190	117,11
FP	0-10	6,01	242,99	1507	163,29
	10 20	4,44	179,66	1355	154,16
	20-30	3,43	138,81	1250	104,58
	30-40	2,95	119,46	1134	75,77
	40-60	2,22	89,98	1091	60,46
PD	0-10	8,18	330,69	1104	83,37
	10 20	6,01	243,11	1087	68,07
	20-30	4,27	173,00	1045	53,39
	30-40	3,29	133,15	874	54,91
	40-60	2,73	110,77	844	40,59
PC	0-10	8,10	327,83	1080	122,39
	10 20	4,09	165,63	1002	105,84
	20-30	3,65	147,69	984	73,89
	30-40	2,69	109,07	953	61,45
	40-60	1,53	62,33	690	53,21

4.1.1- Respiração Basal

Considerado como um dos métodos mais tradicionais e mais utilizados para verificar a atividade metabólica da população microbiana, a quantidade de CO₂ liberada pela respiração dos microrganismos (também denominada carbono prontamente mineralizável) comporta-se como um atributo positivo para a qualidade do solo, sendo um indicador sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do carbono orgânico e de distúrbios no ecossistema.

Os dados obtidos para a respiração basal diferem significativamente ($p < 0,05$) ($p = 0,04$) entre os manejos avaliados. No entanto, ao se analisar, por meio do teste de média, as camadas separadamente percebe-se que os dados obtidos para as profundidades de 30-40 e 40-60 não registraram diferença significativa entre os manejos (Gráfico 1).

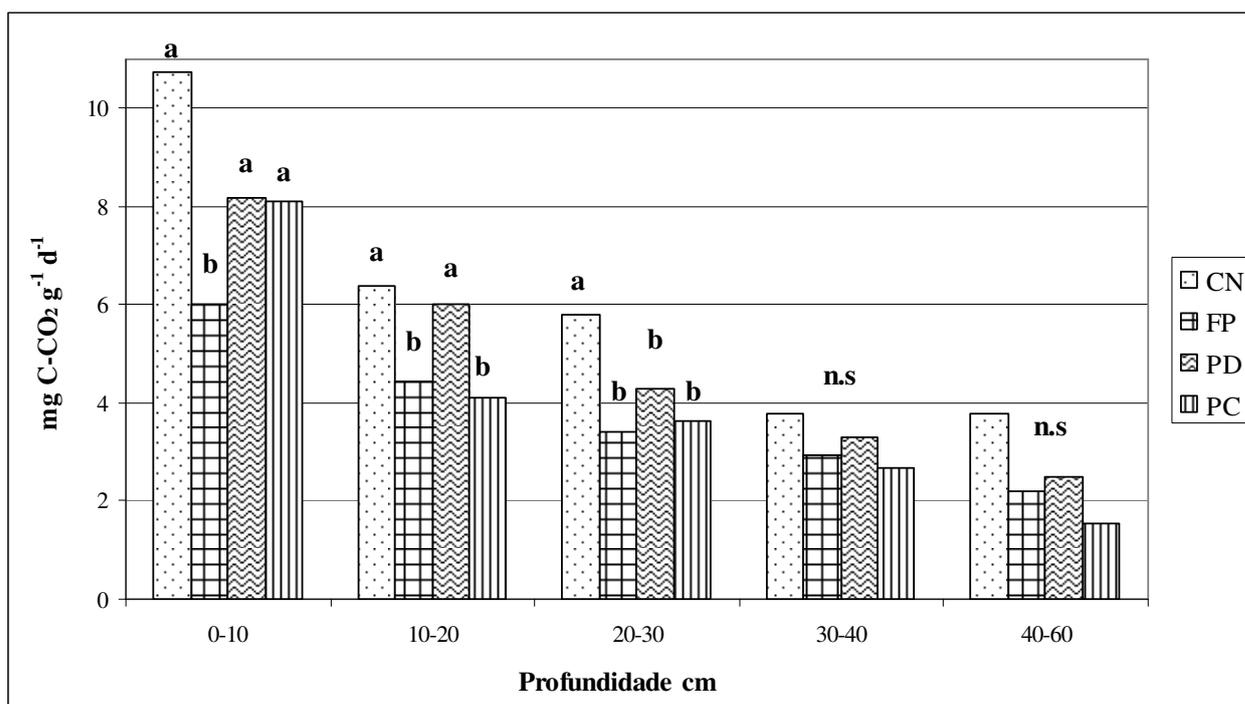


Gráfico 1: Valores médios de respiração basal ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade. Médias seguidas pela mesma letra na profundidade não diferem entre si, enquanto n.s denota a ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%

O solo sob cerrado foi o que apresentou os maiores valores para respiração basal em todas as camadas analisadas, alternando-se entre 10,24 a 3,76 $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Todavia,

estatisticamente os valores de respiração basal observados no solo sob o cerrado diferiu dentre todos os tratamentos apenas na camada de 20-30cm.

Quando se estuda a comunidade microbiana e sua atividade em solos de cerrado, espera-se encontrar valores relativamente maiores quando comparados a solos com outros tipos de vegetação mais homogênea e até mesmo em solos sob culturas, uma vez que a microbiota desenvolvida nesse manejo é favorecida pela cobertura vegetal, que propicia um maior acúmulo de material orgânico, fornecendo maior fonte de energia, carbono e elétrons para o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos. A presença de material orgânico sobre o solo, também, implica em menores flutuações de temperatura e umidade, contribuindo para o aumento da biomassa e da atividade microbiana. Além disso, os solos de cerrado não sofrem revolvimento mecânico, resultando na maior presença de raízes (Matsuoka et al., 2003).

No entorno das raízes existe uma região definida por Hiltner (1904 apud Moreira e Siqueira, 2002) como rizosfera. Nessa área o solo está sob influência das raízes, sendo possível encontrar um número de até 1000 vezes mais microrganismos em relação a um solo não-rizosférico. Este fato decorre da exsudação de diversos tipos de materiais orgânicos, oriundos da fotossíntese, através das raízes, contribuindo para o aumento da matéria orgânica dessa região (Moreira e Siqueira, 2002).

Os efeitos positivos apontados acima também podem ser considerados como atuantes no sistema de plantio direto, garantindo a esse tratamento os segundos maiores valores obtidos para a respiração basal, variando de 8,18 a 2,73 mg C-CO₂ kg⁻¹d⁻¹. A análise estatística também confirmou os efeitos positivos advindos da presença da cobertura vegetal característica do plantio direto, uma vez que os dados de respiração basal registrados no solo sob esse manejo não diferiram dos valores obtidos no solo sob cerrado nas camadas de 0-10 e 10-20cm.

Os dados encontrados para o solo sob florestamento de pinus variaram entre 6,01 a 2,22 mg C-CO₂ kg⁻¹d⁻¹. Esses dados apontam à interferência da composição vegetal na atividade microbiana. De acordo com Baretta et al.(2003) apud Baretta et al. (2005), o monocultivo que normalmente caracteriza populações de reflorestamento proporciona um ambiente uniforme, modificando a diversidade de substrato para a biota do solo, conseqüentemente, diminuindo a atividade e a variedade dos microrganismos, bem como a oferta de nutrientes minerais para as plantas quando comparado a florestas nativas.

Para Lal (1999), a riqueza de espécies vegetais pode condicionar à qualidade do material orgânico encontrado no solo. A definição de qualidade da matéria orgânica é algo

complexo e ainda não bem definida. Para sistemas florestais, a qualidade pode estar associada à capacidade da matéria orgânica do solo em promover uma boa disponibilidade de nutrientes para a manutenção da sustentabilidade do sistema.

Em relação ao solo sob preparo convencional verificou-se que esse apresenta os menores valores de respiração basal dentre os manejos analisados para as camadas entre 10 a 60 cm, variando de 4,09 a 1,53 mg C-CO₂ kg⁻¹d⁻¹. Contudo, no que se refere à camada 0-10 cm o valor obtido para esse manejo é 10% maior do que o encontrado para a mesma profundidade do solo sob florestamento de pinus. Na ocasião da coleta havia restos vegetais sobre a superfície, resultado do corte de parte da cultura implantada, que favoreceram o aumento da atividade microbiológica, intervindo nos resultados dessa camada do solo. Salienta-se também, que o revolvimento provoca na camada superficial do solo um aumento da oxigenação. Siqueira et al (1994) afirmam que a aeração do solo é crítica para a densidade de microrganismos e seus processos metabólicos, pois a maioria da microbiota do solo é aeróbica, ou seja, usa o O₂ como acceptor final de elétrons. O revolvimento também promove à incorporação de parte do resto da cultura a camada mais superficial, implicando em um aumento da atividade microbiana.

No caso das camadas entre de 10 a 60 cm do solo sob preparo convencional, o revolvimento sistemático do solo contribui para provocar perturbações promotoras de estresse na população microbiana e, uma vez que as adições de carbono nesse sistema são menores, os microrganismos terminam por consumir o carbono orgânico do solo, provocando sua redução, logo uma menor população microbiana implica em uma menor taxa de respiração (D'Andrea, 2002).

Os resultados obtidos nesse trabalho assemelham-se aos trabalhos de Balota et al. (1998); Schmitz (2003); Silveira (2007); Lisboa (2009), que, avaliando sistemas de culturas com diferentes preparos de solo, constataram que a atividade respiratória foi superior no manejo que não envolvia movimentação de solo.

4.1.2- Carbono da Biomassa Microbiana

A biomassa microbiana do solo pode fornecer informações importantes sobre a dinâmica de um reservatório lábil da matéria orgânica do solo (Hungria e Araújo, 1994), ou seja, pode avaliar o tamanho da fração mais ativa e dinâmica da matéria orgânica.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) diferiu ao nível de 7% de probabilidade ($p = 0,051$) entre os manejos estudados. Contudo, a análise das médias por camadas, por meio do teste de Tukey, apontou que a diferença entre os manejos encontra-se somente nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 e 20-30 cm.

O solo sob cerrado foi o que apresentou os maiores valores para CBM em todas as camadas analisadas, alternando-se entre 274,24 a 114,56 mg C kg⁻¹ solo (gráfico 2), sendo que os valores observados nas camadas de 0-10 e 20-30cm diferiram significativamente dentre os demais manejos. Tomando o dado obtido na camada 0-10 cm desse sistema como referência, observou-se uma redução nos valores do CBM da ordem de 25% para o sistema plantio direto, de 26% para o sistema plantio convencional e 41% para o florestamento de pinus.

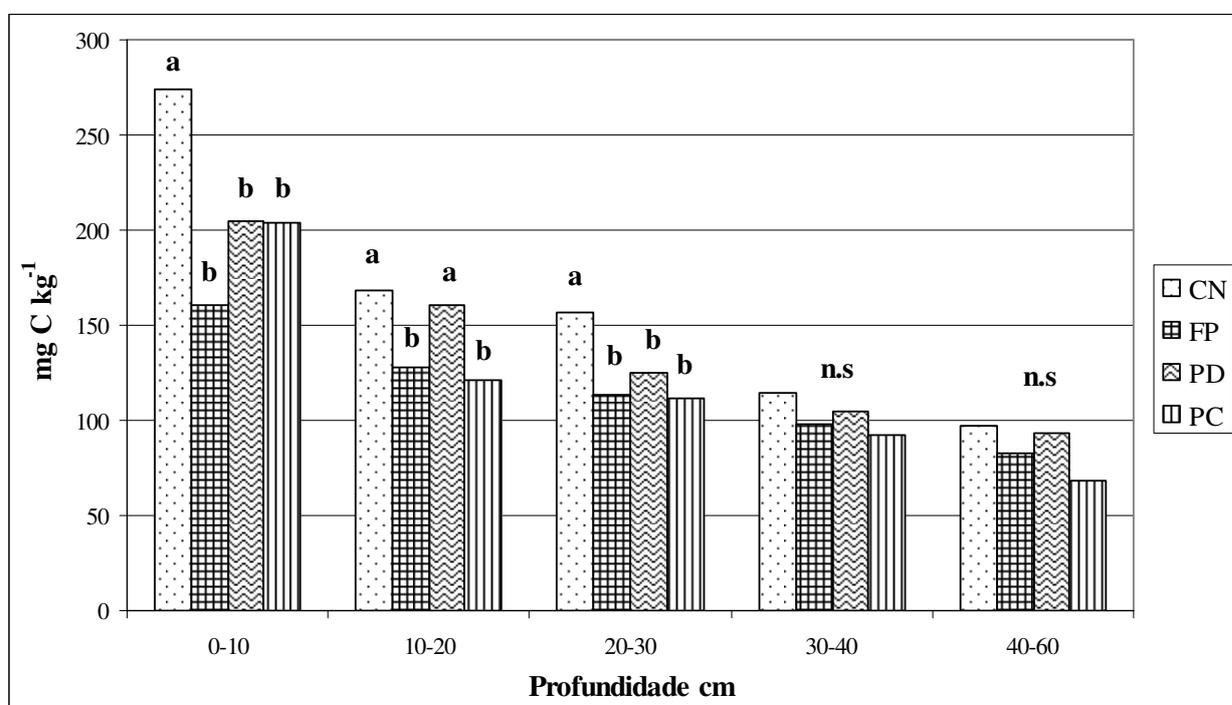


Gráfico 2: Valores médios de carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg⁻¹ solo), obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional no intervalo (PC) de 0 a 60 cm de profundidade. Médias seguidas pela mesma letra na profundidade não diferem entre si, enquanto. n.s denota a ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%

O maior valor do carbono da biomassa microbiana verificado no cerrado nativo é um reflexo de uma situação bastante particular para a microbiota do solo nesse sistema, que é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de

susceptibilidade à decomposição, originados da vegetação; pela ação da rizosfera e ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica. Adicionalmente, a matéria orgânica incorporada a esse sistema favorece as propriedades estruturais do solo tais como agregação e aeração, os quais podem afetar o crescimento e atividades dos organismos que vivem no solo (Lisboa, 2009). Para D'Andrea (2002), os maiores teores de biomassa microbiana encontrados em áreas de cerrado nativo indicam um maior equilíbrio da microbiota nesse ecossistema.

O solo sob plantio direto registrou menores teores de CBM em relação ao cerrado nativo, alternando entre 205,17 a 93,2 mg C kg⁻¹ solo. Apesar das reduções encontradas para os valores de carbono de biomassa microbiana com relação à área nativa, o plantio direto ainda é considerado mais apropriado que o sistema convencional como observado por Vasconcellos et al. (1998). Esses autores compararam os dois sistemas em cultivo de milho e demonstraram que a massa residual no plantio direto ao permanecer na superfície favorece o desenvolvimento da biomassa microbiana principalmente nas camadas superiores (0-5cm).

Em relação ao plantio convencional, os resultados variaram entre 203,71 a 68,54 mg C kg⁻¹ solo, indicando que as características desse sistema de manejo (alto revolvimento e apenas uma espécie de cultura anual) contribuem para reduzir a quantidade e, possivelmente, a diversidade dos microrganismos, com grande impacto na microbiota do solo.

O trabalho de Balota et al. (1998) corrobora estes resultados, na comparação entre PD e PC em sucessões entre trigo/milho e trigo/soja, em que o sistema com menor revolvimento de solo apresentou maior biomassa microbiana.

Resultados semelhantes aos desse trabalho também foram encontrados por Perez et al. (2004), com maior valor de carbono da biomassa microbiana no solo sob vegetação de cerrado quando comparado a um solo sob cultivo convencional de soja. Reduções na biomassa microbiana comparando outros sistemas de cultivo com áreas sob vegetação nativa de cerrado também foram observadas por Mendes et al. (2003) e Oliveira (2000).

Seguindo o mesmo parâmetro da atividade respiratória, o reflorestamento de pinus apresentou valores maiores que os verificados no plantio convencional nas camadas de 20 a 60 cm. Contudo, no que diz respeito à camada de 0-10 registrou-se uma diminuição de 25% do CBM desse manejo em relação ao plantio convencional.

As análises da atividade respiratória e o CBM indicam mudanças na comunidade microbiana do solo, tais modificações podem comprometer o funcionamento do ecossistema e a qualidade do solo, uma vez que todos os fatores que influenciam negativamente os microrganismos e favorecem perdas da matéria orgânica, ocasionam uma deterioração das propriedades físicas, e químicas do solo.

Os microrganismos interferem nas propriedades físicas do solo à medida que atuam positivamente sobre a agregação, a aeração, a retenção de água e no desenvolvimento das raízes, reduzindo a susceptibilidade do solo à atuação dos agentes erosivos. Quanto às propriedades químicas os microrganismos atuam nos processos bioquímicos ligados a) a decomposição de matéria orgânica; b) mineralização de compostos orgânicos, c) transformações inorgânicas de N e S; d) produção de metabólitos diversos (Siqueira e Moreira, 2002).

Em todos os tratamentos avaliados observou-se uma diminuição tanto no valor da respiração basal como do carbono da biomassa microbiana com o aumento da profundidade. A diminuição da população microbiana na camada subsuperficial do solo pode ser explicada, principalmente, por condições menos favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos, como, por exemplo, menor aeração do solo e menor disponibilidade de MO facilmente decomponível (Baretta et al., 2005).

Segundo Moreira e Siqueira (2002), cerca de 5% do espaço poroso do solo é ocupado por microrganismos, contudo essa porcentagem aumenta significativamente no solo rizosférico, em virtude do aumento na disponibilidade de substrato. Ainda segundo esses autores o solo não-rizosférico é um “deserto nutricional”, onde a maioria dos organismos se encontra morta ou em estado de dormência devido à ausência de ingredientes necessários para a manutenção de seu metabolismo como água, substrato, nutrientes e ambiente físico-químico favorável.

4.1.3- Atividade Enzimática

As enzimas são essenciais a todas as formas de vida, e tem sua síntese e atividade muito bem regulada. A atividade enzimática do solo resulta da ação de enzimas extracelulares e intracelulares. Enquanto as primeiras são programadas para serem liberadas e atuarem no exterior da célula para degradarem substâncias estruturalmente grandes para serem transportadas para dentro da membrana celular e serem metabolizadas; as segundas catalisam reações que ocorrem dentro da célula, mas podem ser liberadas após a lise¹⁰ celular (Moreira e Siqueira, 2002).

Todas as enzimas encontradas no solo são produzidas pelos microrganismos, animais e plantas, desse modo, as condições que favoreçam a atividade microbiana como adubação orgânica, presença de vegetação, rotação de cultura, plantio sem revolvimento e outras práticas conservacionistas também favorecem a atividade enzimática (Matsuoka, 2006).

4.1.3.1- Fosfatase Ácida

A atividade da fosfatase ácida apresentou uma ampla faixa de variação de seus valores, situando-se entre 690 e 1546 μg de ρ -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1} . Estes valores conferem com a faixa de variação estabelecida por Dick et al.(1996) apud Schmitz (2003) para esta atividade enzimática, com variação de 23 a 2100 μg de ρ -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1} , para solos com umidade de campo. Os dados dessa enzima diferenciaram entre si ao nível de 5% de probabilidade ($p=0,00$) entre os diferentes manejos e entre as camadas avaliadas (gráfico 3).

A grande dependência das áreas nativas com relação à ciclagem de fósforo orgânico pode ser verificada através dos maiores níveis de atividade da fosfatase ácida observada nessas áreas. Como os solos de cerrado se caracterizam pela baixa disponibilidade de nutrientes minerais, especialmente do fósforo (Sousa et al., 2004), a presença de uma elevada atividade da fosfatase ácida nas áreas nativas revela a adaptação desse bioma à carência desse elemento, uma vez que o crescimento das plantas fica condicionado à ciclagem do fósforo orgânico da serrapilheira por essa enzima.

¹⁰ Destruição celular por rebentamento das células, devido à destruição da membrana celular.

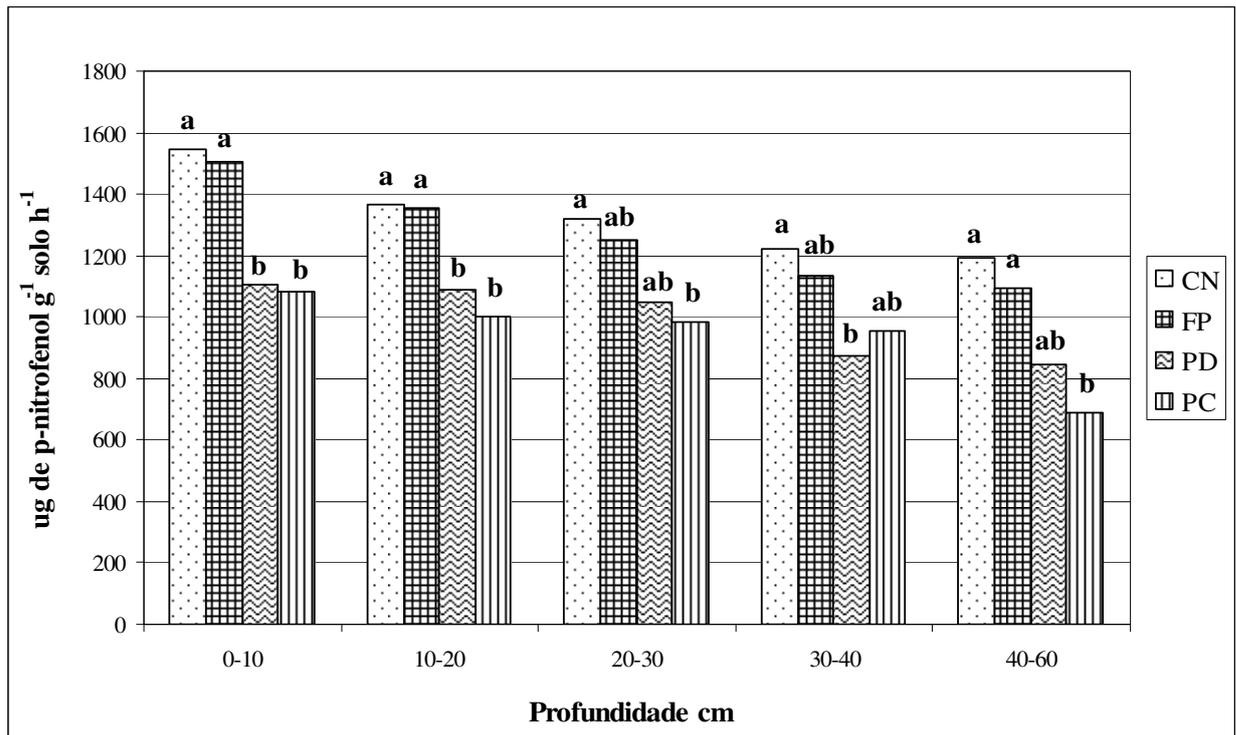


Gráfico 3: Valores médios da atividade enzimática Fosfatase ácida (μg de p -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1}), obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade. Médias seguidas pela mesma letra na profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

A maior atividade da fosfatase ácida em áreas de vegetação nativa também foi observada por diversos autores. Mendes e Reis-Júnior (2004), estudando solos do Cerrado brasileiro encontraram reduções significativas na atividade desta enzima nas áreas cultivadas em relação às áreas ainda sob vegetação nativa, sendo registrados valores de $1400 \mu\text{g } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{ solo } \text{h}^{-1}$ e de, no máximo, $1200 \mu\text{g } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{ solo } \text{h}^{-1}$ em áreas sob plantio direto.

A maior atividade enzimática verificada no solo sob cerrado também pode ser associada ao maior conteúdo de matéria orgânica, pois esse afeta a diversidade enzimática, isto é, a atividade da maioria das enzimas aumenta quando aumenta a matéria orgânica, refletindo em maiores comunidades microbianas e maior estabilização de enzimas por materiais húmicos (Burns, 1982 apud Lanna, 2005).

O solo sob reflorestamento de pinus apresentou a segunda maior atividade enzimática de fosfatase ácida, indicando também a dependência desse manejo em relação à ciclagem do fósforo orgânico. Esse manejo apresentou, na camada de 0-10 cm, uma diminuição de apenas 2,5% dessa atividade enzimática em relação à vegetação nativa. O cerrado nativo e o

florestamento de pinus obtiveram em todas as camadas avaliadas médias estatisticamente iguais.

No que diz respeito aos solos sob sistema de cultivo direto e convencional registrou-se uma diminuição de 28,5% e 30% respectivamente, em relação ao cerrado, para primeira camada. Essas reduções foram inferiores aos obtidos por Conte et al. (2002), que avaliando um Latossolo Vermelho no Rio Grande do Sul, observaram uma redução de quase 60% nos valores de atividade da fosfatase ácida nos solos cultivados quando comparados ao da mata nativa.

Considerando apenas os sistemas de cultivo, observou-se que o solo sob plantio direto obteve, em todas as camadas, valores mais elevados do que aqueles constatados no solo sob preparo convencional. Contudo, estatisticamente as médias desse indicador foram semelhantes em todas as camadas para esses sistemas.

Maiores valores de atividade da fosfatase ácida nos sistemas de plantio direto em relação ao preparo convencional também foram encontrados por Balota et al (2004), em estudos realizados em um Latossolo no Estado do Paraná.

Segundo Mendes e Reis-Júnior (2004), a maior atividade da fosfatase ácida no plantio direto comparada ao plantio convencional está relacionada à manutenção da cobertura vegetal e à ausência de revolvimento do solo. Estas práticas favorecem a formação de agregados e, conseqüentemente, a proteção da matéria orgânica do solo, e esta influencia diretamente a atividade da fosfatase ácida. Além disso, a aplicação localizada de fertilizante fosfatado no plantio direto faz com que este não fique distribuído uniformemente no solo, ocorrendo então zonas de baixa concentração no íon fosfato, estimulando a atividade das fosfatases nestes locais. Dessa forma, a inibição das fosfatases por esses adubos não é tão acentuada como no plantio convencional, onde eles são misturados ao solo.

Segundo Bandick e Dick (1999) apud Lisboa (2009), a adubação mineral fosfatada pode interferir na determinação da atividade desta enzima. A maior disponibilidade do fósforo mineral para os vegetais e microrganismos faz com que se torne menos necessária a mineralização de formas orgânicas de fósforo e conseqüentemente a produção da enzima fosfatase pela comunidade microbiana se torna menor, o que vai repercutir sobre a atividade da mesma no solo. Chunderova e Zubeta (1969), citados por Dick (1994), também observaram reduções nos níveis de atividade da fosfatase ácida de acordo com o aumento do fósforo na solução do solo.

As maiores atividades da fosfatase na área sob vegetação nativa e as menores na área de plantio convencional refletem a perda da biomassa microbiana, o efeito inibidor do uso de

adubos na atividade enzimática nas áreas cultivadas e a importância da mineralização do fósforo pela ação dessas enzimas, no suprimento desses nutrientes nas áreas nativas (Mendes et al., 2003).

4.1.3.2- Urease

A quantificação da enzima urease pode fornecer uma indicação do potencial do solo em converter nitrogênio orgânico em mineral, ou seja, é indicativo da atividade dos microrganismos responsáveis pelo processo de mineralização do nitrogênio.

A atividade da urease manteve-se entre 40,5 a 198,1 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, (gráfico 4), sendo coerente com a faixa de variação para esta atividade, estabelecida por Dick et al. (1996) apud Schmitz (2003), de 22 a 422 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$. Os dados referentes ao valor mínimo e máximo da atividade enzimática urease encontrados nesse trabalho foram maiores do que os obtido por Schmitz (2003) e Matsuoka (2006). Os valores dessa atividade enzimática diferiram estatisticamente ($p = 0,00$) entre os manejos e as camadas avaliadas.

O solo sob cerrado nativo manteve os maiores valores para a atividade da urease dentre todos os usos do solo avaliados, variando de 198,1 a 117,1 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$. A oferta de maior quantidade e, principalmente, de diversidade de substratos potencialmente mineralizáveis no cerrado deve ter favorecido a ação dos microrganismos produtores da urease (Bandick e Dick, 1999 apud Facci, 2008).

Matsuoka (2003), também, atribui a maior quantidade de urease presente nas áreas naturais a maior concentração de raízes existente nesses manejos. Além disso, a maior atividade enzimática verificada em áreas nativas também pode estar relacionada a mudanças qualitativas na composição das comunidades microbianas presentes nestes locais e a maior dependência desse manejo em relação à ciclagem do nitrogênio orgânico presente na serrapilheira pela enzima urease.

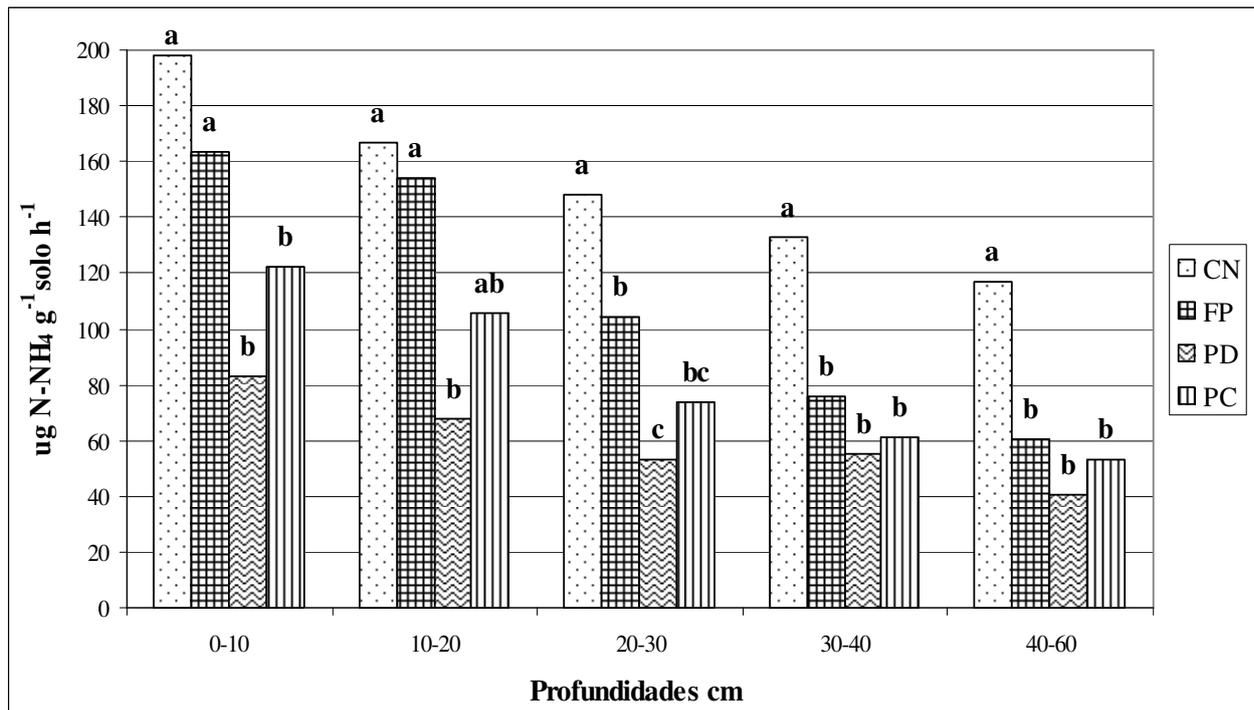


Gráfico 4: Valores médios da atividade enzimática urease ($\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$), obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade. Médias seguidas pela mesma letra na profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Seguindo a mesma tendência da fosfatase ácida o solo sob reflorestamento de pinus apresentou o segundo maior valor da atividade enzimática urease. Em relação ao cerrado nativo houve uma redução de 18% dessa enzima na camada de 0-10 cm. Longo e Melo (2005) verificaram que o tipo de cobertura vegetal alterou a atividade da urease, registrando uma tendência mais elevada nas culturas permanentes não manejadas (pinus e eucalipto).

Diferentemente dos demais indicadores biológicos analisados, em que os menores valores foram identificados no preparo convencional, para a enzima urease esse manejo apresentou maiores valores dessa atividade enzimática em relação ao plantio direto, em todas as profundidades. Os valores para essa enzima variaram de 122,3 a 53,2 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ no manejo preparo convencional, e de 83,3 a 40,5 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ no plantio direto. Todavia

Quando comparados entre si, no que se refere à camada de 0-10 cm, houve uma diminuição de 31% do valor dessa enzima do plantio direto em relação ao preparo convencional. Os dados observados por esse estudo diferem dos obtidos por Schmitz (2003), Silveira (2007) e Lisboa (2009). Nesses trabalhos, quando a comparação foi realizada apenas

entre esses sistemas, em todas as amostragens, a atividade da urease foi superior no sistema de plantio direto. Os autores atribuíram esse resultado aos teores superiores de carbono em plantio direto, o que estimularia a atividade microbiana do solo, e ao efeito da cobertura do solo sobre esta enzima no plantio direto.

Roldán et al. (2003) apud Lisboa (2009) estudando os efeitos da cobertura vegetal obteve que quando 66% do solo era coberto por resíduos vegetais, a atividade da urease foi cerca de 100% superior em relação àquela obtida no solo sem cobertura.

Os maiores valores da enzima urease encontrados no solo sob sistema de preparo convencional podem estar relacionados aos restos vegetais existentes sobre a superfície do solo na data da coleta e a maior dependência desse manejo em relação à ciclagem do nitrogênio orgânico. Ambos os sistemas de cultivo recebem adubação, contudo, os dados da enzima urease sugerem que a palhada característica do plantio direto atua positivamente na retenção do nitrogênio, enquanto, as práticas de preparo convencional do solo facilitam a perda desse nutriente, o que favorece a atividade enzimática em virtude da diminuição do efeito inibidor da adubação mineral.

4.2- Atributos Químicos

A utilização de características químicas do solo para avaliar as mudanças ocorridas em função dos seus diferentes tipos de uso, já vem sendo utilizada há vários anos por diversos autores (Doran e Parkin, 1994; Chaer, 2001; USDA, 2001b; Araújo, 2004), a fim de identificar qual a melhor maneira de utilização do solo, sem que ocorram maiores impactos na natureza.

A qualidade química dos solos é um importante elemento de sustentabilidade, estando essas propriedades relacionadas a vários processos do solo e a muitas de suas funções como: promoção do crescimento das raízes e das atividades biológicas; armazenamento e fornecimento de nutrientes e água. O cultivo do solo alterou grande parte das propriedades químicas avaliados, uma vez que nos sistemas de manejos estudados faz-se o uso de práticas que visam à adequação das propriedades químicas do solo conforme os parâmetros estabelecidos pela produção agrícola (tabela 2).

Tabela 2 – Características químicas obtidas nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional no intervalo (PC) de 0 a 60 cm de profundidade.

Manejo	Prof (cm)	pH H ₂ O	M.org dag/Kg	Ca cmol _c /dm ³	Mg cmol _c /dm ³	K mg/dm ³	Al cmol _c /dm ³	Al + H cmol _c /dm ³	P mg/dm ³	P reman. mg/L	SB cmol _c /dm ³	CTC cmol _c /dm ³	V%
CN	0-10	4,93	4,52	2,62	0,34	43,27	1,78	10,04	3,77	6,15	3,07	13,11	23,51
	10 20	4,70	4,26	1,37	0,19	37,95	2,15	9,92	3,32	5,77	1,66	11,57	14,37
	20-30	4,80	4,17	1,79	0,18	35,94	1,93	9,20	2,93	6,78	2,06	11,26	18,35
	30-40	4,73	3,66	0,78	0,12	24,42	2,09	8,89	2,26	5,96	0,97	9,86	9,80
	40-60	4,73	3,18	0,79	0,09	21,81	2,07	8,54	1,98	5,15	0,94	9,47	9,97
FP	0-10	5,30	4,02	3,97	0,22	30,82	0,99	6,37	5,95	12,41	4,28	10,65	39,91
	10 20	5,07	3,52	2,83	0,17	29,44	1,31	7,82	4,65	7,68	3,07	10,90	28,81
	20-30	5,03	3,37	3,18	0,16	25,17	1,17	7,48	3,97	8,53	3,41	10,89	31,01
	30-40	5,17	3,03	3,35	0,15	24,25	1,18	6,94	4,03	7,63	3,56	10,50	33,56
	40-60	4,93	2,99	3,07	0,19	24,17	1,26	6,48	4,07	6,69	3,33	9,81	32,13
PD	0-10	5,43	3,80	4,56	0,86	192,43	0,33	6,15	21,50	14,79	5,91	12,06	48,85
	10 20	5,47	3,14	3,38	0,51	130,40	0,47	6,20	7,26	11,36	4,23	10,43	40,88
	20-30	5,53	3,35	3,19	0,52	123,80	0,42	6,08	6,81	10,06	4,02	10,11	39,62
	30-40	5,23	2,79	2,15	0,33	71,27	1,03	7,13	4,63	6,54	2,66	9,78	27,37
	40-60	5,10	2,56	1,91	0,33	59,01	1,15	6,84	3,54	5,84	2,39	9,23	25,79
PC	0-10	5,23	3,28	3,19	0,63	144,93	0,43	5,31	15,04	15,39	4,19	9,51	43,63
	10 20	5,23	2,86	2,08	0,31	69,87	0,67	5,73	6,31	10,91	2,57	8,30	30,94
	20-30	5,30	2,93	2,81	0,53	96,05	0,74	5,63	6,77	10,56	3,59	9,22	38,92
	30-40	5,13	2,50	1,81	0,31	55,21	0,92	6,01	3,88	8,35	2,26	8,27	27,26
	40-60	5,20	2,47	1,97	0,39	61,07	0,85	5,57	4,31	8,77	2,52	8,09	31,17

Sendo: Matéria Orgânica (M. Org.); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Potássio (K) Alumínio (Al), Acidez Potencial (Al + H); Fósforo (P), Fósforo remanescente (P reman.); Soma de Bases (SB); Capacidade de Troca Catiônica (CTC); Saturação por Bases (V%).

4.2.1- pH

No que tange ao pH, embora haja efeito de tratamento e profundidade, considerando a classificação agronômica, os dados desse indicador em água variaram para 95% das profundidades entre 4,5 e 5,4, caracterizando um solo cuja acidez é considerada baixa (Ribeiro, et al., 1999). Apenas a camada de 20-30 cm do manejo plantio direto apresentou pH acima de 5,4, inserindo-se na faixa da classificação agronômica denominada boa. Apesar de quase todos pertencerem a uma mesma faixa de classificação, os valores de pH do solo apresentaram diferença significativa entre os sistemas de manejo.

Em relação aos manejos analisados, o solo sob plantio direto apresentou os maiores valores de pH, exceto para a camada de 40-60 cm, cujo maior valor foi verificado no solo sob preparo convencional, que também registrou medidas elevadas de pH (5,30 a 5,13) para as outras camadas. A reação do solo nesses sistemas foi alterada devido à adição de bases, por meio da incorporação de adubos e pelo processo de calagem.

Os menores valores de pH foram encontrados no solo sob cerrado nativo. A acidificação do solo em ambientes isentos de perturbações antrópicas pode ser relacionada com a lixiviação de bases, com a absorção desses elementos pelos vegetais, com a liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição da serrapilheira, e até mesmo com a fixação biológica do nitrogênio, que contribuem para o abaixamento do pH em solos florestais (Moreira e Siqueira, 2002). No entanto, a acidificação não provoca acentuada toxidez do alumínio para as espécies vegetais, devido, à complexação do mesmo por substâncias orgânicas formadas durante o processo de decomposição do material vegetal, diminuindo a atividade do alumínio na solução do solo (Meurer, 2000 apud Baretta, 2007).

Os maiores valores de pH foram registrados nas camadas mais superficiais do solo, decrescendo com a profundidade. Esses resultados estão relacionados com as características tamponantes da matéria orgânica e, ou, com o aumento da força iônica da solução do solo, por causa do incremento dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ na camada superficial resultantes da adubação ou da ciclagem de resíduos orgânicos.

A concentração do íon hidrogênio da solução do solo não deve ser entendida com uma solução homogênea comum. Existem diferenças de pH de solos com apenas alguns centímetros de separação, o que é consequência da ação microbiana local e da desigual distribuição dos resíduos orgânicos do solo. Para Brady (1989), a variabilidade da solução do solo é importante, pois possibilita aos microrganismos e às raízes vegetais grande diversidade

de ambientes na solução do solo. Assim, os organismos que recebem influência desfavorável por causa de determinada concentração de íons de hidrogênio, poderão encontrar, a distâncias infinitesimais, ambiente mais satisfatório. Isso explica, em parte, as espécies tão distintas que constituem a flora dos solos normais.

4.2.2- Matéria Orgânica

A matéria orgânica é considerada como um dos fatores mais importante para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas naturais e agrários, pois é fonte primária de nutrientes às plantas, exerce uma importante função na formação e estabilização dos agregados, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão. Soma-se a essas funções, a sua ação como corretivo de elementos tóxicos, por meio de sua complexação, e ainda como condicionadora da reação do solo, influenciando sua capacidade tampão; e sua capacidade de troca catiônica.

Por todos esses aspectos e funções a matéria orgânica mostra-se sensível as modificações impostas pelo manejo. Assim, é possível afirmar que o processo de degradação e de recuperação da qualidade do solo está intimamente ligado à manutenção e, ou, aumentos dos teores e qualidade das frações orgânicas do solo.

Confirmando sua sensibilidade ambiental em distinguir os ambientes os teores de matéria orgânica diferenciaram ao nível de 5% de probabilidade ($p = 0,00$) entre os manejos. Todavia, a análise das médias por camadas, por meio do teste de Tukey, apontou que a diferença entre os manejos não se manifesta na profundidade de 40-60 cm.

Verificou-se que o solo sob cerrado nativo apresentou em todas as camadas maior concentração de matéria orgânica, variando de 4,52 a 3,18 dag/kg, sendo seguido pelos solos sob florestamento de pinus e sob sistema de plantio direto, alternando, respectivamente entre 4,02 a 2,99 e 3,80 a 2,56 dag/kg. Em todas as camadas a menor concentração de matéria orgânica foi encontrada no solo sob plantio convencional, registrando teores entre 3,28 a 2,47 dag/kg (gráfico 5).

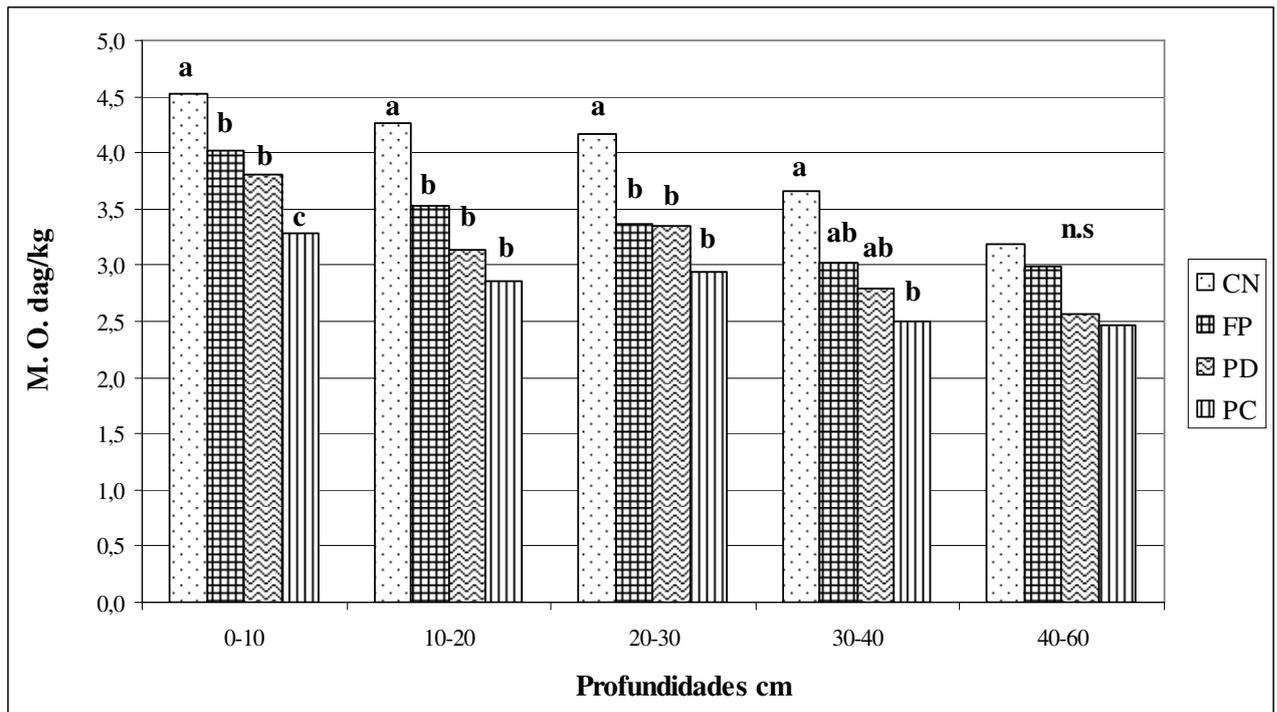


Gráfico 5: Valores médios do teor de matéria orgânica (dag/kg), obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade. Médias seguidas pela mesma letra na profundidade não diferem entre si, enquanto, n.s denota a ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%

Considerando os dados do solo sob cerrado nativo, referentes à primeira camada, observou-se uma redução na concentração de matéria orgânica na ordem de 28%, 16% e 11%, respectivamente em relação aos solos sob os sistemas de preparo convencional; de plantio direto e de florestamento de pinus. A análise estatística evidenciou que os valores da concentração da matéria orgânica nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm obtidos no solo sob cerrado nativo diferiram dentre os demais manejos.

Os maiores valores de matéria orgânica encontrados no solo sob cerrado nativo e florestamento de pinus podem ser explicados pelo maior aporte de massa vegetal produzida por unidade de área, o que implica em uma maior adição de carbono ao solo, na forma de raízes, folhas, ramos, ácidos orgânicos, exsudatos e mucilagens. Além disso, a inexistência de revolvimentos constantes nesses manejos faz com que a perda de matéria orgânica por erosão e decomposição seja menor do que aquelas verificadas em sistemas agrícolas.

A menor perda de matéria orgânica por erosão deve-se à existência de uma cobertura vegetal sobre o solo. Essa cobertura formada pela serrapilheira e pelos indivíduos arbóreos e

arbustivos protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, diminuindo a desagregação de suas partículas, minimizando o encrostamento superficial e, portanto, possibilitando uma maior infiltração da água no solo, que por sua vez, reduz a velocidade da enxurrada e o transporte de sedimentos (Coelho Netto, 2001).

As maiores perdas de matéria orgânica evidenciadas nos sistemas agrícolas, especialmente, no solo sob manejo com preparo convencional, deve à redução da quantidade de resíduos adicionados ao solo e ao aumento da atividade microbiana e, por conseguinte, da taxa de decomposição dos resíduos orgânicos. O aumento da atividade microbiana decorre em função das melhores condições de aeração, promovidas pelo intenso revolvimento da camada superficial, o que é comprovado pelos dados de porosidade.

As práticas químicas de manejo do solo, como correção da acidez e adição de fósforo ao solo atuam, igualmente, no sentido de modificar a comunidade microbiana do solo, acelerando a decomposição da matéria orgânica e a movimentação de carbono do solo para a atmosfera ou para o lençol freático, via lixiviação. Por outro lado, essas práticas otimizam o crescimento das culturas, proporcionando maior aporte de resíduos orgânicos e aumentos nos teores de matéria orgânica do solo (Oliveira Junior, 2007). O acréscimo na temperatura do solo e a alternância mais frequente de ciclos de umedecimento e secagem do solo, bem como o acréscimo nas quantidades de carbono perdidas por erosão e lixiviação explica, do mesmo modo, o decréscimo da matéria orgânica em áreas cultivadas (Castro Filho et al., 1998; Pillon, 2005; Rangel, 2006).

Outro fator que influencia a decomposição da matéria orgânica é a degradação da estrutura do solo ocasionada pela prática de revolvimento das camadas superficiais. A ruptura dos agregados provoca a exposição da matéria orgânica fisicamente protegida por esses aos organismos decompositores do solo (Silva et al., 1994; Albuquerque et al., 2005; Pillon, 2005; Zanatta, 2006; Boeni, 2007).

Considerando os sistemas agrícolas, semelhantemente a outros trabalhos (Hernani et al, 1999; Ciotta, 2003; Falleiro et al, 2003), verificou-se uma melhoria nos teores de matéria orgânica no sistema de plantio direto em relação ao sistema de preparo convencional do solo, principalmente nas camadas mais superficiais do solo. No plantio direto a ausência de revolvimento do solo e a permanência dos resíduos culturais na superfície favorecem a agregação que protege da mineralização e promove o aumento da matéria orgânica. Bayer et al. (2000) determinaram, para um Argissolo Vermelho em plantio direto, uma taxa de perda anual de carbono orgânico cerca de duas vezes menor ao verificado no solo em preparo

convencional, o que acarretou em um acúmulo desse no primeiro sistema em relação ao segundo.

Em um trabalho realizado por Souza e Alves (2003), os sistemas de plantio direto e cultivo mínimo apresentaram maiores contribuições à qualidade do solo, uma vez que, além da melhoria nas condições químicas do solo, a matéria orgânica se manteve em níveis similares aos do sistema natural.

As menores concentrações de matéria orgânica no solo sob sistema de preparo convencional evidenciam que os fatores que promovem a sua decomposição são mais pronunciados nesse manejo. Comparando os teores de matéria orgânica obtidos no solo sob plantio direto com aqueles constatados no solo sob preparo convencional, no que diz respeito às profundidades 0-10 e 10-20 cm, observou-se uma redução de 14% e 9% respectivamente, nos valores desse atributo. Essas reduções, embora sejam relativamente pequenas, implicam no comprometimento do funcionamento dos atributos associados às funções básicas do solo e que sofrem influência da matéria orgânica.

4.2.3- Soma bases

À medida que foi feita a correção do solo e adubação das culturas, os sistemas de cultivo alteraram significativamente ($p = 0,00$) os teores de cátions trocáveis que constituem a soma de base.

Os solos sob plantio direto e preparo convencional apresentaram os maiores teores de Potássio (K^+) dentre os sistemas avaliados. As concentrações desse nutriente variaram entre 192,43 a 59,01 mg/dm^3 no primeiro, e entre 144,93 a 55,21 mg/dm^3 no segundo. Nas camadas entre 0-40 cm, os valores de potássio verificados no solo sob plantio direto foram superiores aos observados no solo sob preparo convencional. Apenas na camada 40-60 cm esse comportamento se inverteu. Os elevados teores de K^+ observados nos sistemas agrícolas são conseqüências das adições frequentes de fertilizantes contendo esse nutriente.

Segundo Almeida et al. (2005), a maior concentração K^+ na superfície dos solos sob sistema de plantio direto deve-se, principalmente, ao modo de aplicação dos adubos. Nesse sistema de manejo, a distribuição ocorre a lanço ou incorporados na linha próxima às sementes durante a semeadura, concentrando assim esse nutriente nas camadas mais

superficiais do solo. No preparo convencional eles são incorporados antes de cada semeadura e homogeneizados na camada arável do solo, neste caso favorecendo até mesmo a lixiviação desses nutrientes.

Em relação aos solos sob cerrado nativo e florestamento de pinus observou-se que o primeiro apresentou, com exceção da camada 40-60, os maiores teores de K^+ , alternando entre 43,27 a 24,42 mg/dm^3 , enquanto segundo demonstrou os menores valores desse elemento, variando entre 30,82 a 24,25 mg/dm^3 . Nestes sistemas a ciclagem dos restos vegetais contribui marcadamente para a manutenção dos valores de K^+ retirado do perfil do solo pelas plantas.

Todos os tratamentos apresentaram maiores valores de K^+ à profundidade de 0 – 10 cm. Araújo (2008), trabalhando com Argissolo Amarelo distrófico submetido a diferentes tipos de uso no Acre, constatou comportamento semelhante, observando que os teores de K^+ tendem a decrescer com a profundidade, sendo que os maiores teores ocorrem nos primeiros centímetros do solo em virtude de sua retenção pela matéria orgânica.

No que diz respeito ao cálcio, o solo sob cerrado nativo apresentou os menores teores desse nutriente, variando entre 2,62 a 0,79 $cmol_c/dm^3$. Provavelmente, a imobilização deste elemento na biomassa aérea (Jonhson et al., 2001 apud Siqueira Neto et al, 2009), sobretudo na vegetação formada por árvores de grande porte, explicam os menores valores de cálcio encontrados no solo sob esse manejo.

As maiores concentrações de cálcio foram constatadas nas camadas entre 0-30 cm do solo sob plantio direto. A quantidade desse elemento até 30 cm representa 73% da quantidade total do mesmo dentre as profundidades estudadas. Esperava-se encontrar teores mais elevados desse nutriente nos sistemas de cultivo, visto que, esses utilizam à prática de calagem visando à correção de sua acidez e adubações que podem conter este nutriente. O calcário adicionado ao solo é fonte de cálcio.

Souza e Alves (2003), também, atribuíram os maiores valores de cálcio em superfície para os solos utilizados com sistemas agrícolas de culturas anuais, em função da reciclagem de cálcio via decomposição de resíduos e ao aumento da CTC efetiva do solo, capaz de reter mais cátions nessas camadas.

Mesmo adotando a incorporação de calcário ao solo e práticas de adubação, os teores de cálcio registrados no solo sob preparo convencional foram menores do que os registrados no florestamento de pinus (tabela 3). Isso indica que a prática de incorporação desse cátion, por meio de revolvimento, nesse sistema favorece a perda desse elemento através da lixiviação e da erosão. Hernani et al. (1999), pesquisando as perdas de nutrientes em solução e sedimento,

verificaram que as maiores perdas de cálcio ocorreram no sistema convencional, em virtude da ausência de cobertura vegetal e ao intenso revolvimento.

As concentrações de cálcio obtidas no solo sob florestamento de pinus variaram entre 3,97 a 2,83 cmol/dm^3 , sendo superiores aquelas encontradas no solo sob cerrado nativo. Possivelmente, a menor exigência desse nutriente pelos indivíduos vegetais existentes no florestamento de pinus justifica essas concentrações mais elevadas.

A dinâmica do magnésio foi semelhante à do cálcio no que refere aos sistemas de cultivo, sendo os maiores teores desse elemento, com exceção da profundidade 40-60 cm, constatados no solo sob sistema de plantio direto. Tal qual o cálcio, os teores de magnésio foram favorecidos positivamente no plantio direto pela existência de restos culturais e negativamente pelas práticas de preparo convencional do solo.

Diferentemente dos dados observados para o cálcio, o solo sob cerrado nativo apresentou os maiores teores de magnésio em relação às camadas entre 0-30 cm. Este manejo registrou para a profundidade de 0-10 cm uma quantidade de magnésio 35% maior do que aquela verificada no solo sob florestamento de pinus. Em contrapartida, a distribuição desse nutriente ao longo do perfil do solo foi mais equitativa nesse segundo manejo. Enquanto que no cerrado nativo 37% da totalidade do magnésio concentraram-se na camada 0-10 cm.

Semelhantemente ao cálcio e ao potássio, as maiores quantidades de magnésio verificadas nas camadas superficiais relacionam-se com o aporte de nutrientes proporcionado pela prática da calagem, com os teores mais elevados da matéria orgânica e com o aumento da CTC.

Como a soma de bases é um somatório dos valores dos nutrientes analisados constatou-se os menores valores desse indicador em todas as profundidades no solo sob cerrado nativo. O solo sob o sistema de plantio direto registrou os maiores valores de soma de base para as camadas entre 0-30 cm, enquanto que o solo sob florestamento de pinus obteve os maiores valores desse indicador para as camadas entre 30-60 cm. Em relação ao solo sob preparo convencional verificou-se que os valores de soma de base encontrados na camada de 0-10 cm foi apenas 2% menor do que o observado no solo sob florestamento de pinus. Esse comportamento se inverte apenas na camada 20-30 cm quando o valor de soma de base constatado no primeiro é 5% superior ao verificado no segundo manejo (gráfico 6).

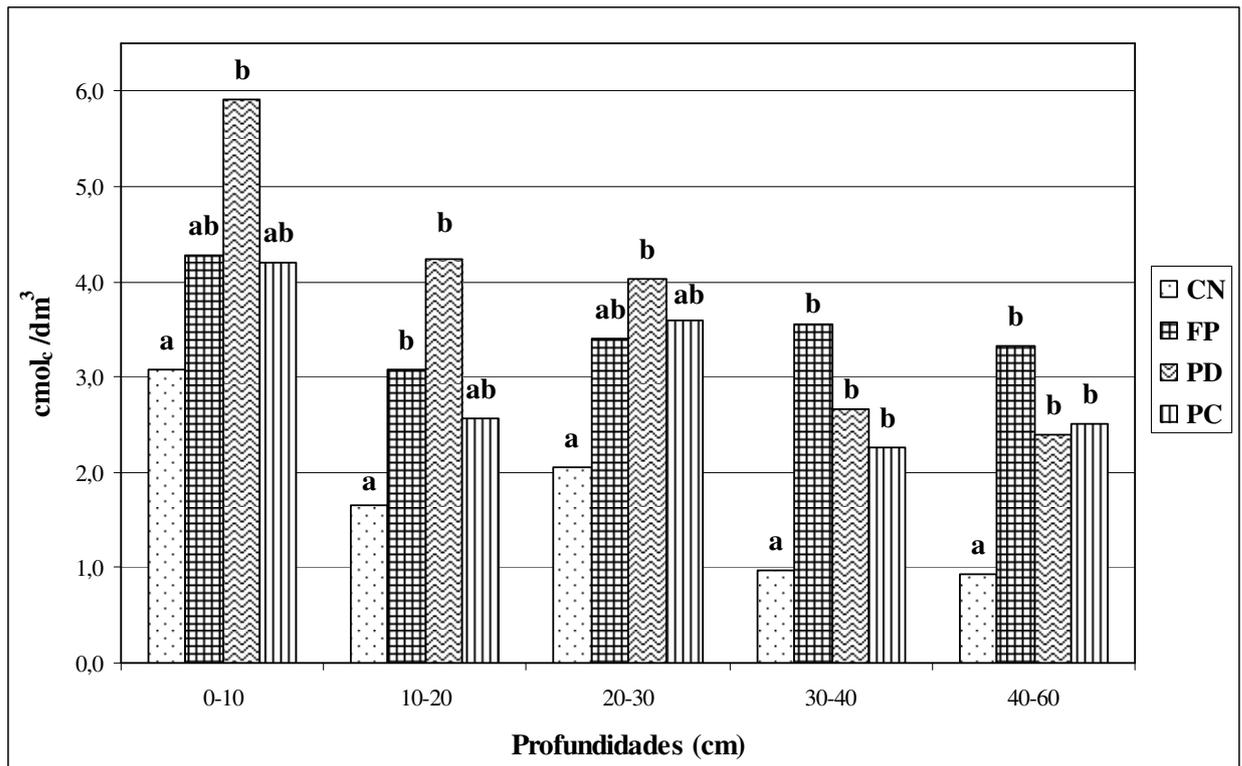


Gráfico 6: Valores médios de soma de bases ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Preparo Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade. Médias seguidas pela mesma letra na profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Em relação à saturação por bases, ou seja, quantos por cento dos pontos de troca catiônica do potencial do complexo coloidal do solo estão ocupados por cálcio, magnésio e potássio em comparação com aqueles ocupados por hidrogênio e alumínio constatou-se que todos os sistemas apresentam saturação abaixo de 50% (gráfico 7). Embora todos os sistemas tenham apresentado distrofia, em nenhum foi observado caráter alumínico.

O caráter distrófico dos solos sob preparo convencional e plantio direto evidencia a necessidade de nova adubação e calagem. A maior disponibilidade de nutrientes no complexo de troca catiônica do solo é essencial para os sistemas agrícolas, uma vez que esses interferem diretamente no desenvolvimento das culturas.

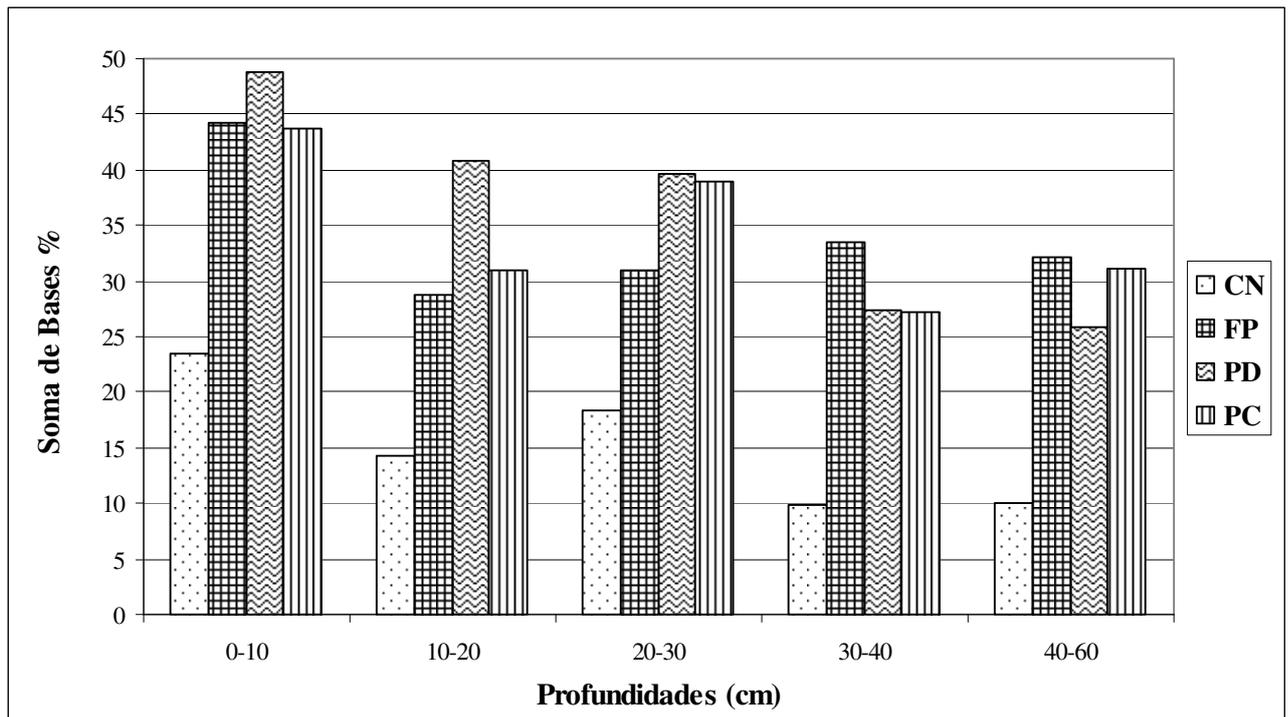


Gráfico 7: Valores médios de saturação por bases (%) obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional no intervalo (PC) de 0 a 60 cm de profundidade.

Tomando o cerrado nativo como referência, os sistemas de cultivo foram os que apresentaram as melhores condições de sustentabilidade nutricional. Alvarenga e Davide (1999), comparando diferentes ecossistemas em Latossolo Vermelho sob solos de cerrado, também, observaram substanciais aumentos nos teores de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas, bem como diminuição da acidez e do teor de alumínio trocável no sistema utilizado com culturas anuais, quando comparado com uma área de vegetação nativa.

A melhoria dos indicadores de fertilidade é desejável, afetando diretamente a função de sustentação e liberação de nutrientes para as plantas. Todavia, solos sob vegetação nativa que não sofrem intervenções antrópicas, propiciam condições de equilíbrio para os seus componentes e promovem a manutenção da fertilidade, por meio da mineralização da matéria orgânica, presente em maior quantidade nesse ambiente em relação aos sistemas de cultivo.

4.2.4- Capacidade de troca catiônica (CTC)

Nos solos do cerrado, altamente intemperizados, a capacidade de troca de cátions deve-se a fração argila e, principalmente, à matéria orgânica, que representa um grande percentual da CTC total. A fração argila presente nessa classe de solo possui uma mineralogia, sendo composta por caolinita, óxidos de ferro e de alumínio, que apresentam baixa capacidade de troca catiônica. Dessa forma, a CTC associada à matéria orgânica torna-se uma das principais fontes de nutrientes para as plantas (Kluthcouski e Stone, 2003 apud Pignataro Netto, 2008). A capacidade de troca de cátions da matéria orgânica pode atingir valores 10 a 20 vezes maiores que os colóides minerais (Costa, 2004).

Os valores de CTC registrados diferiram entre si ao nível de significância de 5% ($p = 0,00$) entre os manejos e as camadas (gráfico 8). Devido à ação da matéria orgânica observou-se nas camadas mais superficiais 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm do solo sob cerrado nativo, os maiores valores de CTC dentre os usos analisados, contudo, esses valores só diferiram significativamente em relação às camadas do solo sob preparo convencional. Em relação às camadas 30-40 e 40-60 cm do solo sob cerrado registrou-se valores menores do que os obtidos no florestamento de pinus.

O solo sob plantio direto apresentou o segundo maior valor de CTC para a camada de 0-10 cm, evidenciando a melhoria das propriedades químicas do solo em virtude da preservação de restos culturais sobre sua superfície. Em relação às demais camadas analisadas, os valores encontrados nesse manejo foram inferiores aos obtidos no solo sob florestamento de pinus. Todavia, estatisticamente as médias registradas no solo sob florestamento de pinus e preparo direto, para as camadas entre 0 a 40 cm, foram semelhantes.

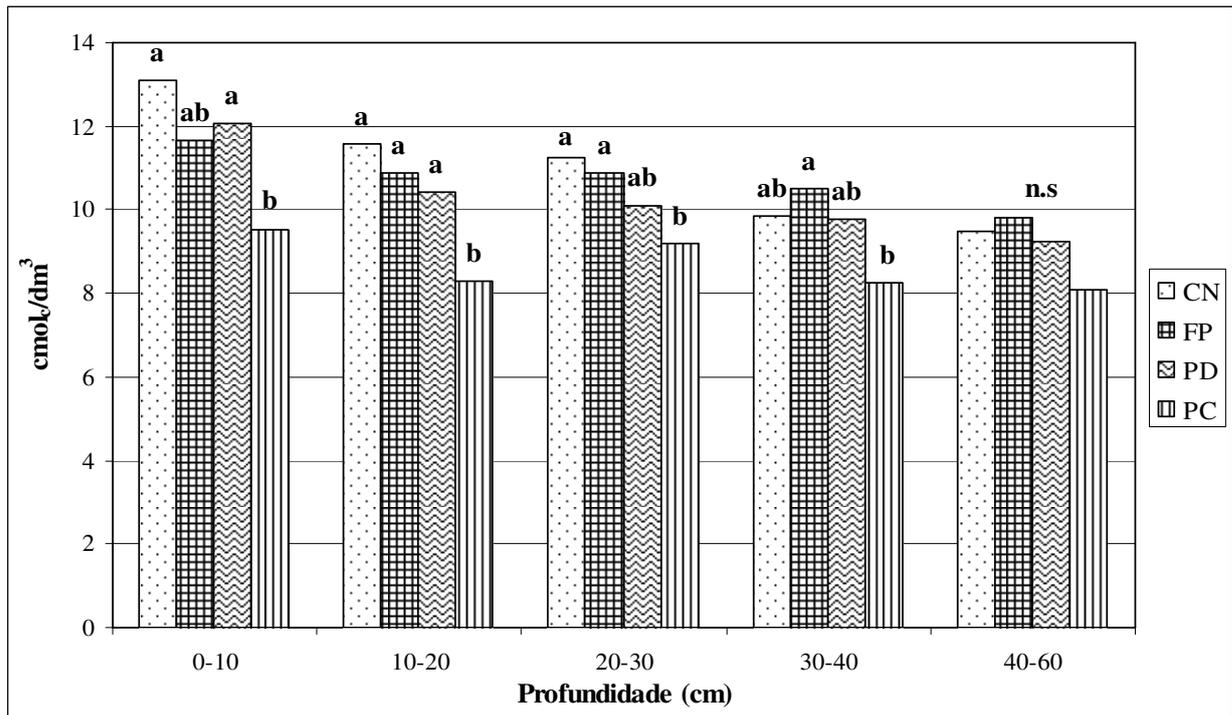


Gráfico 8: Valores médios da capacidade de troca catiônica (cmol_c/dm³) obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade. Médias seguidas pela mesma letra na profundidade não diferem entre si, enquanto n.s denota a ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%

O solo sob o manejo preparo convencional registrou-se os menores valores de CTC, diferindo estatisticamente de todos os demais manejos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Esse resultado era esperado, pois, os menores teores de matéria orgânica dentre os usos avaliados foram constatados nesse sistema de preparo do solo. Comparando o valor encontrado da CTC no solo sob preparo convencional com os obtidos nos demais manejos, referente à camada de 0-10 cm, observou-se uma redução desse atributo na ordem de 28%, 21% e 11%, respectivamente em relação aos solos sob cerrado nativo; plantio direto e florestamento de pinus.

Os dados apresentados confirmam que nos solos tropicais, para melhorar a oferta de nutrientes, além das correções com calcário e fertilizantes, faz-se necessário usar práticas como o manejo correto da matéria orgânica, a boa cobertura e a baixa mobilização do solo.

Em todos os tratamentos foi constatado um decréscimo da CTC com o aumento da profundidade, possivelmente, isso decorre em função da redução da quantidade de raízes e do teor de matéria orgânica advindo da superfície.

4.3- Atributos Físicos¹¹

A qualidade do solo do ponto de vista físico está associada àquele solo que: i) permite a infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas, córregos e subsuperfícies; ii) responde ao manejo e resiste à degradação; iii) permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e iv) possibilita o crescimento das raízes (Reichert et al., 2003).

Dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo e pode ser analisada por meio da densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo. Estes indicadores demonstram o efeito do manejo, sendo de fácil mensuração, com respostas rápidas e de razoável precisão (Albuquerque et al., 1995; Campos et al., 1995; Doran, 1997).

A estrutura do solo é um dos indicadores mais importantes para o crescimento das plantas, uma vez que influi diretamente nas condições de adensamento, compactação, encrostamento, infiltração de água e suscetibilidade do solo à erosão (Campos et al., 1995).

A degradação das características físicas do solo, segundo Bertol et al.(2001), é um dos principais processos responsáveis pela perda de sua qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica. O monitoramento da qualidade do solo por meio das características físicas é importante para manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, à medida que favorece a realização de práticas de preparo mais racionais e reduz a degradação do ambiente.

¹¹ Reafirma-se que os dados primários relativos aos indicadores físicos foram confeccionados por Cunha (2009). Contudo, a análise apresentada neste trabalho foi elaborada pela autora do mesmo.

4.3.1- Densidade

Os valores de densidade diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), tanto em relação aos manejos estudados ($p=0,00$), quanto dentre as camadas entre 0-40 cm. O solo sob o florestamento de pinus apresentou os menores dados de densidade para todas as camadas em relação ao solo sob ao cerrado nativo, contudo, o teste de média a 5% revelou que esses manejos não diferem entre si significativamente (tabela 3).

Tabela 3: Valores médios densidade (g/cm^3) obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP) Plantio direto (PD), e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade.

Uso da terra	Densidade g/cm^3				
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60
CN	0,92 ac*	0,95 ac	0,94 ab	0,97 ab	0,95 n.s**
FP	0,80 c	0,84 c	0,86 b	0,88 a	0,92
PD	1,26 b	1,17 b	1,08 a	1,01 ab	1,03
PC	1,17 ab	1,12 ab	1,08 a	1,09 b	1,06

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

** n.s = diferença não significativa

Estudos realizados por Cavenage et al., (1999); Martins et al., (2002) e Araújo (2004), também relataram maiores densidades em solo sob cerrado nativo em comparação com solo sob florestamento de pinus.

Os menores valores de densidade constatados nos solos sob esses dois manejos podem ser explicados pela inexistência de intervenções antrópicas; pela cobertura vegetal que impede o impacto direto das gotas de chuva e contribui para a formação da serrapilheira; e pela maior concentração de matéria orgânica observadas nesses manejos e que age diretamente sobre a agregação do solo e, portanto, influencia positivamente a densidade do solo.

Tanto no solo sob cerrado, como no solo sob florestamento de pinus observou-se um comportamento de aumento da densidade em consonância com o aumento da profundidade, conforme Cavenage et al. (1999), esse comportamento pode ser justificado pela diminuição do teor de matéria orgânica e elevação da pressão exercida pelo peso das camadas de solo subjacentes.

As maiores densidades registradas para as camadas de 0,10 cm e 10-20 cm do solo sob plantio direto são resultantes das pressões exercidas pelas máquinas e implementos, bem

como à consolidação natural do solo em função da ausência de preparo nesse sistema de manejo. De acordo com Corrêa e Cruz (1987); Falleiro et al., (2003); Reinert et al., (2006); e Zalamena (2008), o aumento da densidade do solo em lavouras que adotam o cultivo direto pode ser considerado como uma consequência normal desse sistema de manejo. Genro Junior et al., (2004) apud Reinert et al., (2006) apontam que o maior estado de compactação de solos sob sistema de plantio direto, indicado pela densidade, ocorre de 8 cm até aproximadamente 20 cm de profundidade.

Cruz et al., (2001) e Assis e Lanças (2005) argumentam que o sistema de plantio direto promove o aumento da compactação do solo nos primeiros anos após sua implantação, contudo, esse efeito desaparece à medida que o plantio direto se estabelece adequadamente. Ademais, de acordo com os primeiros autores a adoção dos princípios básicos da implantação do plantio direto do solo, especialmente aqueles relacionados com o estabelecimento de uma cobertura morta e eliminação prévia de camadas adensadas favorecem a diminuição e o desaparecimento do efeito de compactação causado por esse.

Os menores valores de densidade, observados nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm no solo sob preparo convencional em relação ao sob plantio direto, foram proporcionados pelo revolvimento do solo que tem como uma de suas principais finalidades, aumentar a condição de porosidade e, por conseguinte ampliar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água no solo. Contudo, os valores de densidade tendem a aumentar ao longo do tempo, como resultado do acomodamento natural do solo e dos efeitos dos trabalhos e técnicas de preparo nele realizados (Cavenage et al., 1999; Araújo et al., 2004), que promovem um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando-o e compactando-o, diminuindo sua porosidade.

No que se refere às camadas entre 30 a 60 cm, em relação aos sistemas de cultivo, constatou-s uma mudança no comportamento da densidade, tendo o solo sob preparo convencional apresentado os maiores valores desse indicador. Estatisticamente, em todas as camadas, exceto para a situada entre 40-60 cm, os valores de densidade verificados nos solos sob sistemas de cultivo não diferiram entre si significativamente.

Considerando os níveis críticos de densidade propostos por Camargo e Alleoni (1997)

e Goedert et al. (2002)¹², os valores da densidade apresentados pelos solos sob florestamento de pinus e cerrado se mantiveram dentro do limite considerado normal em todas as profundidades, enquanto, os valores observados, em todas as profundidades, nos solos sob preparo convencional e plantio direto ultrapassaram o nível crítico proposto pelos autores citados anteriormente, resultando em leve compactação do solo (tabela 3).

4.3.2- Porosidade

Os valores de porosidade diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), tanto em relação aos manejos estudados ($p=0,00$), quanto dentre as camadas entre 0-20 cm. O solo sob florestamento de pinus obteve os maiores valores de porosidade dentre os manejos e camadas avaliadas (tabela 4). Em relação à camada de 0-10 cm, o valor encontrado para esse indicador sob o solo desse manejo diferiu significativamente dentre todos os demais valores observados. Sob o solo do manejo florestamento de pinus, também, foram encontrados os maiores valores de macroporosidade.

Tabela 4: Valores médios porosidade total % obtidos nas áreas de Cerrado nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade.

Uso da terra	Porosidade total %				
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60
CN	55,79 a*	55,98 ab	59,76 n.s**	59,72 n.s	59,56 n.s
FP	63,06 b	63,25 b	61,05	62,22	60,68
PD	53,70 ac	54,85 a	58,49	57,63	57,84
PC	48,59 c	54,14 a	57,62	58,39	58,46

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

** n.s = não significativo

¹² Camargo e Alleoni (1997) propuseram que o valor crítico relativo à densidade do solo, de um Latossolo Vermelho, deve ser de 1,1 g/cm³, enquanto Goedert et al. (2002) consideraram valores entre 0,7 e 1,0 g/cm³ como ideais em Latossolo.

O solo sob cerrado nativo apresentou os segundos maiores valores de porosidade em relação a todas as camadas. Tal como a densidade, os maiores valores de porosidade encontrados nos solos sob os tratamentos florestamento de pinus e cerrado nativo podem ser justificados pela ausência de intervenções antrópicas, pela ação da cobertura vegetal e pelo maior teor de matéria orgânica que promove a agregação do solo e estabilidade dos agregados, favorecendo a porosidade.

Em relação aos sistemas de cultivo o solo sob plantio direto registrou para as camadas entre 0 -30 cm valores maiores do que os constatados no solo sob preparo convencional, todavia, esse comportamento se inverteu nas camadas entre 30-60 cm.

Esperava-se valores maiores de porosidade no solo sob cultivo convencional, principalmente, nas camadas mais superficiais, posto que esse sistema de preparo adota a prática do revolvimento visando o aumento da porosidade e permeabilidade. Contudo, a modificação estrutural promovida por essa técnica de manejo é a mais facilmente afetada pelo manejo, pois os agregados grandes, que compõem poros maiores, são destruídos mais facilmente que agregados menores. A transformação do tamanho dos agregados induz um rearranjo das partículas sólidas e uma redução dos espaços porosos do solo. Os efeitos decorrentes disto, embora possam incrementar a água retida nos microporos, frequentemente reduzem drasticamente a percolação de água no perfil, afetando sobremaneira, a disponibilidade de água no solo, a alimentação de níveis freáticos e a susceptibilidade do solo aos processos erosivos. Ademais, sob condições de predomínio da microporosidade as raízes das plantas encontram maior resistência ao seu crescimento.

4.3.3- Argila Dispersa em água

Os dados de argila dispersa em água diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) entre os manejos ($p=0,00$) e camadas analisados (tabela 5). Os menores valores de argila dispersa em água foram obtidos nos solos sob cerrados nativo e plantio direto, salvaguardando a camada de 10-20 cm do segundo. O teor de matéria orgânica e a inexistência de revolvimento do solo justificam os menores teores de argila dispersa em água nos solos sob cerrado nativo e plantio direto. A matéria orgânica influencia diretamente o fenômeno da dispersão-floculação, devido sua ação cimentante (Gomes et al., 1994 apud Prado e Centurion, 2001). O efeito da floculação

da argila pela ação da matéria orgânica, em áreas com vegetação nativa, foi constatado por Carvalho Júnior et al., (1998) e Prado e Centurion (2001).

Tabela 5: Argila dispersa em água g/kg obtidos nas áreas de Cerrado nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade.

Uso da terra	Argila dispersa em água g/kg				
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60
CN	121,6a*	128,3a	151,6a	138,3a	161,6a
FP	184,9b	161,6b	178,3ab	164,9ab	171,6a
PD	174,9b	171,6bc	164,9a	164,9ab	161,6a
PC	181,6b	201,6c	214,9b	211,6b	206,6b

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Considerando o valor encontrado na camada de 0-10 do solo sob cerrado nativo, que diferiu significativamente dos demais valores verificados nessa camada, observou-se uma redução no teor de argila dispersa em água na ordem de 52%, 43% e 49% em relação aos solos sob florestamento de pinus, plantio direto e preparo convencional do solo.

A quantidade de argila dispersa em água observada no solo sob florestamento de pinus aproximou-se dos valores constatados no sistema de cultivo direto, exceto pela camada 0-10, cujo valor é mais próximo ao do observado no solo sob preparo convencional. De acordo com Cunha (2009), os diferentes tipos de raízes do pinus explica a proximidade dos dados de argila dispersa em água entre o reflorestamento e as áreas de cultivo.

As maiores quantidades de argila dispersa em água foram encontradas no solo sob o preparo convencional. As práticas adotadas por esse manejo, intenso revolvimento e a reduzida cobertura vegetal sobre a superfície do solo, promovem à desestabilização dos agregados e a menor proteção do solo contra os agentes erosivos, logo, elevam a dispersão da argila. Na presença de água, a argila que se encontra despreendida dos agregados é eluviada pelo perfil do solo, proporcionando a diminuição do tamanho médio dos poros subsuperficiais que, normalmente, já são menores que aqueles localizados na superfície do solo (região de maior agregação). A eluviação e o conseqüente selamento de parte dos poros subsuperficiais do solo promovem aumento da densidade, diminuição da permeabilidade e da taxa de infiltração, logo, também causa o aumento da suscetibilidade à erosão, que por sua vez, eleva

as perdas de nutrientes e água do sistema de produção, reduzindo a fertilidade do solo e o potencial produtivo da área agrícola.

4.3.4- Estabilidade dos agregados na classe de 2-4 mm

A avaliação da estabilidade dos agregados na classe 2-4 mm também mostrou-se sensível as modificações introduzidas pelos diferentes manejos avaliados. Os dados desse indicador oscilaram entre 95,5% a 26,2%, sendo registrada diferença significativa ($p=0,00$) em nível de 5% de probabilidade entre os manejos e camadas analisados (tabela 6).

Tabela 6: Valores médios estabilidade dos agregados na classe de 2-4mm obtidos nas áreas de Cerrado Nativo (CN), Florestamento de Pinus (FP), Preparo Direto (PD) e Preparo Convencional (PC) no intervalo de 0 a 60 cm de profundidade.

Estabilidade dos agregados 2-4mm					
Uso da terra	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60
CN	94,0 a	88,8 a	82,8 a	76,8 a	75,2 ab
FP	93,8 a	95,5 a	93,2 a	93,7 a	92,4 a
PD	61,3 b	42,5 b	32,0 b	26,2 b	44,0 b
PC	64,2 b	78,5 a	55,7 b	73,7 a	61,3 ab

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Os solos sob cerrado nativo e o florestamento de pinus apresentaram, para todas as camadas valores superiores desse indicador em relação aos sistemas de cultivo. No primeiro manejo observou-se que 94% dos agregados existentes na profundidade de 0-10 cm, possuíam tamanho entre 2-4 mm. Valor semelhante para essa camada foi encontrado no solo sob florestamento de pinus. A porcentagem dos agregados na classe de 2-4mm diminui gradativamente em ambos, contudo o solo sob cerrado nativo apresenta um decréscimo de 19% entre a primeira e a última camada, enquanto, o solo sob florestamento de pinus apresenta uma redução de apenas 1%. Provavelmente, essa diferença em relação à profundidade resulta do efeito dos exudatos das raízes sobre a formação, manutenção e tamanho dos agregados do solo (Campos et al., 1995).

Os valores elevados de agregados na fração 2-4mm verificados nesses manejos relaciona-se com o contínuo fornecimento de material orgânico que favorece a formação e estabilidade de agregados, proporcionando o predomínio de agregados maiores que 2,0 mm (macroagregados). A formação e estabilização de macroagregados são observadas em solos com maior teor de matéria orgânica, uma vez que essa representa um eficiente agente cimentante, pois forma ligações, por meio de cátions polivalentes, de seus polímeros com as superfícies inorgânicas do solo (Tisdall e Oades, 1982 apud Aguiar, 2008).

Allison (1973) apud Mitsui (2006) afirma que o ininterrupto abastecimento de material orgânico serve como fonte de energia para a atividade microbiana, principalmente de bactérias produtoras de exopolissacarídeos nas suas cápsulas protetoras que causam a agregação dos microagregados gerando os macroagregados.

As reduções nas porcentagens de agregados na fração de 2-4 mm observadas nos solos sob sistemas de cultivo em relação aos solos sob cerrado nativo e florestamento de pinus advêm, no tocante ao preparo convencional, do intenso revolvimento do solo que provoca a quebra de agregados, podendo reduzir drasticamente a estabilidade desses. Com o rompimento dos agregados, a matéria orgânica que estava em seu interior é desprotegida, acelerando seu processo de decomposição, diminuindo cada vez mais a resistência destes agregados. Ademais, o cultivo convencional não promove uma boa cobertura da superfície, influenciando negativamente a estabilidade dos agregados, à medida que o solo fica mais exposto ao impacto direto das chuvas.

Diferentemente do esperado e dos resultados obtidos por Castro Filho et al. (1998); Alvarenga e Davide (1999); Beutler et al. (2001); Costa et al. (2003); Silva et al. (2005) que constataram que a utilização de práticas conservacionistas, como plantio direto, aumentaram a estabilidade de agregados, nesse trabalho, esse sistema de cultivo do solo não demonstrou esse efeito. Possivelmente, esse tipo de sistema de cultivo ainda não demonstrou melhoria na estabilidade dos agregados na fração de 2-4 mm devido ao seu pequeno tempo de implantação e a permanência do tráfego de máquinas sobre o solo.

A manutenção de agregados em frações 2-4mm potencializa a capacidade de armazenamento de água, diminui as perdas de partículas e nutrientes por erosão e facilita a proteção física e o acúmulo de matéria orgânica no solo. A perda da estabilidade de agregados do solo afeta indiretamente outras características físicas do solo, como a densidade do solo, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção, a infiltração de água das chuvas, as trocas gasosas entre outros que são fundamentais à capacidade produtiva (Bayer e Mielniczuk, 1999).

4.4- Correlações entre as variáveis

De acordo com Triola (2005) existe uma correlação entre duas variáveis quando uma delas está de alguma forma, relacionada com a outra. O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre os valores -1 e 1. O valor 0 (zero) significa que não há relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 também indica uma relação linear perfeita mas inversa, ou seja quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis. Dancey e Reidy (2005) apud Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009) propuseram uma classificação dos valores dos coeficientes de Pearson, onde dados de r entre 0,10 a 0,30 indicam correlação fraca; r entre 0,40 a 0,6 indicam correlação moderada e r entre 0,70 a 1 indicam correlação forte entre as variáveis.

Os indicadores respiração basal e carbono da biomassa microbiana apresentaram correlações moderada com o teor de matéria orgânica, com as atividades enzimáticas urease e fosfatase ácida e com a capacidade de troca catiônica (tabela 9). A relação entre esses indicadores justifica-se pelo fato de que a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana espelham a atividade metabólica dos microrganismos presentes no solo, responsável pelo controle da decomposição e acúmulo de resíduos; pela ciclagem e reserva de nutrientes e regulação do fluxo de matéria e energia no solo. Ao atuar sob o processo de formação da matéria orgânica, a biomassa microbiana influencia diretamente a capacidade de troca catiônica do solo, uma vez que em regiões tropicais, a CTC total do solo é constituída, principalmente, pela CTC da matéria orgânica. Essa dependência é comprovada pela forte correlação estabelecida entre a matéria orgânica e a CTC do solo.

A respiração basal apresentou correlação inversa moderada com a porosidade, enquanto que o carbono da biomassa microbiana relacionou inversa e fracamente com esse indicador físico. Embora a maioria da microbiota do solo seja aeróbica, uma porosidade muito elevada atua estressando a população microbiana, uma vez que a atividade metabólica dos microrganismos sofrerá aumento e consumirá rapidamente o carbono orgânico disponível no solo, provocando sua redução, que por sua vez promoverá alterações nos ciclos bioquímicos existentes no solo.

As atividades enzimáticas urease e fosfatase ácida correlacionaram-se moderadamente entre si e com os indicadores estabilidade dos agregados e capacidade de troca catiônica. No que diz respeito ao teor de matéria orgânica a atividade enzimática urease apresentou correlação moderada, enquanto a fosfatase ácida demonstrou forte correlação. Esses relacionamentos justificam-se à medida que quanto maior a estabilidade dos agregados, maior a proteção física da matéria orgânica e dos microrganismos responsáveis por sua decomposição, fabricação e liberação das enzimas.

Sobre o indicador matéria orgânica registrou-se uma correlação moderada inversa com o uso do solo. Desse modo, quanto maiores às intervenções promovidas pelo uso, menores os teores de matéria orgânica, logo, as atividades biológicas, físicas e químicas do solo influenciadas por esse indicador serão modificadas. As correlações positivas e inversas registradas corroboram essa afirmação (tabela 9).

O indicador argila dispersa em água demonstrou correlação moderada com o pH e com a variável, uso do solo, evidenciando que quanto mais intensas forem as intervenções sobre o solo maiores serão os teores de argila dispersa, que por sua vez são eluviadas pelo perfil do solo, causando o entupimento dos poros, elevando a densidade e diminuindo a infiltração. Ademais, o teor de argila dispersa em água é um indicativo da perda da estabilidade dos agregados, que por sua vez provoca uma maior exposição dos microrganismos envolvidos e protegidos por esses a seus predadores, logo, ocorrem modificações na biomassa microbiana e nas funções desenvolvidas por essa. As correlações moderada e inversa entre a estabilidade dos agregados, o pH e a densidade, bem como, a forte correlação entre esse último indicador com a porosidade corroboram as afirmações anteriores.

De modo geral, observou-se que as correlações de Pearson calculadas comprovam a interatividade entre os elementos que compõem o solo e entre os processos que ocorrem no mesmo, confirmando o caráter sistêmico desse componente ambiental.

Tabela 9: Valores de correlação entre os indicadores avaliados

	Uso	Resp. Bs	CBM	Urease	Fosf. Ac.	pH	Mat. Org.	CTC	SB	ADA	Dens.	Porosi.	E.A
Uso	1												
Resp. Bs	-,307	1											
CBM	-,327	,984	1										
Urease	-,360	,545	,540	1									
Fosf. Ac.	-,406	,459	,441	,691	1								
pH	,435	,070	,044	-,449	-,240	1							
Mat. Org.	-,519	,613	,596	,629	,739	-,105	1						
CTC	-,498	,627	,607	,469	,647	-,029	,769	1					
SB	,285	,311	,277	-,185	,144	,783	,175	,371	1				
ADA	,681	-,342	-,371	-,418	-,446	,470	-,385	-,391	,230	1			
Dens.	,192	,133	,130	-,369	-,350	,459	-,209	-,290	,322	,239	1		
Poros.	-,074	-,405	-,388	,006	,157	-,188	-,031	,047	-,183	-,084	-,710	1	
E.A	,009	,092	,097	,570	,563	-,471	,319	,295	-,118	-,127	-,531	,319	1

Sendo: Respiração basal (Resp.Bs); Carbono da biomassa microbiana (CBM); Fosfatase ácida (Fosf. Ac); Matéria orgânica (Mat. Org.); Capacidade de troca catiônica (CTC); Soma de bases (SB), Argila dispersa em água (ADA); Densidade (Dens.); Porosidade (Poros.); Estabilidade dos agregados (E.A).

4.5- Modelo de Qualidade do solo

4.5.1- Índice de qualidade do solo sob florestamento de pinus

O índice de qualidade avaliado para o solo sob florestamento de pinus foi de 0,84, (anexo 1) evidenciando que este tipo de uso impacta negativamente o solo (gráfico 9).

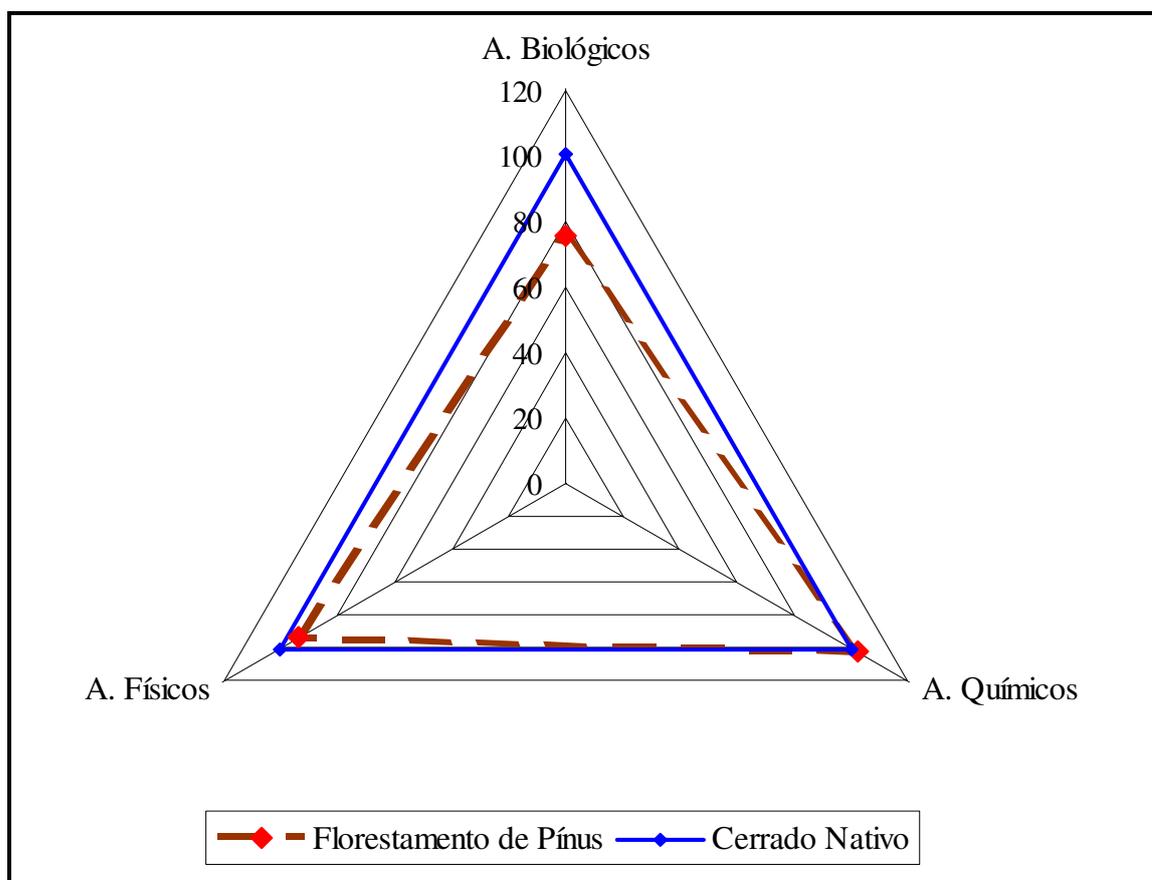


Gráfico 9: Diagrama comparativo da qualidade do solo da área sob florestamento de pinus, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao cerrado nativo.

Na avaliação de sustentabilidade para o solo sob florestamento de pinus (FP), foi possível observar que os atributos físicos e químicos foram pouco modificados (gráfico 9), registrando uma redução de 7% do primeiro e uma pequena melhora de 2% do segundo em relação ao cerrado nativo. O indicador argila dispersa em água apresentou a maior redução dentre os atributos físicos, sendo o principal responsável pela modificação negativa desses atributos em contraste com a área nativa. Inversamente, a densidade e a porosidade

contribuíram positivamente na composição do valor da aresta dos atributos físicos, minimizando os efeitos redutores dos outros indicadores. As melhores condições de densidade e porosidade beneficiam as trocas de gasosas que ocorrem no solo e desse com a atmosfera, a manutenção da temperatura, o crescimento das raízes e a infiltração da água.

O pequeno acréscimo verificado nos atributos químicos relaciona-se a maior soma de bases constatada no florestamento de pinus. Esse indicador apresentou em relação à área nativa um aumento de 40%, influenciando as funções do solo ligadas ao crescimento das raízes e fornecimento de nutrientes aos organismos. As reduções nos indicadores matéria orgânica e capacidade de troca catiônica foram semelhantes aproximadamente 12%, comprovando a correlação entre eles.

No que se refere aos atributos biológicos verificou-se um decréscimo de 25% em comparação ao cerrado nativo, dentre os indicadores avaliados o carbono da biomassa microbiana e a respiração basal registraram maior sensibilidade às alterações impostas por esse manejo. Apesar de possuir uma boa cobertura vegetal que proporciona uma proteção contra o processo erosivo, a homogeneidade vegetal característica do reflorestamento de pinus reduz a variedade de tecidos de exsudatos radiculares, e conseqüentemente, diminui a atividade e a diversidade da biota do solo. A ação de substâncias inibidoras da decomposição, contidas nas acículas do pinus e a alta relação carbono-nitrogênio explicam, do mesmo modo, a redução dos parâmetros biológicos (Araújo, 2004).

As modificações impostas à biomassa microbiana do solo alteram a decomposição da matéria orgânica, a liberação de nutrientes em formas disponíveis às plantas, a degradação de substâncias tóxicas, o controle biológico de patógenos, e a solubilização de minerais. Por conseguinte, isso pode promover alterações nos atributos químicos e físicos do solo (Azevedo, 1998). Desse modo, a biomassa microbiana do solo torna-se um componente crítico de todos os ecossistemas naturais ou manipulados pelo homem. As reduções nos valores das atividades enzimáticas urease e fosfatase ácida, em cerca de 16% e 4%, respectivamente, em relação à área de referência indicam a dependência do florestamento de pinus em relação à ciclagem do fósforo e nitrogênio orgânico promovida pelos microrganismos.

Comparando o índice de qualidade do solo calculado sob florestamento de pinus (0,84) à área de referência observa-se uma diminuição de 16%. Os dados constatados nesse trabalho diferiram dos obtidos por Araújo (2004). Esse autor ao avaliar a qualidade de um LATOSSOLO Vermelho-Amarelo sob florestamento de pinus, referente à profundidade de 0,5 cm, registrou um índice de qualidade do solo para esse manejo de 0,51, sendo observada

uma melhora de 25% dos atributos físicos e uma redução de 58% e 22%, respectivamente, para os atributos biológicos e químicos em relação a área de referência.

É importante salientar que o índice de qualidade do solo calculado para esse manejo reflete a ausência de intervenções como o revolvimento, adubações e retirada da vegetação desde 1970, quando foi implantado. Desse modo, espera-se que em florestamentos de pinus destinados a comercialização o índice de qualidade do solo seja menor, refletindo as alterações do manejo e suas conseqüentes perturbações nos indicadores físicos, químicos e biológicos.

4.5.2- Índice de qualidade do solo sob plantio direto

O índice de qualidade avaliado para o solo sob preparo direto do solo foi de 0,75 (gráfico 10) (anexo 2).

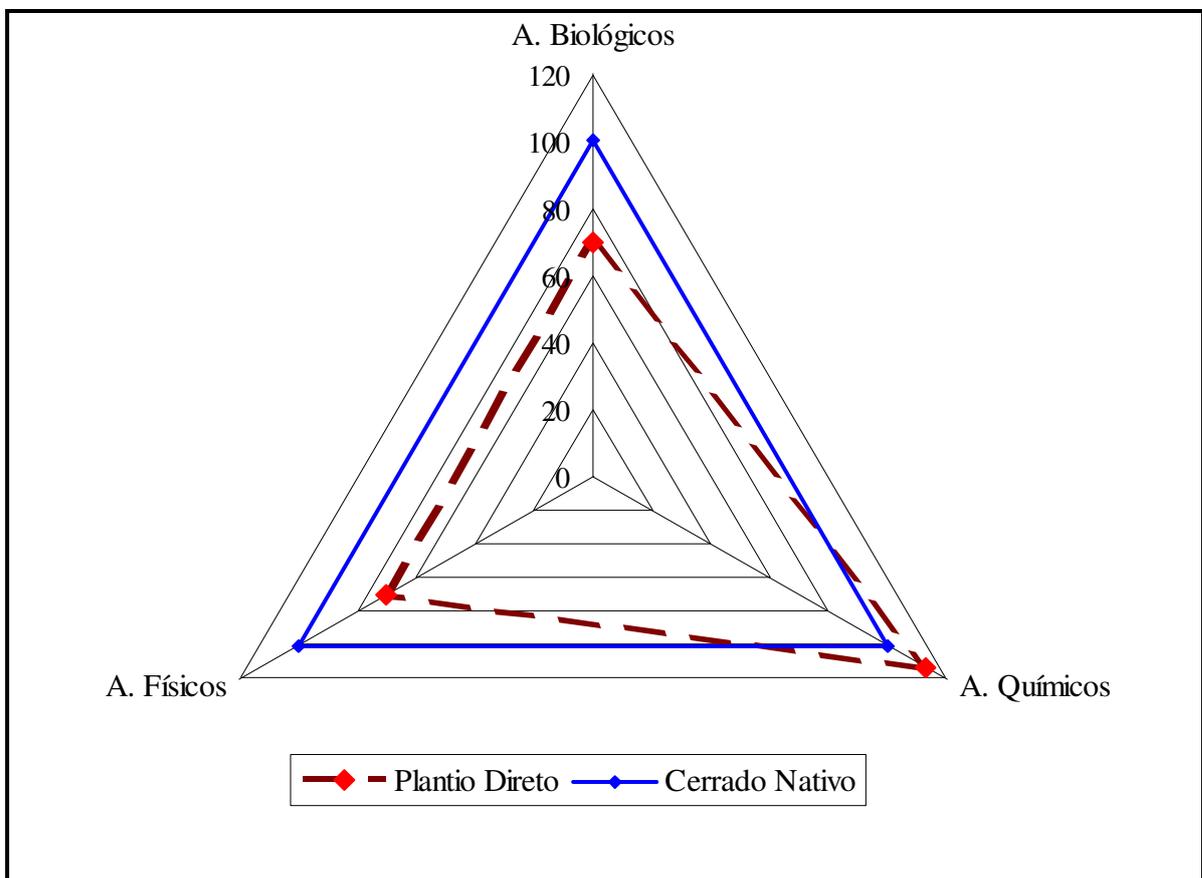


Gráfico 10: Diagrama comparativo da qualidade do solo da área sob plantio direto do solo, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao cerrado nativo.

O diagrama para o solo sob plantio direto do solo acompanha a tendência observada no diagrama da qualidade do solo sob florestamento de pinus. Constatou-se, no que se refere aos parâmetros físicos, uma redução em relação à área nativa, da ordem de 30%, sendo os indicadores argila dispersa em água e densidade os que mais contribuíram para o decréscimo desses atributos.

Os altos valores desses indicadores demonstram que o sistema plantio direto, em seus 13 anos de implantação, ainda não se estabeleceu adequadamente e, também, não foi capaz de eliminar os efeitos de 25 anos de cultivo convencional anterior. Contudo, embora os maiores valores de densidade e o baixo volume de macroporos sejam características que poderiam limitar a infiltração e ciclagem da água, as trocas gasosas e o crescimento das raízes das plantas sob plantio direto, outras como, a inexistência de revolvimento, a maior estabilidade dos agregados e os efeitos da cobertura morta que age reduzindo ou eliminando o processo de selamento e o escoamento superficial, confluem para minimização dos efeitos negativos relacionados com esses indicadores no sistema de cultivo direto em relação ao preparo convencional.

Quanto aos atributos biológicos, verificaram-se alterações negativas na ordem de 30%. As atividades enzimáticas urease e fosfatase ácida foram os indicadores que evidenciaram as maiores perdas em relação ao cerrado nativo. Todavia, os efeitos negativos dessas atividades enzimáticas devem ser interpretados com prudência, pois podem dissimular a realidade, à medida que o melhor estado nutricional do plantio direto, adquirido através da incorporação de adubos nitrogenados e fosfatados dentre outros, diminuiu a dependência desse sistema com relação à ciclagem do fósforo e nitrogênio orgânico pela atividade da fosfatase ácida e urease, resultando em menores níveis de atividades dessas enzimas, em virtude da inibição dos microrganismos pelos nutrientes adicionados (Dick, 1994; Matsuoka et al., 2003).

Os indicadores respiração basal e biomassa microbiana foram os que apresentaram os menores desvios em relação ao cerrado nativo, em decorrência do acúmulo de matéria orgânica proporcionado no plantio direto, indicador com o qual estão correlacionados diretamente.

O aumento de 13% no valor dos parâmetros químicos ocorreu em virtude do indicador soma de bases, uma vez que esse, foi alterado com a incorporação de adubos e com o processo de calagem adotados nesse manejo. Os desvios negativos constatados nos indicadores pH, matéria orgânica e capacidade de troca catiônica foram semelhantes, respectivamente, de 16%, 16% e 8% em relação ao cerrado nativo. Essa similaridade na redução desses indicadores evidencia os efeitos da matéria orgânica sobre o pH e a CTC.

Embora, a qualidade química do solo registrada sob plantio direto tenha sido mais elevada do que as registradas sob o cerrado nativo e os demais manejos estudados, o índice de qualidade do solo calculado para esse sistema (0,75) evidenciou uma redução de 25% em comparação ao solo da área de referência e de 11% em relação ao solo sob florestamento de pinus.

4.5.3- Índice de qualidade do solo sob preparo convencional

Em relação à área de referência constatou-se sob o preparo convencional uma redução da ordem de 31% para os atributos físicos, 26% para os atributos biológicos e 6% para os atributos químicos (gráfico 11) (anexo 3).

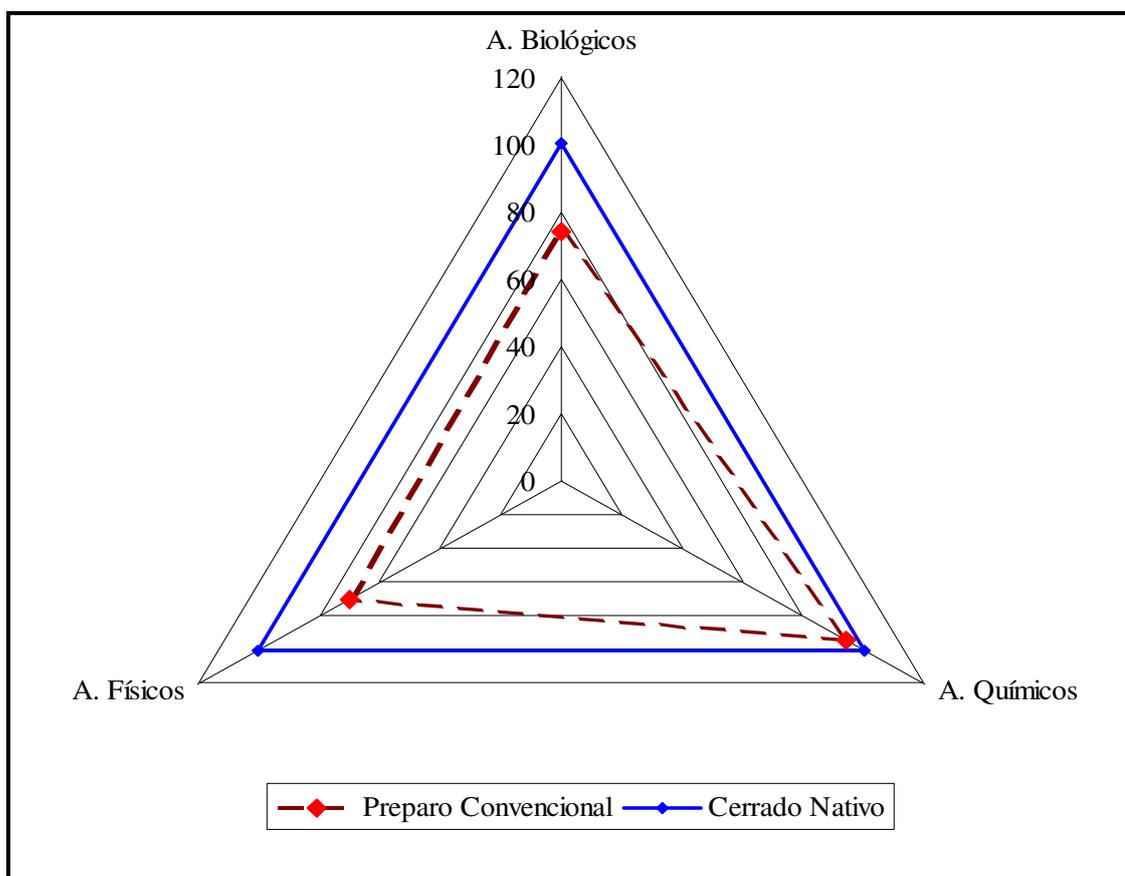


Gráfico 11: Diagrama comparativo da qualidade do solo da área sob preparo convencional do solo, distribuída em atributos físicos, químicos e biológicos em relação ao cerrado nativo.

Dentre os atributos físicos a argila dispersa em água, a estabilidade dos agregados e a densidade demonstraram os maiores desvios em relação à área de referência, respectivamente, 48%, 32% e 28%. Como dito anteriormente, o desequilíbrio verificado nesses indicadores é resultante do intenso revolvimento da camada superficial e da exposição da superfície do solo à ação dos agentes erosivos. Para o contexto de conservação da água e do solo, os atributos físicos são os que mais exercem influência nos processos de degradação, pois eles se relacionam ao arranjo das partículas sólidas e dos poros.

Os indicadores matéria orgânica e capacidade de troca catiônica demonstraram as maiores reduções dentre os atributos químicos, sendo os principais responsáveis pela modificação negativa do somatório desses atributos em contraste com a área nativa. A perda de matéria orgânica promovida pelo preparo convencional relaciona-se diretamente com as reduções constatadas na qualidade dos indicadores físicos. Inversamente, a soma de base calculada sob o preparo convencional foi 36% superior ao cerrado nativo, contribuindo positivamente na composição do valor da aresta dos atributos químicos e minimizando os efeitos redutores dos outros indicadores. As melhores condições nutricionais beneficiam o crescimento das plantas e a atividade biológica, que por sua vez influencia várias propriedades do solo.

Semelhantemente ao observado no plantio direto do solo as atividades enzimáticas urease e fosfatase ácida foram os indicadores biológicos que evidenciaram as maiores perdas em relação ao cerrado nativo. Esperavam-se decréscimos nos valores desses indicadores, uma vez que o teor de matéria orgânica foi reduzido em 28% em relação ao cerrado nativo. Reafirma-se que esses dados devem ser interpretados com cautela, devido ao efeito inibitório dos nutrientes adicionadas sobre essas atividades enzimáticas.

Dentre os manejos estudados o solo sob preparo convencional obteve o menor índice de qualidade do solo (0,64), registrando uma redução de 36%, 25% e 15%, respectivamente, em relação aos solos sob cerrado nativo, florestamento de pinus e plantio direto. Apesar da diferença entre os índices calculados para os solos sob preparo convencional e plantio direto ser relativamente pequena, apenas 15%, essa diferença tende a aumentar, à medida que os efeitos benéficos do plantio direto e os degradantes do cultivo convencional se intensificam.

5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos por esse trabalho indicaram o modelo para obtenção de índice de qualidade do solo baseado nos pressupostos de Islam e Weil (2000) comportou-se como uma ferramenta efetiva para avaliar o efeito global de diferentes técnicas de preparo do solo sobre a sua qualidade, sendo, portanto, um instrumento no processo de avaliação ambiental e sob o qual pode-se criar políticas governamentais voltadas para o uso sustentável do solo.

Dentre os sistemas analisados o florestamento de pinus foi o que apresentou o menor desvio em relação ao cerrado nativo, resultado de uma pequena modificação nos atributos físicos e químicos. Sob esse manejo os indicadores biológicos, especialmente a biomassa microbiana e a respiração basal, foram mais sensíveis às alterações sofridas pelo ambiente. A redução na qualidade do solo sob florestamento de pinus evidencia que a substituição do cerrado natural por outro manejo, mesmo que esse não sofra revolvimento e nem adições de adubos constantes, compromete as funções desempenhadas pelo solo e o equilíbrio ambiental.

Em relação aos sistemas de cultivo o plantio direto do solo obteve um índice de qualidade do solo maior do que o calculado para o preparo convencional em decorrência da manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e seus consequentes efeitos positivos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos aliado ao seu não-revolvimento.

O cultivo convencional registrou o menor índice de qualidade do solo dentre os manejos analisados, em decorrência da adoção de práticas que interferem negativamente nos atributos físicos e biológicos do solo, e que consequentemente levam a degradação desse recurso natural.

A degradação do solo é um dos maiores desafios da humanidade, pois afeta a capacidade produtiva do ecossistema e promove modificações no clima do planeta através de alterações nos ciclos hidrológico, do carbono, do nitrogênio, do enxofre e outros elementos. Por meio do impacto na produtividade agrícola e no meio ambiente, a degradação do solo provoca instabilidade política e social, aumenta a taxa de desmatamento, intensifica o uso de terras marginais e frágeis, acentua a erosão do solo, aumenta a poluição de cursos de água, e a emissão de gases que provocam o efeito estufa.

Ademais, a recuperação da qualidade dos solos submetidos ao preparo convencional demanda tempo e investimentos. A pequena diferença entre os índices de qualidade obtidos nos solos sob preparo convencional e plantio direto corrobora essa afirmação, uma vez que esse segundo sistema de preparo foi implantado em 1995 em substituição ao plantio convencional praticado na área desde 1970.

Mesmo que o cotejo entre o plantio direto e o convencional tenha revelado apenas uma diminuição de 15% do índice de qualidade do solo sob o segundo em relação ao primeiro, o sistema de plantio direto é o que apresenta maior compatibilidade com conceito de agricultura sustentável, ou seja, é aquele cujo manejo se aproxima do modelo de agricultura que procura estabelecer, permanentemente, uma produtividade crescente ou estável, de tal forma que venha a conservar e restabelecer um meio ambiente ecológico equilibrado.

Constata-se, portanto, a importância do solo como base para a sustentação da biodiversidade, da produção de alimentos e de fibras e a necessidade de sua conservação visando à proteção dos recursos naturais e a manutenção de sua capacidade de produzir para garantir a segurança alimentar da humanidade.

Diante do exposto, recomenda-se a disseminação e o fortalecimento das práticas agrícolas focadas no desenvolvimento sustentável tais como os sistemas agroflorestais que associam, numa mesma área, árvores e arbustos com cultivos agrícolas e/ou com animais, de maneira simultânea ou escalonada no tempo; sistemas consórcio onde realiza-se o cultivo simultâneo de duas ou mais lavouras no mesmo terreno; rotação de cultura; adubação verde, cultivo mínimo, plantio direto; controle biológico de pragas entre outras.

Faz-se necessário a criação de políticas agrícolas que conscientizem tanto o pequeno quanto o grande produtor das vantagens dos sistemas agroecológicos sob o preparo convencional, enfocando que a adoção das práticas de cultivo do primeiro promove a redução dos impactos do uso de agroquímicos, da energia e dos recursos naturais e possibilita a conservação das condições ambientais em respeito à capacidade produtiva do solo, da água e a biodiversidade. Ao optar por práticas agrícolas sustentáveis o produtor garante a conservação da qualidade do solo, que por sua vez favorecerão não somente o aumento da produtividade das culturas, como também contribuirá para manter o equilíbrio ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Viçosa: UFV, 2008. Dissertação de Mestrado.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistema de preparo de plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 29, p. 415-424, 2005.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115-119, jan./abr. 1995.

ALMEIDA, J. A. A.; BERTIL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 437-445, 2005.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 933-942, 1999.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P.; PEREIRA FILHO, I. A. Estabilidade dos agregados de um Latossolo vermelho típico submetido a diferentes usos e manejos. sine loco [S. 1.], SD.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; PACHECO, E. B. Preparo do solo. Informe Agropecuário, v. 13, n. 147, p. 40-45, março, 1987.

ALVAREZ V., V.H.; MELLO, J.W.V.; DIAS, L.E. **Acidez e calagem do solo**. Brasília: ABEAS/UFV, 1994. 68 p (Curso de Fertilidade e Manejo do Solo - Módulo IV).

ALVES, M.C, **Sistema de rotação de culturas com plantio direto em latossolo roxo: efeitos nas propriedades físicas e químicas.** Piracicaba: ESALQ, 1992, 173p,

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:679-686, 1999.

AMARAL, G. e KAWASHITA, K. Determinação da idade do Grupo Bambuí pelo método Rb/Sr. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 21, 1967, Curitiba. *Anais...*Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1967, p. 214-217.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, July./Sept. 2007

ARAÚJO, E.A. **Qualidade do solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Amazônia Ocidental.** Viçosa: UFV, 2008. Tese de doutorado.

ARAÚJO, R. **Avaliação da qualidade do solo em áreas sob diferentes usos.** Brasília: UNB, 2004. Dissertação de Mestrado.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 337-345, 2004.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. Cap. 7, p. 123-141.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 515-522, jul./ago. 2005.

AZEVEDO, J.L. Biodiversidade Microbiana e Potencial Biotecnológico. In: MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L.(ed.). **Ecologia Microbiana.** EMBRAPA CNPMA, Jaguariúna. 1998.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9.ed. Editora Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2003. p.224-254.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A; ANDRADE, D.S e HUNGRIA, M. Biomassa e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 22: 641-649, 1998.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p. 715-724, 2005.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 1-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.599-607, 2000.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M.L.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C. Agregação de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.129-136, 2001.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, jul./set. 2001.

BERTOL, I.; MAFRA, A. L. e COGO, N. P. Conservação do solo em pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C. e FARIA, V. P. (eds.). **As Pastagens e o Meio Ambiente**. Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.139-163.

BERTONI, J.; LOMBARDI, F. N. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1999, 355 p.

BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em latossolos sob sistemas com pastagens na região do cerrado brasileiro**. UFRGS: Porto Alegre, 2007. Tese de Doutorado.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos 1989.

CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997.

CAMPOS, B. C; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.383-391, 1999.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARNEIRO, M.A.C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 4, p. 276-283, out./dez. 2008.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2005. Dissertação de mestrado.

CARVALHO, R. **Níveis de cobertura vegetal e qualidade do solo sob pastagem em áreas de cerrado**. Brasília: UNB, 2007. Dissertação de Mestrado.

CARVALHO JR., I.A.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.F. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.22, p.505-514, 1998.

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

CASTRO-FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.527-538, 1998.

CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M. e BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 23, n. 4, pp. 997-1003, 1999.

CHAER, M. G. **Modelo para a determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**, Viçosa: UFV, 2001. Dissertação de mestrado.

CIOTTA, M. N.; Bayer, C.; Fontoura, S. M. V.; Ernani, P. R.; Albuquerque, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Cienc. Rural**. 2003, vol.33, n.6, pp. 1161-1164

COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, cap 3, p.93-148.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.743-753, 2003.

COLOZZI FILHO, A. e ANDRADE, D.S. O impacto dos sistemas de cultivo sobre a biota do solo. In: **XXVIII Congresso Brasileiro de Ciências Do Solo**, Londrina. Anais..., Londrina, SBCS, 2001, p. 55.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C. **Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, Março, 2006. Tese de doutoramento.

CORRÊA, L.A.; CRUZ, J.C. Plantio direto. **Informe agropecuário**, v.13, n.147, p.46-52, 1987.

COSTA, J. B. da. **Caracterização e constituição do solo**. 7. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

CPRM. Projeto vida. **Região de Sete Lagoas-Lagoa Santa: informações básicas para a gestão territorial. Mapeamento geológico da cidade de Sete Lagoas – MG com vistas à aplicação no planejamento urbano**. Belo Horizonte: Vol.4, 1994a.

CPRM. Projeto vida. **Região de Sete Lagoas-Lagoa Santa: informações básicas para a gestão territorial. Caracterização geomorfológica**. Belo Horizonte: Vol.1, 1994b.

CPRM. Projeto vida. **Região de Sete Lagoas-Lagoa Santa: informações básicas para a gestão territorial. Uso da terra e caracterização da cobertura vegetal do Município de Sete Lagoas**. Belo Horizonte: v.5, 1994c.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO; I. A.; ALVARENGA; R. C. SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe agropecuário**, v.22, n.208, p.13-24, jan./fev., 2001.

CUNHA, R. S. S. **Modificações das características físicas e químicas do solo sob diferentes usos e manejos - Embrapa - Sete Lagoas/MG**. Belo Horizonte: UFMG, 2009. Dissertação de mestrado.

CURI, N. (coord.). **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1047-1054, 2002.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008, cap.17, p.263-273.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U, **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista**, Eschborn: GTZ, 1991.

DICK, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America, Spec Pub n° 35, Madison, p. 107–12, 1994.

DINIZ, L.T. **Efeito da adubação nitrogenada, via fertirrigação, no nitrogênio da biomassa microbiana do solo e na qualidade de grãos de cevada**. UNB, Brasília, 2007. Dissertação de mestrado.

DORAN, J. W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America, Spec Pub n° 35, Madison, p.3-21, 1994.

DORAN, J.W. Soil Quality and Sustainability. In: Comissão do “V Inventory, Genesis, Morphology and Classification of Soils” no XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, RJ. 1997.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de solos.** Embrapa – CNPS, Rio de Janeiro, RJ, 2a edição, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes.** SILVA, F. C. da coord. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** - Brasília: EMBRAPA – Produção de Informação. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006.

FACCI, L. D. **Variáveis Microbiológicas Como Indicadoras da Qualidade do Solo Sob Diferentes Usos.** Instituto Agronômico, Campinas, 2008. Dissertação de Mestrado.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson. **Revista Política Hoje**, Vol.18, n.1, p.115-146, 2009.

FRANÇA, L.V. **Efeitos da fertirrigação nitrogenada no carbono da biomassa microbiana do solo e nos componentes de produção de genótipos de cevada.** Brasília: UNB, 2007. Dissertação de Mestrado.

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A. C. S.; STROHHAecker, L.; HELMICH, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, 2000.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; MONTEIRO, M.T. **Metodologias de determinação da biomassa e atividade microbiana.** Apostila do programa de Pós-graduação em produção vegetal do Centro de ciências e tecnologias agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2004.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008, cap.11, p.159-168.

GOEDERT, W. J. – Qualidade do Solo em Sistemas de Produção Agrícola –**XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2005;

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

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.145-154, 1999.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação, 1994.

INSTITUTO DE GEOCIENCIAS APLICADAS – IGA; BOAVENTURA, R. S.; BOAVENTURA, F. M. C.; MOREIRA, C. V. R. **Mapa geomorfológico de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: IGA, 1977. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE GEOCIENCIAS APLICADAS - IGA; COSTA, M. T.; ROMANO, A.W. **Mapa geológico do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IGA, 1976. Escala 1:1.000.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE; INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Mapa de vegetação do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. Escala 1:5.000.000.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agric. Ecosys. Environ.**, 79:9-16, 2000.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short term assay of soil urease activity using colorimetric determination ammonium. **Biol. Fertil**, c:68-72, 1989.

KARLEN, D. L.; SCOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America, 1994, Spec Pub n° 35, Madison, p.53-72.

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

LAL, R.L. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Tradução e adaptação de MEDUNGO, CC e DYNIA, J.F. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente 1999.

LANNA, A. C. Prospecção do impacto ambiental de tecnologias agropecuárias. **Revista Anhangüera**, v.6, n.1, jan./dez. p.35-56, 2005

LARSON, W. E.; PIERCE, F.J. The Dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison; Soil Science Society of America, 1994, cap.3, p.37-52.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, set./out. 2003.

LEPSCH, I. F. **Solos – Formação e conservação**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1977, 160p.

LEPSCH, I. F. (org.). **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LISBOA, B. B. Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009, dissertação de mestrado.

MAFRA, N.M.C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A.J.T. (ed). **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. Cap.9, p.301-320.

MARTINS, S. G.; SILVA-NAVES, M.L.; CURI, N.; FERREIRA-MARTINS, M. Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais: **Cerne**, 2002, vol. 8, n. 001

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.425-433, 2003.

MELO, V.F.; SILVA, J.R.C. Propriedades físicas de um Latossolo Amarelo álico, em áreas sob cultivo e vegetação natural de Cerrado. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 25, Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1890-1892.

MELO, W. J. Enzimas no solo. In: MONIZ, A.C. (ed). **A responsabilidade social da Ciência do Solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1988. p. 365-378.

MENDES, I.C.; CARNEIRO, R.G.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L. & VARGAS, M.A.T. **Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional**. Planaltina, EMBRAPA Cerrados, 1999. 5p.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B. **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.435-443, 2003.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO T.; FERNANDES, F.F. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.V.H.A. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2003, v.3. p.209-248.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008, cap.1, p.1-5.

MITSUIKI, C. **Efeito de sistemas de preparo de solo e do uso de microrganismos eficazes nas propriedades físicas do solo, produtividade e qualidade de batata**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006. Dissertação (Mestrado).

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras : UFLA, 2002. 626 p.:

MORRIS, M. M. **Avaliação da qualidade do solo em sistema orgânico de cultivo**. Brasília: UNB, 2007. Dissertação de mestrado.

NOGUEIRA, M. **Sete Lagoas: A dinâmica funcional de um lugar na rede urbana de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003. Tese de doutoramento.

NUNES, L. A. P. L. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG**. Viçosa : UFV, 2003. Tese de doutorado.

OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. agropec. bras.**, vol.38, n.2, pp. 291-299, 2003.

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

OLIVEIRA, J. **O impacto de sistemas integrados de lavouras e pastagens na biomassa-c e na atividade biológica de um Latossolo vermelho escuro de Cerrado**. Brasília: UNB, 2000. Dissertação de mestrado.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. C. **Impacto de uso e manejo em frações da matéria orgânica de latossolos da Bacia do Rio das Mortes - MG**. Lavras: UFLA, 2007. Tese de doutorado.

OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; REGAZZI, A.J.; FIGUEIREDO, M.S. Efeito de ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.509-515, 1996.

PAVAN JÚNIOR, A. **Sistema plantio direto: avaliação de semeadora em função do manejo da palhada e velocidade de trabalho na cultura da soja**. Jaboticabal: Unesp, 2006. Dissertação de Mestrado

PEREIRA, L. C.; SILVEIRA, M. A.; LOMBARDI NETO, F. **Agroecologia e aptidão agrícola das terras: as bases científicas para uma agricultura sustentável**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 39(6): 567-573; 2004.

PIGNATARO NETTO, I.T. **Qualidade física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso**. Brasília: UNB, 2008.

PILLON, C. N. **Manejo da matéria orgânica em agroecossistemas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol.36, n.1, p. 197-203, 2001.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.

RANGEL, O. J. P. **Estoque e frações da matéria orgânica e suas Relações com o histórico de uso e manejo de latossolos**. Lavras: UFLA, 2006. Tese de doutorado.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-48, jul./dez. 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M; SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade física do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

RESENDE, M; CURTI, N.; REZENDE, S. B; CORREA, G. F. **Pedologia Base para distinção de ambientes**. 4. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2002.

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

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. Indicadores de qualidade do solo. In: Congresso Brasileiro de ciência do solo, 28, Brasília, 1999. **Resumos Expandidos ... Rio de Janeiro: SBCS**, 1999. CD-ROM

SANTOS, J. D. **Alterações das propriedades físicas e químicas do solo em função de diferentes sistemas agrícolas – São José da Lapa/ MG**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. Dissertação de mestrado.

SCHMITZ, J.A.K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Tese de doutoramento.

SILVA, D. C. **Qualidade do solo em sistemas agroflorestais no município de Prado/Bahia**. Lavras: UFLA, 2006.

SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99)

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.313-319, 1997.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiana. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 541-547, 1994.

SILVA, L. G. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade dos solos de cerrado sob diferentes agroecossistemas**. Brasília: UNB, 2008. Dissertação de Mestrado.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, M.M. atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob Sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago. 2005.

SILVEIRA, A. O. **Atividades enzimáticas como indicadores biológicos da Qualidade de solos agrícolas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. Dissertação de Mestrado.

SIMÕES, P. M. **A alteração do Uso do Solo no Município de Ibirité e consequências Associadas**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. Dissertação de Mestrado.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Biologia e bioquímica do solo**. Lavras, MG: UFLA, 2002.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009

SOUZA, C.G. Solos – Potencialidade agrícola. In: CALDEIRON, S.S. (Coord.). **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1993. p. 47–58.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p.133-139, jan./fev. 2003.

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M. e MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.21, p.271-278, 1997.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:1028-1031, 2004.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, 2: 195-276, 2002.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. Tradução de Vera Regina Lima de Farias e Flores. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

TURCO, R.F.; KENNEDY, A.C.; JAWSON, M.D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. e STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.73-90.(Special Publication, 35).

USDA- NRCS (United States Department of Agriculture). **Soil Quality Information Sheet. Soil Quality – Introduction, 2001a.** Acesso em Abril, 2009. Disponível em:http://soils.usda.gov/assessment/files1/sq_assessment_cp.pdf

USDA- NRCS (United States Department of Agriculture). **Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning.** January, 2001b. Acesso em Abril, 2009. Disponível em: http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/sq_assessment_cp.pdf

USDA- NRCS (United States Department of Agriculture). **Soil Quality Physical Indicators: Selecting Dynamic Soil Properties to Assess Soil Function.** Agronomy Technical Note N 1, September 2008.

VASCONCELLOS, C.A.; FIGUEIREDO, A.P.H.D.; FRANÇA, G.E.; COELHO, A. M; BRESSAN, W. Manejo do Solo e a Atividade Microbiana em Latossolo-Vermelho Escuro da Região de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.194-208, 1998

VICTORIA, R.L.; PICCOLO, M.C.; VARGAS, A.A.T.O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C. **Microbiologia do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Cap. 8, p.105-121, 1992.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do planalto – RS.** Santa Maria: UFSM, 2008. Dissertação de Mestrado.

ZANATTA, J. A. **Estoque e labilidade do carbono em frações da matéria orgânica de um Argissolo afetados por sistemas de manejo de solo.** Porto Alegre: UFRGS, 2006. Dissertação de Mestrado.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Manual de métodos empregados em estudos de Microbiologia.** Brasília: Embrapa – CNPAF, p. 419-436, 1994.

ANEXO

1- Cálculo dos indicadores biológicos, químicos e físicos no solo sob Preparo Florestamento de Pinus.

	a	Sr cerr	Sy FP	(Sr -Sy)	a. (Sr-Sy)	a.(Sr-Sy)/Sr	b	(Sr-Sy).b	Iz
resp.bs	25	9,87	6,01	3,86	96,60	9,79	-1,00	-9,79	15,21
bio.mic	25	399,09	242,99	156,10	3902,55	9,78	-1,00	-9,78	15,22
urease	25	198,10	163,29	34,81	870,33	4,39	-1,00	-4,39	20,61
fosfat.	25	1545,97	1507,01	38,96	973,96	0,63	-1,00	-0,63	24,37
									75,41

pH	25	4,93	5,30	-0,37	-9,17	-1,86	**	-2,07	22,93
Mat. Org	25	4,52	4,02	0,50	12,58	2,78	-1,00	-2,78	22,22
CTC	25	13,11	11,65	1,46	36,59	2,79	-1,00	-2,79	22,21
SB	25	3,07	4,28	-1,20	-30,12	-9,81	-1,00	9,81	34,81
									102,16

ADA	25	12,16	18,49	-6,33	-158,33	-13,02	1,00	-13,02	11,98
Dens.	25	0,92	0,80	0,11	2,83	3,09	1,00	3,09	28,09
Poros	25	55,79	63,06	-7,27	-181,83	-3,26	-1,00	3,26	28,26
Est.agreg	25	94,00	93,83	0,17	4,17	0,04	-1,00	-0,04	24,96
									93,28

2- Cálculo dos indicadores biológicos, químicos e físicos no solo sob Plantio Direto.

	a	Sr cerr	Sy PD	(Sr -Sy)	a. (Sr-Sy)	a.(Sr-Sy)/Sr	b	(Sr-Sy).b	Iz
resp.bs	25	9,87	8,18	1,69	42,32	4,29	-1,00	-4,29	20,71
bio.mic	25	399,09	330,69	68,40	1709,92	4,28	-1,00	-4,28	20,72
urease	25	198,10	83,37	114,73	2868,28	14,48	-1,00	-14,48	10,52
fosfat.	25	1545,97	1103,88	442,09	11052,33	7,15	-1,00	-7,15	17,85
									69,80

pH	25	4,93	5,43	-0,50	-12,50	-2,53	**	-3,97	21,03
Mat. Org	25	4,52	3,80	0,72	18,00	3,98	-1,00	-3,98	21,02
CTC	25	13,11	12,06	1,05	26,34	2,01	-1,00	-2,01	22,99
SB	25	3,07	5,91	-2,84	-70,95	-23,10	-1,00	23,10	48,10
									113,15

ADA	25	12,16	17,49	-5,33	-133,33	-10,96	1,00	-10,96	14,04
Dens.	25	0,92	1,26	-0,34	-8,50	-9,27	1,00	-9,27	15,73
Poros	25	55,79	53,70	2,09	52,25	0,94	-1,00	-0,94	24,06
Est.agreg	25	94	61,30	32,70	817,50	8,70	-1,00	-8,70	16,30
									70,13

3- Cálculo dos indicadores biológicos, químicos e físicos no solo sob Preparo convencional.

	a	Sr cerr	Sy PC	(Sr -Sy)	a. (Sr-Sy)	a.(Sr-Sy)/Sr	b	(Sr-Sy).b	Iz
resp.bs	25	9,87	8,11	1,76	44,10	4,47	-1,00	-4,47	20,53
bio.mic	25	399,09	327,83	71,26	1781,55	4,46	-1,00	-4,46	20,54
urease	25	198,10	122,39	75,71	1892,79	9,55	-1,00	-9,55	15,45
fosfat.	25	1545,97	1080,16	465,81	11645,18	7,53	-1,00	-7,53	17,47
									73,98

pH	25	4,93	5,23	-0,30	-7,50	-1,52	**	-1,52	23,48
Mat. Org	25	4,52	3,28	1,24	31,08	6,87	-1,00	-6,87	18,13
CTC	25	13,11	9,51	3,60	90,05	6,87	-1,00	-6,87	18,13
SB	25	3,07	4,19	-1,12	-28,08	-9,14	-1,00	9,14	34,14
									93,88

ADA	25	12,16	18,16	-6,00	-150,00	-12,34	1,00	-12,34	12,66
Dens.	25	0,92	1,19	-0,27	-6,83	-7,45	1,00	-7,45	17,55
Poros	25	55,79	48,59	7,20	179,92	3,22	-1,00	-3,22	21,78
Est.agreg	25	94,00	64,23	29,77	744,17	7,92	-1,00	-7,92	17,08
									69,07

4- Índice de qualidade do solo para a profundidade de 0-10 cm em função dos diferentes usos.

Tipo de uso	IQS
Cerrado nativo	1,00
Florestamento de pinus	0,84
Plantio direto	0,75
Preparo convencional	0,64