

**QUALIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA
REGIÃO CAMPOS DAS VERTENTES, BACIA
ALTO DO RIO GRANDE-MG**

RUBENS RIBEIRO DA SILVA

2001

RUBENS RIBEIRO DA SILVA

**QUALIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DOS
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO
CAMPOS DAS VERTENTES, BACIA ALTO DO RIO
GRANDE-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador:
Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Silva, Rubens Ribeiro da

Qualidade do solo em função dos diferentes sistemas de manejo na região
Campos das Vertentes, Bacia Alto do Rio Grande-MG. / Rubens Ribeiro da Silva.

-- Lavras : UFLA, 2001.

97 p. : il.

Orientador: Marx Leandro Naves Silva.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Sustentabilidade. 2. Cerrado. 3. Bacia do Alto Rio Grande. 4. Latossolo. 5.
Batata. 6. Plantio convencional. 7. Plantio direto. 8. Estoque de carbono. 9.
Compactação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.47

RUBENS RIBEIRO DA SILVA

**QUALIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES
SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO CAMPOS DAS
VERTENTES, BACIA ALTO DO RIO GRANDE-MG.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 31 de outubro de 2001

Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira

UFLA

Prof. Dr. Gabriel José de Carvalho

UFLA

Dr. Paulo Marcos de Paula Lima

MA

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

A Deus pela dádiva do conhecimento,

Aos meus pais, Corina e José (*in memorian*),

À minha filha Sabrina ,

À minha irmã Marinete.

Pelo amor, compreensão, apoio e incentivo que mesmo à distância, sempre estiveram presentes no meu coração.

OFEREÇO

Ao meu tio Nilo Ribeiro Rocha e à minha querida avó,
Adélia Lorenço, que se foram durante este período.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo e Nutrição de Plantas.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Marx Leandro Naves Silva, pela amizade, paciência, compreensão, apoio e orientação para a realização deste trabalho.

Aos professores Mozart Martins e Nilton Curi, pelo trabalho de co-orientação.

Aos participantes da banca de defesa, Marx Leandro, Mozart Martins, Gabriel de Carvalho e Paulo Marcos.

Ao professor João José Marques, pelas valiosas contribuições sempre que necessárias.

A Alexandre D'Andréa e Cláudio Roberto, pelas valiosas correções e sugestões.

Aos amigos do DCS Cláudio, Alexandre, Serginho, Mateus, Júlio, Marcos Kondo, Reginaldo, Geraldo, Alessandra, Meire, Marley, Elka, Ivânia, Isabel, Gilvan, Edilson, Marcos Carolino, Lislane, Liziane, Sávio, Daniella, Jonas e Ivan, pelo companheirismo.

Aos amigos da UFLA Cícero (Ceará), Tadário, Alcides Militão, Fredão, Cidão, Douglas, pelo convívio e amizade.

Aos amigos da Unitins, Joênes Mucci e Leonardo Collier, pelas ajudas e incentivos sempre que necessários.

Ao Alexandre e Rose, e ao Marx e Rose, pelo convívio familiar, ao qual foi muito agradável.

À Fabiana, Rodrigo, Danillo, Regimeire e Daniella, pelo auxílio nas etapas de campo e laboratório.

Aos funcionários Delanne, Dulce, Pezão, Adriana, Leninha e Manoel, pelos valiosos auxílios.

Aos tocantineses Denilson, Artur, Ildon, Ivânia, Magnólia, Enia e Moab, pelo convívio e amizade.

À Elka e Marley, pela amizade e paciência.

À minha namorada Meire, pela sua valiosa presença, compreensão, companheirismo e suporte emocional.

BIOGRAFIA

RUBENS RIBEIRO DA SILVA, filho de Corina Ribeiro da Silva e José Cardoso da Silva, nasceu em 14 de setembro de 1974 na cidade de Gurupi, Estado do Tocantins.

Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Urutaí-GO, em 1992, exercendo essa profissão de 1994 a 1999 na Universidade do Tocantins.

Engenheiro Agrônomo pela Universidade do Tocantins em 1998.

Mestre em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Lavras-MG em 31 de outubro de 2001.

ÍNDICE

<i>Resumo Geral</i>	1
CAPÍTULO 1	1
1.1 Introdução	1
1.2 Referencial Teórico	3
1.2.1 Histórico e evolução das atividades na região Campos das Vertentes localizada na Bacia do Alto do Rio Grande.....	3
1.2.2 O solo e sua qualidade.....	4
1.2.3 Atributos físicos.....	5
1.2.4 Atributos bioquímicos.....	7
1.2.5 Atributos químicos.....	8
1.3 Material e Métodos	11
1.3.1 Local.....	11
1.3.2 Clima.....	11
1.3.3 Solo.....	11
1.3.4 Sistemas de manejo.....	11
1.3.5 Amostragem de solo.....	13
1.3.6 Análise estatística.....	13
1.4 Referências Bibliográficas	14
CAPÍTULO 2 <i>Qualidade do solo avaliada através dos atributos físicos em sistemas de manejo na região Campos das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande-MG. Lavras, UFLA, 2001. Cap. 2. 39p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas).</i>	19
<i>Resumo</i>	19
<i>Abstract</i>	20
2.1 Introdução	21
2.2 Material e Métodos	23
2.2.1 Localização, clima, solo, sistemas estudados e análise estatística.....	23

2.2.2	Determinação de campo	23
2.2.3	Determinações de laboratório	23
2.2.3.1	Amostras indeformadas	23
2.2.3.2	Amostras com estrutura deformada.....	24
3	Resultados e Discussão	27
2.3.1	Caracterização granulométrica do solo	27
2.3.2	Índice de floculação	28
2.3.3	Estabilidade de agregados.....	29
2.3.4	Densidade do solo	33
2.3.5	Porosidade total e distribuição de poros por tamanho.....	36
2.3.6	Condutividade hidráulica do solo saturado.....	40
2.3.7	Resistência do solo à penetração	42
2.4	Conclusões	47
2.5	Referências Bibliográficas.....	48
CAPÍTULO 3 Qualidade do solo avaliada através dos atributos bioquímicos e químicos em sistemas de manejo da região Campos das Vertentes, Bacia Alto do Rio Grande-MG. Lavras, UFLA, 2001. Cap. 3. 33p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas).....		
	Resumo.....	54
	Abstract	55
3.1	Introdução.....	56
3.2	Material e Métodos.....	59
3.2.1	Local, clima, solo, sistemas estudados e análise estatística.....	59
3.2.2	Análises de laboratório.....	59
3.3	Resultados e Discussão	61
3.3.1	Carbono da biomassa microbiana	61
3.3.2	Quociente microbiano (Cmic/COtotal).....	66
3.3.3	Quociente metabólico do carbono (qCO ₂)	69
3.3.4	Estoque de carbono orgânico no solo (Est C)	71

3.3.5 Balanço do estoque de carbono orgânico no solo.	75
3.4 <i>Conclusões</i>	81
3.5 <i>Referências Bibliográficas</i>	82
<i>Anexos</i>	89

RESUMO

SILVA, R.R. Qualidade do solo em função de diferentes sistemas de manejo na região Campos das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande-MG. Lavras: UFLA, 2001. Cap. 1. 22p. (Dissertação – Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) *

O solo é um corpo vivo e dinâmico, que desempenha funções-chave nos ecossistemas terrestres através de seus atributos. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a qualidade do solo através dos atributos físicos, bioquímicos e químicos indicadores das alterações impostas pelos diferentes sistemas de manejo, em relação ao cerrado nativo, na região Campos das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande-MG. Para tanto foram coletadas amostras nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, em Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico. Os atributos avaliados foram: carbono orgânico total (CO), argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), estabilidade de agregados, densidade do solo (DS), porosidade, condutividade hidráulica (KS), resistência do solo à penetração (RP), biomassa microbiana de carbono (Cmic), quociente microbiano (Cmic/COtotal) e metabólico (qCO_2) e o estoque (EstC) e balanço de carbono. Nos sistemas: cultivo convencional com batata (CCB); cultivo convencional com batata, sucedido com aveia e rotacionado com milho (CCBAM); cultivo convencional com milho (CCM); plantio direto com milho (PDM); cultivo com eucalipto (CE) e cerrado nativo (CN). Os sistemas conservacionistas PDM e CE, em função do menor revolvimento do solo apresentaram as menores alterações nos atributos físicos em relação ao sistema CN. Nos bioquímicos as maiores alterações foram observadas nos sistemas CCB, CCBAM e PDM, o qual em função das maiores deposições e dos baixos valores do quociente metabólico apresentou o maior EstC. As maiores perdas no balanço de carbono foram observadas nos sistemas CCB, CCBAM e CCM.

*Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva (Orientador), Mozart Martins Ferreira – UFLA, Nilton Curi - UFLA.

ABSTRACT

SILVA, R.R. Soil quality as a function of different management systems at Campos das Vertentes region, Alto Rio Grande- MG watershed. Lavras: UFLA, 2001. (Dissertation- M.Sc. in Soil and Plant Nutrition)*

The soil is an alive dynamic body, which plays key-functions on terrestrial ecosystems through its attributes. In this way, this study aimed to evaluate the soil quality through physical, biochemical and chemical attributes indicators of alterations imposed by different management systems in relation to the native cerrado at Campos das Vertentes region, Alto Rio Grande-MG Watershed. For that samples were collected at 0-10, 10-20 and 20-30 cm depths from a typic Acric Red-Yellow Latosol (Oxisol). The evaluated attributes were: total organic carbon(OC), water-dispersible clay (WDC), flocculation index (FI), aggregates stability (AS), bulk density (BD), porosity, saturated hydraulic conductivity (HC), soil resistance to penetration (RP), carbon microbial biomass (CMB), microbial quotient (CMB/OC), metabolic quotient (qCO_2), and stock (stC) and carbon balance. The following management systems were studied: conventional tillage with potato (CTP); conventional tillage with potato, followed by oat and in rotation with corn (CTPOC); conventional tillage with corn (CTC); no-tillage with corn (NTC); cultivation with eucalyptus (CE); and native cerrado (NC). The conservative systems NTC and CE, as a function of the smallest soil movement, presented the smallest alterations in the physical attributes in relation to the NC system. In terms of biochemical attributes, the greatest alterations were observed in the CTP, CTPOC and NTC, which, as a function of the greatest depositions and low values of metabolic quotient present the highest stC. The greatest losses in the carbon balance were observed in the CTP, CTPOC and CTC systems.

* Guidance Committee: (Major Professor), Guidance Committee: Max Leandro Naves Silva (Major Professor), Mozart Martins Ferreira and Nilton Curi-UFLA.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O solo é um corpo vivo e dinâmico, que desempenha funções-chave nos ecossistemas terrestres através de seus atributos físicos, bioquímicos e químicos, garantindo assim, as condições adequadas para crescimento das plantas e outros organismos, por regular os fluxos de água, energia e elementos químicos. No entanto, a partir do momento em que estes solos são utilizados na produção agrícola, com uso intensivo de práticas inadequadas, ocorrem alterações dos seus atributos, levando a perda na qualidade do solo em relação às condições originais, e conseqüentemente redução de sua sustentabilidade, uma vez que não apresenta mais a mesma capacidade de suprimento para o homem e demais seres vivos. Dessa forma, o monitoramento da qualidade do solo pode ser realizado através da avaliação dos seus atributos, o que é importante para subsidiar a recomendação de novas técnicas de manejo que viabilizem a manutenção e o aumento da sustentabilidade nos sistemas agrícolas. Haja visto, serem atribuídas ao solo as funções de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana, animal e vegetal (Doran e Parkin, 1994).

No monitoramento da qualidade do solo, os atributos usados como indicadores de mudanças devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação, além da necessidade de estarem incluídos em um banco de dados, como fonte de comparação temporal, o que permitirá assim, ao longo do tempo a determinação de valores críticos bem definidos para as várias situações de solo, clima e sistemas de manejo (Doran e Parkin, 1994).

Assim sendo, o presente estudo desenvolvido na região Campos das Vertentes localizada na Bacia do Alto do Rio Grande teve como objetivos:

Avaliar a qualidade do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico, através dos atributos físicos, bioquímicos e químicos indicadores das

alterações impostas pelos diferentes sistemas de manejo, em relação ao cerrado nativo.

1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1 Histórico e evolução das atividades na região Campos das Vertentes localizada na Bacia do Alto do Rio Grande.

De acordo com o naturalista Francês Saint-Hilaire (1949), citado por Oliveira (1993), até meados do século XVIII a economia da região baseava-se na exploração do ouro que era encontrado em grandes quantidades nos depósitos de aluvião ou no afloramento nas encostas dos morros. Uma outra atividade porém com menor importância econômica se destacava na região, era a pecuária leiteira.

Com escasseamento do ouro, a atividade pecuária foi se desenvolvendo, até assumir o papel principal no setor primário da economia regional, (Fundação João Pinheiro, 1977). Inicialmente, concentrava quase na totalidade em sistema extensivo, com a utilização de pastagens nativas, onde o capim flechinha (*Echinolaena inflexa*), dominava a paisagem (Fundação João Pinheiro, 1977 e Brasil, 1983). Apartir de meados da década de 50, com os incentivos governamentais e a evolução de tecnologias na área agrícola no Brasil, esse cenário sofreu mudanças, cedendo seu espaço para as pastagens plantadas, com maiores produtividades forrageiras, o que contribuiu para a criação de uma grande bacia leiteira nessa região, sendo quase desativada na década de 70, o que criou a necessidade de uma nova fonte de renda economicamente mais viável.

A busca dessa nova atividade coincidiu com o programa governamental de incentivo ao reflorestamento, onde era permitido o investimento de parte do tributos como subsídio para implantação e custeio de espécies florestais como o eucalipto, estabelecendo assim, um novo ciclo agrícola e financeiro na região. Com a entrada dessa nova atividade, e por ser mais tecnificada do que cultivar pastagens, alguns agricultores foram motivados à realmente implantarem

culturas agrícolas com ciclo mais curto e retorno mais rápido de capital, o que culminou-se no quarto ciclo financeiro para a região. Dentro desse último ciclo caracterizado principalmente por cultivo convencional, são observadas na região algumas inovações tecnológicas, como adoção de sistemas rotacionais de cultivo entre hortaliças (batata e cenoura) e culturas de grãos como milho feijão e aveia, e já nos últimos anos à adoção propriamente dita do sistema de plantio direto por alguns agricultores (comunicação pessoal com Sr. João Ashidane, 2001).

1.2.2 O solo e sua qualidade

O solo é um recurso natural que não é renovável na escala de tempo da vida humana e que representa as bases de diferenças entre a sobrevivência e a extinção da maioria das formas de vida terrestre (Doran et al., 1994). É um corpo vivo e dinâmico, que desempenha funções-chave nos ecossistemas terrestres através de seus atributos físicos, bioquímicos e químicos, que: a) garante condições adequadas para crescimento e diversidade das plantas e outros organismos, b) regulam fluxos de água, energia e elementos químicos da natureza e c) servem como um tampão biológico na atenuação e degradação de substâncias ambientalmente indesejáveis ou que oferecem riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Qualidade do solo é definida como a capacidade funcional dentro dos limites de seu ecossistema e do seu ambiente externo, tendo efeitos marcantes na produtividade e saúde do ecossistema e do ambiente a este relacionado (Doran et al., 1996). É um estado de existência do solo relativo a um padrão ou área referencial, ou expresso em termos de grau de excelência para uma determinada função. Em termos gerais, engloba produtividade biológica, qualidade ambiental, sanidade humana e animal, e qualquer protocolo para a determinação da qualidade do solo tem que considerar os atributos que avaliem sua funcionalidade (Doran e Parkin, 1994).

A qualidade do solo pode ser avaliada através de atributos específicos, os quais servirão como indicadores do grau de alteração e/ou reabilitação de solos sob interferência antrópica, como as de uso agrícola. Para tanto, busca-se atributos indicadores da funcionalidade plena do solo. A grande dificuldade no uso desses indicadores é o estabelecimento de critérios de referência para interpretação dos resultados. Diante disso, dois procedimentos podem ser considerados como os mais apropriados. O primeiro aborda comparações com condições originais (em equilíbrio), e o segundo opera em condições que maximizam a diversidade ou produtividade primária do solo (Granatstein e Bezdicek, 1992).

Islam e Weil (2000), consideram três grupos de atributos para avaliação da qualidade do solo: o primeiro está relacionado com os atributos denominados efêmeros, que são aqueles que apresentam oscilações em curto espaço de tempo, como temperatura, pH, conteúdo de água, respiração e teores de nutrientes; o segundo engloba atributos denominados intermediários, os quais são alterados com o manejo após alguns anos, entre os quais o conteúdo de matéria orgânica, a resistência à penetração e a permeabilidade do solo à água; e por último, têm-se os atributos definidos como permanentes, que não sofrem alterações em curto prazo de tempo, como os componentes mineralógicos, a textura, a profundidade do solo, camadas de impedimentos e o pedoclima.

Baseado nisto, a avaliação da qualidade do solo, pode ser feita utilizando-se os seus atributos físicos, bioquímicos e químicos.

1.2.3 Atributos físicos

Os solos sob área nativa no cerrado apresentam atributos físicos favoráveis ao uso agrícola mecanizado, no entanto, a partir do momento em que estes solos são utilizados para a produção agrícola, com uso intensivo de práticas inadequadas, ocorrem alterações nos seus atributos físicos originais, podendo

estas serem benéficas ou maléficas. De modo geral, observam-se aumento nos valores da densidade do solo e resistência à penetração e redução nos valores da porosidade, agregação e permeabilidade do solo à água. Vários trabalhos têm constatado essas modificações em áreas de cerrado como também em outras áreas (Machado e Brum, 1978; Abrão et al., 1979; Machado et al., 1981; Leite e Medina, 1984; Vieira e Muzilli, 1985; Centurion e Demattê, 1985; Corrêa, 1985; Miranda, 1993; Anjos et al., 1994; Albuquerque et al., 1995; Cavenage et al., 1999; Beutler, 1999 e D'Andréa, 2001).

A degradação da estrutura do solo afeta o desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica acelerada. O manejo incorreto de máquinas e equipamentos agrícolas, leva à formação de uma camada subsuperficial compactada, a qual tem sido apontada como uma das principais causas da degradação estrutural do solo e do decréscimo na produtividade das culturas (Campos et al., 1995).

Os efeitos do preparo do solo sobre sua estrutura, são dependentes da intensidade de revolvimento e/ou trânsito, tipos de equipamentos, manejo dos resíduos vegetais e condições do mesmo no momento do preparo (Vieira e Muzille, 1985). No entanto, é possível manter as condições físicas do solo mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas com a adoção de sistemas de manejo mais conservacionistas que minimizem as alterações nas condições naturais do solo. Segundo Soil Science Society of American (1997), um sistema conservacionista é conceituado, como qualquer tipo de preparo do solo que resulte em redução da perda de solo e água, deixando no mínimo 30% da sua superfície coberta com resíduos vegetais.

A utilização do arado de disco no preparo do solo promove o revolvimento da camada superficial até 25 a 30 cm de profundidade, incorporando os resíduos vegetais em profundidade pela inversão da leiva,

umenta a porosidade e desagrega o solo, expondo-o à ação dos agentes erosivos (Correchel et al., 1999).

A grade aradora revolve intensamente o solo até 10-15 cm de profundidade, com isso fraciona e incorpora os resíduos vegetais, acelerando a sua decomposição. O uso intensivo desse mesmo método e profundidade de preparo, vem promovendo o aparecimento da compactação subsuperficial, a qual restringe o desenvolvimento radicular, com efeito direto na produtividade das culturas. Esse tipo de preparo é mais adotado na região dos cerrados (Resck, 1998). O mesmo autor considera o plantio direto um sistema conservacionista, por mobilizar o solo apenas na linha de semeadura, manter a superfície coberta por restos da cultura anterior, o que favorece a atividade biológica, a melhoria da estrutura do solo ao longo do tempo.

1.2.4 Atributos bioquímicos

A biomassa microbiana do solo é uma das responsáveis pela fertilidade natural do solo, uma vez que media a ciclagem de matéria orgânica. Assim, o declínio na atividade microbiana terá alto impacto na fertilidade natural do solo, com grandes efeitos nos ecossistemas naturais (Brookes, 1995). Dessa forma, os atributos bioquímicos apresentam relação com a funcionalidade do solo. Para que um atributo bioquímico possa ser utilizado como bioindicador da condição do solo, este deve preencher vários critérios, como: 1) permitir medições precisas e independentes do tipo e condição do solo; 2) deve ser avaliado facilmente e economicamente em grande número de amostras; 3) deve ser sensível na indicação das condições ambientais e 4) precisa ter validade científica contemporânea (Brookes, 1995). Segundo Kennedy e Papendick (1995), nem todos os indicadores preenchem todos esses critérios e não há um único indicador que seja suficiente para indicar todas as mudanças num sistema.

A degradação da matéria orgânica é uma propriedade de todos os microrganismos heterotróficos e seu nível é comumente usado para indicar a atividade microbiana do solo. Muitas técnicas têm sido desenvolvidas para avaliar a taxa de decomposição, como: a) avaliação do CO₂ liberado ou O₂ consumido; b) avaliação da redução da matéria orgânica, geralmente em relação à perda em massa e/ou c) desaparecimento de um constituinte específico, como celulose ou lignina, por exemplo. Tanto a liberação de CO₂ quanto a absorção de O₂ têm sido largamente utilizados na determinação da atividade microbiana no solo, devido a facilidade de determinação (Nannipieri et al., 1990), embora a medição de CO₂ seja mais sensível por estar na atmosfera em porcentagem que raramente excede 0,35% em comparação com o O₂, que é de 20%. Acrescenta-se o fato de que os microrganismos aeróbios heterotróficos predominam na maioria das condições dos solos, liberando CO₂ como principal subproduto do metabolismo.

Segundo Nannipieri (1984), a atividade microbiana é utilizada como uma maneira de melhor entender os processos de mineralização e visualizar com maior detalhe a intensidade dos fluxos de energia no solo.

1.2.5 Atributos químicos

Entre os atributos químicos será relatado apenas o carbono orgânico do solo, devido a sua importância para agricultura em solos de países tropicais como o Brasil e ao efeito das emissões para atmosfera no aquecimento global.

Os solos do mundo constituem um dos cinco principais reservatórios globais de carbono. Esses reservatórios incluem: o oceano, contendo 38.000 Pg de C (1 Pg = 10¹⁵) (Leggett, 1990); o geológico, com 5.000 Pg constituindo de 4.000 Pg de carvão, 500 Pg de óleo e 500 Pg de gás natural; o solo, com 2.500 Pg; o atmosférico com 760 Pg e o da biomassa terrestre, com 620Pg de C na forma de carbonatos (Esvaran et al., 1993). Desse modo, o reservatório de C no

solo é cerca de 3,3 vezes maior do que o atmosférico e 4 vezes maior do que o da biomassa terrestre. Esses cinco compartimentos de carbono na natureza são interconectados, havendo, sistematicamente, troca de carbono entre eles (Silva e Machado, 2000).

O incremento de C do reservatório atmosférico situa-se na faixa de 3,2 Pg ano⁻¹. São três as principais atividades antropogênicas que contribuem para o acréscimo no reservatório de carbono na atmosfera: 1) queima de combustível fóssil; 2) manufatura de cimento; 3) desmatamento, mudança de uso do solo e cultivo, que resultam em diminuição dos estoques de C ligados à matéria orgânica do solo. Até 1950, 75 a 80% do aumento de C atmosférico era devido ao desmatamento e mudança no uso do solo. Nos anos 70, a contribuição dessas práticas caiu para próximo de 50% do aumento anual na concentração de C na atmosfera. Já na década de 90, somente 20% do acréscimo anual de C na atmosfera pode ser atribuído ao desmatamento, mudança de uso do solo e cultivo (Silva e Machado, 2000). Entre as mudanças de uso, adoção do sistema de plantio direta, é considerada um dos grandes contribuidores pela redução do revolvimento e fragmentação dos resíduos orgânicos, o que reduz a velocidade da ciclagem do carbono para a atmosfera, seqüestrando o mesmo no solo por um período maior. Além desse efeito, deve-se ressaltar a rápida expansão das fronteiras agrícolas sobre esse sistema, que só no Brasil já atinge em torno dos 20 milhões de hectares cultivadas.

Historicamente, as perdas de carbono dos compartimentos solo e biomassa terrestre têm se situado na faixa de 50 a 100 Pg e de 100 a 150 Pg, respectivamente (Silva e Machado, 2000). A magnitude e a taxa de diminuição de C no solo é aumentada pela degradação e declínio da qualidade do solo (Lal, 1999). Entre os principais processos de degradação do solo, estão a física, a química e a biológica. Entretanto, existe um grande potencial em reverter esses processos de degradação e, ao mesmo tempo, aumentar o seqüestro de C no solo.

O potencial de seqüestro de carbono pode ser estimado em 50 a 75% das perdas de carbono (Bayer et al., 2000). Nas áreas de cerrado brasileiro, esse potencial pode até mesmo superar os níveis originais de carbono estocados em solos sob vegetação natural. Para isso, é necessário manejar problemas de acidez e aplicar de forma correta os fertilizantes, no sentido de eliminar a toxidez de alumínio e as deficiências nutricionais severas, principalmente de fósforo. Com essas operações, sempre há ganhos em produtividade das culturas e fitomassa produzida, contribuindo para que os estoques de matéria orgânica sejam aumentados, o que reduz assim a sua emissão para atmosfera com menor contribuição para a ocorrência do efeito estufa.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 Local

A área estudada esta na região Campos das Vertentes, localizada na bacia do Alto do Rio Grande, compreendida entre os paralelos 20° 21' e 21° 42' de latitude Sul e os meridianos 43° 16'e 44° 42' de longitude oeste, portanto, situada no centro sul do estado de Minas Gerais.

1.3.2 Clima

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é o tipo Cwa (clima temperado suave-mesotérmico), que se caracteriza por apresentar temperatura média do mês mais frio inferior a 18° C e a média do mês mais quente superior a 22° C, com verão chuvoso e inverno seco. A precipitação média anual é de 1435 mm, concentradas entre os meses de novembro a abril.

1.3.3 Solo

O solo anteriormente classificado como Latossolo Variação Una, desenvolvido sobre um substrato geológico correspondente a rochas metapelíticas pobres dos grupos São João Del Rei (filito) e Andrelândia (micaxisto), (Radambrasil, 1983). Atualmente classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico de textura argilosa (Tabela 2.1), segundo Embrapa (1999). A caracterização mineralógica (Tabela 1.C), realizada por Chagas et al. (1997).

1.3.4 Sistemas de manejo

A seleção dos sistemas de manejo estudados, foi realizada buscando-se uma melhor representatividade do uso agrícola da região sobre essa classe de solo, como mostra a Tabela 1.1.

TABELA 1.1 Caracterização dos sistemas de manejo no LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico na região Campos das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande–MG.

Símbolo	Histórico dos sistemas	Tempo de uso
CCB	Cultivo convencional com batata, safra 00/01, amostrado depois da colheita.	1 ano
CCBAM	Cultivo convencional com batata, sucedido com aveia, após uma subsolagem pós-colheita da batata na safra 99/00 e rotacionado com milho na safra 00/01, amostrado 15 dias após o plantio do milho.	2 anos
CCM	Cultivo convencional com milho na safra 00/01, em rotação com feijão da safra 99/00, amostrado aos 29 dias após o plantio.	2 anos
PDM	Plantio direto com milho no ano agrícola 96/2001, após o cultivo convencional com batata na safra 86/87, arroz nas safras 87/89 e milho convencional de 88/96, amostrado aos 52 dias após o plantio.	15 anos total e 5 anos no PDM
CE	Cultivo convencional com eucalipto, implantado no ano agrícola 78/79, sem aplicação de práticas de manejo posteriormente.	13 anos
CN	A vegetação primária remanescente na área é representada pelo cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado (Embrapa, 1988). Segundo Minas Gerais (1980), as principais espécies de cerrado encontradas são: <i>Stryphnodendron barbatimao</i> (barbatimão), <i>Cariocar brasiliense</i> (pequizeiro), <i>Duguetia furfuracea</i> (araticum pedra), <i>Jacaranda paucifolia</i> (caroba do campo), <i>Dimorphandra mollis</i> (faveiro), <i>Tecoma sp</i> (Ipê do cerrado), <i>Hymenaea stigonocarpa hayne</i> (jatobá do cerrado), <i>Kielmeyera coriacea</i> (pau-santo), <i>Pouteria torta</i> (figueira do campo) e <i>Echnolaena inflexa</i> (capim flechinha).	

1.3.5 Amostragem de solo

As amostras foram coletadas em janeiro 2001, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Para isso foram abertas três minitrincheiras (repetições) nas entrelinhas de cada sistema selecionado (Tabela 1). Para a caracterização da localização dos sistemas de manejo, foram coletadas as coordenadas geográficas, a seguir: CCB 21°42'S, 44°21'W; CCBAM 21°41'S, 44°39'W; CCM 21°28'S, 44°20'W; PDM 21°38'S, 44°18'W; CE 21°28'S, 44°20'W e CN 21°41'S, 44°23'W.

1.3.6 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) sendo as profundidades consideradas como faixas. Os resultados foram submetidos à análise de variância. Os efeitos de profundidade, sistemas de manejo e das interações sistemas x profundidade, foram avaliadas através do teste de Scott e Knott (Scott e Knott, 1974) ao nível de probabilidade de 5%, com a utilização do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). O modelo seguido foi:

$$Y_{ij} = m + S_i + \text{Erro (sistema)} + P_j + SP_{ij} + \text{Erro (Geral)}$$

Onde Y_{ij} : valor de cada observação;

m : média da observação no sistema i e profundidade j ;

S_i : efeito do sistema i ;

Erro (sistema): erro devido ao efeito da repetição dentro do sistema i ;

P_j : efeito da profundidade j ;

SP_{ij} : efeito da interação entre o sistema i e a profundidade j ;

Erro (geral).

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P. R.; GOEPFERT, C. F.; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre as características de um latossolo Roxo distrófico. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, n. 3, p. 169-172, set./dez. 1979.

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.

ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 139-145, jan./abr. 1994.

BAYER, C. MARTINI-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C. A. Effects of no till cropping systems on soil organic matter in an sandy clay loam Acrisol soil in southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance of ¹³C. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 95-104, Jan. 2000a.

BEUTLER, A. N. **Produtividade de culturas e atributos físicos de Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado sob diferentes sistemas de manejo**. 1999. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil. Folhas SF 23/24. Rio de Janeiro/ Vitória. Rio de Janeiro. **Levantamento dos Recursos-Naturais**, v. 32, 775p., 1983.

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and fertility of soils**, Berlin, v. 19, n. 2/3, p. 269-279, Fev./Mar. 1995.

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. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, out./dez. 1999.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 263-266, set./dez. 1985.

CHAGAS, C. S.; CURI, N.; DUARTE, M. N.; MOTTA, P. E. F.; LIMA, J. M. Orientação das camadas de rochas metapelíticas pobres na gênese de latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 539-548, maio, 1997.

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

CORRECHEL, V.; PAIVA, A. P.; TORMENA, C. A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 165-173, jan./mar. 1999.

D'ANDRÉA, A. F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Sul de Goiás**. 2001. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (EDS) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1994.

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

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, New York, v.56, p.1-54, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p. 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 67p. (Documento, 11).

ESWARAN, H.; BERG, E. VEN DEN, REICH, P. Organic carbon in soils of the world. *Soil Science society of America Journal*, Madison, v. 57, n. 1, p. 192-194, Jan/Feb. 1993.

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

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Microrregião Campos das Vertentes: estudo preliminar e diretrizes de desenvolvimento**. Belo Horizonte, 1997. v.1, 147p.

GRANATSTEIN, D.; BEZDICEK, D.F. The need for a soil quality index: local and regional perspectives. *American Journal of Alternative Agriculture*, Greenbelt, v. 17, p. 12-16, 1992.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil water and Conservation**, Ankeny, v. 55, n. 1, p. 69-78, Jan./Mar. 2000.

KENNEDY, A. C.; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 50, n. 3, p. 243-248, May/June 1995.

LAL, R. World soils and the greenhouse effect. **Global Change Newsletter**, Stockholm, n. 37, p. 4-5, Mar. 1999.

EGGETT, J. The nature of the greenhouse threat, In: LEGGETT, J. **Global warming: the greenpeace report**. Oxford University Press, 1990. 554p. Chap. 1, p.15-43.

LEITE, J. A.; MEDINA, B. F. Efeito de sistemas de manejo sobre as propriedades físicas de um Latossolo Amarelo do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1417-1422, nov. 1984.

MACHADO, J. A.; BRUM, A. C. R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 81-84, maio/ago. 1978.

MACHADO, J. A.; PAULA SOUZA, D. M.; BRUM, A. C. R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 3, p. 187-189, set./dez. 1981.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Agricultura. **Zoneamento agroclimático de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1980. 114p.

MIRANDA, J. **Caracterização da solução do solo e das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais**. 1993. 65p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

NANNIPIERI, P. Microbial biomass and activity measurements in soil: ecological significance. In: KLUG, M. J.; REDDY, C. A. (Eds) **Current**

Perspectives in Microbial Ecology. Washington: America Society for Microbiology, 1984. p.515-521.

NANNIPIERI, P.; GRECO, S.; CECCANTI, B. Ecological significance of the biological activity in soil. **Soil Biochemistry**, New York, v. 6, p. 293-355, 1990.

OLIVEIRA, G. C. **Cambissolos da microrregião Campos da Mantiqueira (MG): Caracterização Físico - Hídrica e interpretação para manejo.** 1993. p.3-5. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

RADAMBRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radambrasil, folha SF 23/24. **Rio de Janeiro/Vitória; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 1983. 775p. (Levantamento dos recursos naturais, 32)

RESCK, D. V. S. Plantio direto: desafios para os cerrados. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2.; FERTIBIO 98, 1998, Caxambu. Resumos... Caxambu, 1998. p.32-33.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. Accouter analysis methods for grouping means in the analysis of variants. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. **Seqüestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 23p. (Embrapa Solos Documento, 19)

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (MADISON, USA.) **Glossary of soil science terms.** Madison, 1997. 138p.

VIERA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 873-882, jul. 1985.

CAPÍTULO 2

*SILVA, R. R. **Qualidade do solo avaliada através dos atributos físicos em sistemas de manejo na região Campos das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande-MG.** Lavras, UFLA, 2001. Cap. 2. 39p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas).

RESUMO

O uso agrícola provoca alteração nos atributos físicos do solo. Normalmente ocorre uma deterioração de sua qualidade, em decorrência da retirada da cobertura vegetal e o excessivo uso da mecanização. Diante disso, objetivou-se avaliar a qualidade do solo através dos atributos físicos indicadores das alterações impostas pelos diferentes sistemas de manejo, em relação ao cerrado nativo, na região Campos das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande-MG. Para tanto foram coletadas amostras nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico. Os atributos avaliados foram: carbono orgânico total (CO), argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), estabilidade de agregados, densidade do solo (DS), porosidade, condutividade hidráulica saturada (KS) e resistência do solo à penetração (RP). Os sistemas de manejo avaliados foram: cultivo convencional com batata (CCB); cultivo convencional com batata, sucedido com aveia e rotacionado com milho (CCBAM); cultivo convencional com milho (CCM); plantio direto com milho (PDM); cultivo com eucalipto (CE) e cerrado nativo (CN). Os sistemas conservacionista PDM e CE, em função dos menores revolvimentos do solo apresentaram as menores alterações em relação ao sistema CN. A porosidade foi o atributo mais alterado, enquanto que, os menos alterados foram IF e estabilidade de agregados. O sistema PDM reduziu a resistência à penetração na camada superficial.

* Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva (Orientador), Mozart Martins Ferreira e Nilton Curi-UFLA.

ABSTRACT

***SILVA, R. R.. Soil quality evaluated through physical attributes on management systems at Campos das Vertentes region, Alto Rio Grande-MG watershed. Lavras: UFLA, 2001. Chapter 2. 39p. (Dissertation-M.Sc. in Soils and Plant Nutrition)**

The agricultural use promotes alterations on soil physical attributes. Normally it occurs a deteriorations of its quality, due to the vegetal cover removal and the excessive use of mechanization. In this sense, this study aimed to evaluate the soil quality through physical attributes indicatrs of relation to the native cerrado at Campos das Vertentes region, Alto Rio Grande-MG watershed. For that, samples were collected at 0-10, 10-20 and 20-30 cm depths from a typic acric Red-Yellow Latosol (Oxisol). The evaluated attributes were: total organic carbon (OC), water-dispersible clay (WDC), flocculation index (FI), aggregates stability (AS), bulk density (BD), porosity, saturated hydraulic conductivity (HC) and soil resistance to penetration (RP). The following management systems were included: conventional tillage with potato (CTP); conventional tillage with potato, followed by oat in rotation with corn (CTPOC); conventional tillage with corn (CTC); no-tillage with corn (NTC); cultivation with eucalyptus (CE); and native cerrado (NC). The conservative systems NTC and CE, as a function of the smallest soil movement, presented the smallest alterations in relation to the NC system. The porosity was the most altered attribute, while the FI and the AS were the least altered ones. The NTC system reduced the resistance to penetration in the surficial depth.

* Guidance Committee: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Major Professor), Mozart Martins Ferreira and Nilton Curi - UFLA.

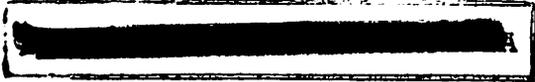
2.1 INTRODUÇÃO

A alteração de ecossistemas naturais ocorre à medida que eles vão sendo substituídos por atividades como a exploração industrial e a produção de alimentos, que provocam sua degradação, principalmente, devido ao uso e manejo inadequados. A degradação dessas áreas é produto da falta de vínculo entre o desenvolvimento sustentado e o crescimento econômico, uma vez que, do ponto de vista econômico, o desenvolvimento raramente contempla a sustentabilidade (Resende et al., 1996).

O manejo incorreto de máquinas e equipamentos agrícolas, que leva à formação de camadas subsuperficiais compactadas, tem sido apontado como uma das principais causas de degradação da estrutura do solo e do decréscimo da produtividade das culturas (Campos et al., 1995). Os efeitos do preparo do solo sobre sua estrutura dependem da intensidade de revolvimento ou trânsito, dos tipos de equipamentos utilizados, do manejo de resíduos vegetais e das condições do solo no momento do preparo (Vieira e Muzille, 1985). A degradação da estrutura do solo afeta o desenvolvimento vegetal e predispõe o mesmo à erosão hídrica acelerada.

Neste contexto, tendo como escopo a manutenção e o aumento da produtividade nos sistemas agrícolas, devem ser desenvolvidas condições físicas do solo adequadas, pois somente o uso de fertilizantes, melhoramento genético e medidas para controle de pragas e doenças não são suficientes para preservar a produtividade, caso ocorram degradações significativas das condições físicas do solo.

Dessa forma, o monitoramento da qualidade do solo pode ser efetuado através da avaliação dos seus atributos físicos, que são importantes para o aumento da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. No monitoramento da qualidade do solo, os atributos usados como indicadores de mudanças devem ser



sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação, além da necessidade de estarem incluídos em um banco de dados, como fonte de comparação temporal, permitindo assim, ao longo do tempo a determinação de valores críticos bem definidos para as várias condições de solo, clima e sistemas de manejo (Doran e Parkin, 1994).

Os atributos usados para avaliação da qualidade do solo, segundo Islam e Weil (2000) podem ser considerados em três grupos: o primeiro denominados efêmeros, que são aqueles que apresentam oscilações em curto espaço de tempo, como temperatura, pH, umidade atual, respiração e teores de determinados nutrientes, como por exemplo o nitrogênio; o segundo engloba atributos denominados intermediários, os quais são alterados com o manejo após alguns anos. entre os quais, o teor de carbono orgânico, a resistência do solo à penetração e a permeabilidade do solo à água; e por último, têm-se os atributos definidos como permanentes, que são inerentes ao solo e não sofrem alterações em curto prazo, como os constituintes mineralógicos, a textura, a profundidade efetiva do solo e camadas de impedimento e o pedoclima.

Diante do contexto, objetivou-se avaliar e selecionar os atributos físicos (carbono orgânico total, argila dispersa em água, índice de floculação, estabilidade de agregados, densidade, porosidade, condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração) indicadores das alterações na qualidade do solo impostas pelos diferentes sistemas de manejo, em relação ao cerrado nativo, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico, na região Campos das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização, clima, solo, sistemas estudados e análise estatística

A caracterização do local, clima, solo, sistemas de manejo, amostragem e análise estatística estão descritos no item material e métodos do Capítulo 1.

2.2.2 Determinação de campo

A resistência à penetração vertical foi determinada utilizando-se o penetrômetro de impacto (modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF), segundo a metodologia de Stolf et al. (1983), realizando 60 testes por sistema até a profundidade de 60 cm. Os cálculos foram realizados utilizando o programa computacional de Stolf (1991). Os valores obtidos em Kgf cm^{-2} foram multiplicados pela constante 0,098 para serem transformados em MPa.

2.2.3 Determinações de laboratório

2.2.3.1 Amostras indeformadas

A densidade do solo foi determinada segundo Blake e Hartge (1986a), em amostras coletadas com amostrador de Uhland em cilindros com volume médio de $313,9 \text{ cm}^3$. O volume total de poros foi determinado segundo Danielson e Sutherland (1986). A distribuição de poros por tamanho foi determinada utilizando-se funil com placa porosa, na unidade de sucção a 60 cm de altura de coluna d'água, para separação entre a macro e a microporosidade em amostras previamente saturadas por 48 horas. O volume de água retido no solo após o equilíbrio foi considerado correspondente a microporosidade. A diferença entre a microporosidade e o volume total de poros corresponde a macroporosidade (Grohmann, 1960).

A condutividade hidráulica do solo saturado (k_s) foi determinada em permeâmetro de carga constante, segundo Lima et al. (1990), com amostras previamente saturadas por capilaridade. Para o cálculo da condutividade

hidráulica do solo saturado foi utilizada a equação de Darcy, onde foram considerados para efeito de cálculo valores estabilizados após oito leituras de mesmo valor.

$$K = 600 \cdot (Q \cdot L) / (A \cdot h \cdot t)$$

Onde K: condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1});
Q: volume de água coletada no intervalo de tempo t (cm^3);
L: altura do cilindro (cm);
A: área da seção transversal do cilindro (cm^2);
h: altura da lâmina d'água sobre a amostra (cm);
t: tempo de coletas (min).

Para uma padronização das características da água no processo de movimentação faz-se necessário uma uniformidade dos cálculos a temperatura de 20 °C, através da relação:

$$K_s = K \cdot (\mu_t / \mu_{20})$$

Onde K_s: condutividade hidráulica do solo saturado a 20 °C (mm h^{-1});
K: condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1});
 μ_t : viscosidade da água à temperatura das leituras;
 μ_{20} : viscosidade da água a 20 °C.

2.2.3.2 Amostras com estrutura deformada

Foram coletadas através da abertura de minitrincheiras, sendo uma parte usada para determinação da umidade gravimétrica inicial pelo método da estufa, outra preparada como terra fina seca ao ar (TFSA) e uma terceira parte separada em agregados entre 4,76 e 7,93 mm de diâmetro. A densidade de partícula foi determinada pelo método do balão volumétrico Blake e Hartge (1986b). A granulometria total, pelo método da pipeta segundo Day (1965), após a

dispersão química (NaOH 1 mol L⁻¹) e mecânica (agitação rápida a 6000 rpm durante 15 minutos) respectivamente. Para a determinação da argila dispersa em água foi usada somente a dispersão mecânica (Embrapa, 1997). O índice de floculação foi calculado segundo Embrapa (1997) pela expressão:

$$IF = [(AT - ADA)/AT] \cdot 100$$

Onde IF: índice de floculação (%);

AT: argila total (g kg⁻¹);

ADA: argila dispersa em água (g kg⁻¹).

Através do peneiramento em água após um pré-umedecimento lento por capilaridade foi determinada a estabilidade dos agregados Yoder (1936); Oliveira (1983); Kemper e Rosenau (1986) e Embrapa (1997). Usando peneiras com malhas: 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,105 mm, para separação das classes de tamanho dos agregados. Para o cálculo do diâmetro médio geométrico (DMG) foi usada a expressão:

$$DMG = \exp [\Sigma(w_i \cdot \ln x_m) / \Sigma w_i]$$

Onde DMG: Diâmetro médio geométrico (mm);

w_i: massa dos agregados de cada classe de tamanho (g);

Ln x_m: logaritmo natural do diâmetro médio de cada classe de tamanho;

Σw_i: massa total da amostra (g).

As porcentagens de agregados maiores que 2 mm e menores 0.25 mm foram calculadas pelas expressões:

$$\% > 2 = 100 \cdot [(w_{>2}) / \Sigma w_i]$$

$$\% < 0.25 = 100 \cdot [(w_{<0.25}) / \Sigma w_i]$$

Onde % > 2: porcentagem de agregados maiores que 2 mm;

w > 2: massa de agregados com diâmetros maiores que 2 mm;

% < 0,25: porcentagem de agregados menores que 0,25 mm;

w < 0,25: massa de agregados com diâmetros menores que 0,25 mm.

O carbono orgânico total foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio, e determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley e Black, 1934).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Caracterização granulométrica do solo

As características granulométricas, e a densidade de partícula do LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico estudado são apresentadas na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 Teores de argila, silte e areia, densidade de partícula, e a relação silte argila em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Argila	Silte	Areia	Dp (kg dm ⁻³)	Silte/Argila
	(g kg ⁻¹)				
0-10 cm					
CCB	622	190	188	2,41	0,31
CCBAM	515	289	196	2,56	0,23
CCM	470	266	264	2,43	0,57
PDM	510	266	224	2,49	0,52
CE	627	155	218	2,43	0,25
CN	668	207	126	2,39	0,31
10-20 cm					
CCB	652	180	169	2,51	0,28
CCBAM	542	273	184	2,49	0,50
CCM	482	271	247	2,39	0,56
PDM	540	214	147	2,47	0,58
CE	583	206	211	2,43	0,35
CN	650	222	128	2,38	0,34
20-30 cm					
CCB	540	276	184	2,42	0,51
CCBAM	563	264	172	2,44	0,47
CCM	518	245	237	2,38	0,47
PDM	593	269	138	2,46	0,45
CE	527	241	233	2,53	0,46
CN	658	231	112	2,43	0,35

Em relação à proporção relativa do tamanho de partículas, verifica-se em todos os sistemas alto teor de argila, sendo o solo classificado como de textura argilosa a muito argilosa (Embrapa, 1999), o que demonstra basicamente a contribuição do substrato geológico correspondente às rochas metapelíticas pobres dos grupos São João Del Rei (filito) e Andrelândia (micaxistos) (Brasil, 1983). Os valores de densidade de partícula apresentaram variação de 2,38 a 2,56 kg dm⁻³, e portanto, abaixo da amplitude de 2,60 a 2,70 kg dm⁻³ citada por Ferreira (1993). Essa divergência pode ser atribuída a variação nos teores de carbono orgânico nos diferentes sistemas. Quanto à relação silte/argila, foi observado valores inferiores a 0,6, considerados, segundo Embrapa (1999), como valor máximo para os latossolos brasileiros.

2.3.2 Índice de floculação

Os resultados obtidos na determinação do índice de floculação do solo, apresentaram interação significativa entre os sistemas de manejo e as profundidades (Tabela 2.2). No efeito de profundidade dentro de sistema de manejo, foi observado redução no índice de floculação com o aumento da profundidade nos sistemas CN, CE e CCM. Este comportamento pode ser explicado pelo aumento dos valores de argila dispersa em água em profundidade (Tabela 5.A). Quanto aos sistemas CCB, CCBAM e PDM, não apresentaram variação nos valores de índice de floculação com aumento da profundidade.

No efeito de sistema dentro de cada profundidade, foi observada interação significativa quanto ao índice de floculação, apenas no sistema CE na profundidade de 20-30 cm, em relação ao CN, no qual também se verificou a menor floculação entre os sistemas estudados, conforme anteriormente discutido para o efeito de profundidade.

TABELA 2.2 Índice de floculação em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
	----- IF (%) -----		
CCB	94,0 aA	94,3 aA	87,6 aA
CCBAM	91,6 aA	90,8 aA	89,3 aA
CCM	97,9 aA	86,9 bA	85,9 bA
PDM	86,3 aA	88,9 aA	82,6 aA
CE	92,5 aA	86,8 aA	70,2 bB
CN	90,6 aA	89,7 aA	80,2 bA
C.V. Sistema	(%)	5,1	
C.V. Total	(%)	4,6	

*Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

2.3.3 Estabilidade de agregados

Os dados referentes ao diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) nos diferentes sistemas de manejo estudados, são apresentados na Tabela 2.3. De modo geral, verificou-se uma estabilidade de agregados muito alta, uma vez que todos os valores foram superiores a 4 mm, conforme proposto na Tabela 4.A, como diâmetro mínimo para essa classe.

Os maiores valores de diâmetro médio geométrico, independente do sistema de manejo, ocorreram nas camadas superficiais de 0-10 e 10-20 cm. com médias 4,70 e 4,75 mm, respectivamente, apresentando redução com o aumento da profundidade. Estes resultados estão de acordo com a maior dispersão de argila em água (Tabela 5.A) e dos menores teores de carbono orgânico (Tabela 6.A) e índice de floculação (Tabela 2.2) em profundidade, o que contribui para uma menor agregação. Redução nos valores de diâmetro médio geométrico em

profundidade também foram observada em trabalhos conduzidos por Silva e Mielniczuk (1997), Castro Filho et al. (1998), Silva et al. (1998), Beutler et al. (2001) e D'Andréa (2001), em vários sistemas de manejo. No entanto, deve-se ressaltar que, mesmo havendo redução do diâmetro médio geométrico em profundidade, o valor médio da camada de 20-30 cm (4,58 mm) reflete uma elevada estabilidade de agregados.

TABELA 2.3 Valores de diâmetro médio geométrico em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
L	----- DMG (mm)-----			
CCB	4,54	4,67	4,55	4,59
CCBAM	4,62	4,85	4,66	4,71
CCM	4,69	4,68	4,36	4,58
PDM	4,76	4,64	4,67	4,69
CE	4,73	4,77	4,57	4,69
CN	4,87	4,87	4,68	4,81
Média	4,70 a	4,75 a	4,58 b	
C.V. Sistema (%)		3,58		
C.V. Total (%)		2,47		

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Não foram observadas diferenças significativas ($P < 0,05$) nos valores diâmetro médio geométrico dos agregados, nos diferentes sistemas de manejos em relação ao CN. Comportamento semelhante também foi observado por Figueiredo (1998), que também comparou sistemas de manejo, embora cada

sistema, em função das técnicas utilizadas, apresente uma tendência em influenciar o equilíbrio natural com intensidade diferente, como observado em trabalhos conduzidos por Castro Filho et al. (1998); Alvarenga e Davide (1999) e D'Andréa (2001) que observaram redução na estabilidade de agregados em sistemas revolvidos.

Nos sistemas recente de implantação (CCB, CCBAM e CCM), nos quais pratica-se revolvimento do solo, a provável explicação para a continuidade desse equilíbrio deve-se, ao pouco tempo de cultivo (Tabela 1.1), ao sistema rotacional e principalmente ao grande aporte de matéria orgânica oriundo do desmatamento do cerrado, que precedeu a implantação dos sistemas.

Já nos sistemas PDM e CE, com longo tempo de cultivo, a provável explicação para essa semelhança com CN, deve-se, ao não revolvimento do solo nos últimos cinco anos, ao acúmulo de carbono orgânico (palhada e litereira) e à capacidade agregante da gramínea consorciada (*Brachiaria brizanta*) no PDM. Observações de equilíbrio em sistema de plantio direto e a ação de gramíneas também foram realizadas por Carpenedo e Mielniczuk (1990); Campos et al. (1995); Da Ros et al. (1997); Silva et al. (1998) e Stone e Silveira (2001), em latossolos e em solos com horizonte B textural por Paladini e Mielniczuk (1991).

Quanto aos dados referentes às porcentagens de agregados maiores que 2 mm (Tabela 2.4), foi observado que todos os sistemas apresentaram estabilidade de agregados muito alta, conforme proposto na Tabela 4.A, que reporta a porcentagem de 90% como mínima para essa classe.

Com relação as diferentes profundidades verifica-se, independentemente do sistema de manejo, que as maiores médias foram observadas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, 97,7 e 98,2%. Mesmo assim, o valor relativo à camada mais profunda (96,7% de agregados > 2 mm) ainda é muito alto refletindo a elevada estabilidade de agregados do solo nos sistemas estudados.

TABELA 2.4 Porcentagem de agregados maiores que 2 mm em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
	----- > 2 mm (%) -----			
CCB	96,8	97,7	95,9	96,8
CCBAM	96,9	98,9	97,2	97,7
CCM	97,4	97,6	98,0	97,7
PDM	98,4	97,2	97,3	97,6
CE	98,2	98,3	96,6	97,7
CN	99,4	99,3	97,4	98,7
Média	97,7 a	98,2 a	96,7 b	
C.V. Sistema (%)		1,6		
C.V. Total (%)		1,1		

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

A estabilidade de agregados expressa através da porcentagem de agregados menores que 0,25 mm está apresentada na Tabela 2.5. Nesse atributo verificou-se interação significativa ($P < 0,05$) entre os sistemas de manejo e as profundidades estudadas (Tabela 1.A).

Foi observado um acréscimo na porcentagem de agregados $< 0,25$ mm com o aumento da profundidade no sistema CCM. Esse comportamento pode ser explicado pela redução nos teores de carbono orgânico em profundidade no perfil do solo (Tabela 6.A), aliando-se ainda a uma textura menos argilosa nesse sistema (Tabela 2.1), concordando com Campos et al. (1995); Castro Filho et al. (1998), Palmeira et al. (1999), Beutler et al. (2001) e D'Andréa (2001) que também observaram redução do tamanho dos agregados em sistemas convencionais.

TABELA 2.5 Porcentagem de agregados menores que 0,25 mm em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
	----- < 0,25 mm (%) -----		
CCB	0,89 aA	0,88 aA	1,00 aB
CCBAM	0,89 aA	0,30 aA	0,88 aB
CCM	0,66 bA	0,91 bA	2,45 aA
PDM	0,66 aA	0,68 aA	0,69 aB
CE	0,84 aA	0,58 aA	1,15 aB
CN	0,42 aA	0,31 aA	0,71 aB
C.V. Sistema (%)		58,75	
C.V. Total (%)		47,07	

*Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

No entanto, apesar de terem sido verificadas interações significativas ($P < 0,05$) entre os sistemas de manejo e as profundidades, para as porcentagens de agregados menores que 0,25 mm, deve-se considerar que, por se tratar de um solo com elevada estabilidade de agregados, os valores observados tornam-se pouco expressivos, e nessas condições torna-se mais conveniente à utilização do diâmetro médio geométrico e a porcentagem de agregados maiores que 2 mm para a expressão da estabilidade de agregados, o que concorda com observações de D'Andréa (2001).

2.3.4 Densidade do solo

Os resultados das determinações da densidade do solo são apresentados na Tabela 2.6. Não foi verificada diferença estatística dentro de cada

profundidade, no entanto, diferença significativa ($P < 0,05$) foi observada entre as médias das profundidades.

TABELA 2.6 Valores de densidade do solo em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
	----- Ds (kg dm ⁻³) -----			
CCB	1,03	1,17	1,11	1,10 B
CCBAM	1,17	1,22	1,13	1,17 A
CCM	1,08	1,05	1,03	1,05 B
PDM	1,17	1,18	1,14	1,16 A
CE	1,04	1,15	1,02	1,07 B
CN	1,08	1,11	1,05	1,08 B
Média	1,09 b	1,15 a	1,08 b	
C.V. Sistema	(%)	6,3		
C.V. Total	(%)	4,7		

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Os maiores valores de densidade do solo foram observados na camada de 10-20 cm, entretanto, tal comportamento não pode ser caracterizado como “pé-de-grade”, uma vez que esse acréscimo apresentou-se generalizado em todos os sistemas e não ter sido observada diferença estatística entre os sistemas dentro dessa profundidade, o que torna válida a inferência de que esse comportamento seja um adensamento natural. Por outro lado, os menores valores de densidade do solo, foram observados nas camadas de 0-10 e 20-30 cm, o que pode ser explicado pelos maiores revolvimentos da camada superficial nos sistemas

convencionais (CCB, CCBAM e CCM) e por uma maior estruturação do solo pela ação dos microrganismos decompositores da matéria orgânica nos sistemas não revolvidos (PDM, CE e CN), além da ação dos sistemas radiculares ao longo dos anos.

Quanto à semelhança nos valores da camada de 20-30 cm, isso retrata que os sistemas convencionais jovens não alteraram ainda a estrutura do solo o suficiente para diferir os valores de densidade do solo da condição de equilíbrio, o CN, e que os sistemas não revolvidos estão restabelecendo a condição de equilíbrio.

Entre os diferentes sistemas de manejo estudados, foi observada diferença significativa ($P < 0,05$) apenas nos sistemas CCBAM e PDM, os quais apresentaram-se estatisticamente superiores ao CN. No sistema PDM, o aumento da densidade do solo provavelmente está relacionado com a acomodação das partículas do solo após a implantação do sistema de plantio direto, onde em cujo sistema restringe-se o revolvimento do solo apenas nas linhas de plantio, associando-se ainda ao tráfego de máquinas pesadas nas operações de plantios e colheitas (Tormena et al., 1998; Silva et al., 2000). Já no sistema CCBAM, esse comportamento pode ser explicado pela desagregação e empacotamento das partículas do solo, através do intenso uso de máquinas e implementos agrícolas, em condições muitas vezes inadequadas de umidade. Tal prática, leva a degradação estrutural e conseqüentemente aumento a densidade do solo (Dias Júnior e Pierce, 1996).

Os valores médios da densidade do solo para os sistemas estudados variaram de 1,05 a 1,17 kg dm^{-3} , podendo ser considerados como baixos, segundo Arshad et al. (1996) que reportam para solos argilosos, o limite prejudicial para o desenvolvimento radicular, de 1,5 kg dm^{-3} , e Derpsch et al. (1991), que relatam apenas 1,2 kg dm^{-3} , como limite abaixo do qual não ocorrerá

problemas de enraizamento ou aeração, ao contrário dos valores superiores a $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$.

2.3.5 Porosidade total e distribuição de poros por tamanho

Os resultados das determinações do volume total de poros são apresentados na Tabela 2.7. Independente do sistema de manejo adotado, observou-se uma redução nos valores de volume total de poros nas camadas superficiais (0-10 e 10-20 cm), sendo, mais pronunciada na camada de 10-20 cm, o que esta de acordo com o comportamento da densidade do solo nessa mesma camada. Este comportamento, é em grande parte considerado como de efeito natural, uma vez que também estar presente no sistema CN. Como tentativa de explicação para a parte do comportamento considerada natural, alguns pesquisadores especulam o fato através da redução da influência da matéria orgânica depositada na camada superficial, e da atividade microbiana, como verificada no presente estudo (Tabela 2.B). Reduções da porosidade nessa camada também foi observada na mesma região por Chagas et al. (1997), e em outras regiões do Brasil, também de cerrado por Beutler et al. (2001) e D'Andréa (2001). Dessa forma, torna-se importante ressaltar a necessidade de se usar um sistema em equilíbrio como padrão comparativo, uma vez que, na ausência do mesmo, este efeito ficaria despercebido ou inserido, na densidade do solo, como efeito que decorre unicamente do manejo.

Menores valores de volume total de poros foram observados nos sistemas CCB, CCBAM e PDM, os quais diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) do sistema CN. O CCB é um sistema altamente exigente em preparo, o que pulveriza o solo, e conseqüentemente favorece o rearranjo das partículas tanto natural inicialmente, como por tráfego de máquinas na realização dos tratamentos culturais, como observado por Stone e Silveira (2001), em outros sistemas convencionais de manejo intensamente revolvidos.

TABELA 2.7 Valores de volume total de poros em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
	----- VTP (%) -----			
CCB	57	52	56	55,0 B
CCBAM	53	51	55	53,0 B
CCM	55	56	57	56,0 A
PDM	52	52	55	53,8 B
CE	58	53	59	56,7 A
CN	56	55	58	56,7 A
Média	55,2 b	53,2 c	57,7 a	
C.V. Sistema (%)		5,4		
C.V. Total (%)		3,6		

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

No sistema CCBAM, considerado como uma evolução conservacionista do sistema CCB, por praticar sucessão e rotação de cultivo (Tabela 1.1), não foi observado acréscimo nos valores de volume total de poros em relação ao sistema CCB. Entretanto, essa semelhança com o sistema CCB, não invalida o uso da sucessão e rotação de cultivo, pois neste sistema, pode estar ocorrendo uma redução na velocidade de rearranjo (acomodação) das partículas do solo, através do efeito estruturador do sistema radicular das gramíneas no caso aveia (Albuquerque et al., 1995; Tormena et al., 1998; Silva e Rosolem, 2001 e Stone e Silveira, 2001). O efeito das gramíneas também se aplica no sistema PDM, o qual, além do milho como cultura principal, ainda realizou a ressemeadura com capim *Brachiaria brizanta* nos dois últimos anos de cultivo, observações

benéficas com essa brachiaria também foram verificadas por Silva e Mielniczuck (1997) e Silva et al. (1998).

A distribuição do tamanho de poros expressa através da microporosidade é apresentada na Tabela 2.8. Foi observada interação significativa ($P < 0,05$) entre os sistemas de manejo e as profundidades (Tabela 1.A).

TABELA 2.8 Valores de microporosidade em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
	----- Microporosidade (%) -----		
CCB	38 bB	43 aA	44 aA
CCBAM	43 aA	41 aB	43 aA
CCM	44 aA	46 aA	46 aA
PDM	47 aA	47 aA	46 aA
CE	40 bB	46 aA	47 aA
CN	38 aB	37 aC	38 aB
C.V. Sistema	(%)	7,4	
C.V. Total	(%)	5,2	

*Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando o efeito da profundidade dentro de cada sistema, foi observada na camada superficial (0-10 cm) uma redução dos valores da microporosidade nos sistemas CCB e CE, o que pode ser explicado pelo revolvimento do solo promovido pela colheita, realizada em período próximo as amostragens do solo no sistema CCB e pela ação microbiológica, sobre a

matéria orgânica e raízes na camada superficial do sistema CE. Quanto aos sistemas CCBAM, CCM e PDM, não foi verificada diferença significativa, em relação ao CN.

Para o efeito de sistemas dentro de profundidade, observou-se, na camada de 0-10 cm, valores mais altos nos sistemas CCBAM, CCM e PDM, (43, 44 e 47% respectivamente) em comparação ao CN, que apresentou apenas 38% de microporosidade, o que reflete a interferência do manejo na redução do tamanho dos poros. 256

Na camada de 10-20 cm, todos os sistemas mostraram-se superiores ao CN com relação a microporosidade, porém esse efeito foi menos expressivo no sistema CCBAM, no qual foi observado uma redução da porosidade total (Tabela 2.7) e da macroporosidade (Tabela 2.9), o que se aplica para todos os sistemas em relação ao CN, na profundidade de 20-30 cm.

Os valores da microporosidade variaram entre 37 e 47% nos sistemas CN e PDM, respectivamente. Os altos valores de microporosidade estão relacionados com os altos teores de argila total (Tabela 2.1), o que, segundo Grohmann e Medina (1962) e Thurler (1989), favorecem a formação de microporos no solo, também observados por Chagas (1994), na mesma região.

A distribuição de poros por tamanho expressa através da macroporosidade está apresentada na Tabela 2.9.

Os menores valores de macroporosidade foram observados na camada subsuperficial de 10-20 cm. Essa redução, também foi verificada nos valores de volume total de poros (Tabela 2.7), onde as prováveis explicações já foram relatadas. Foi verificada diferença significativa ($P < 0,05$) entre os diferentes sistemas de manejo, e o sistema CN, como também observadas em trabalhos desenvolvidos por Tormena et al. (1998) e Beutler et al. (2001), o que demonstra uma sensibilidade desse atributo na detecção das alterações impostas pelos diferentes sistemas de manejo, na condição natural.

TABELA 2.9 Valores de macroporosidade em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
	----- Macroporosidade (%) -----			
CCB	19	9	12	13,3 B
CCBAM	10	10	13	11,0 B
CCM	11	10	11	10,7 B
PDM	5	5	9	6,3 B
CE	18	7	12	12,3 B
CN	18	18	20	18,7 A
Média	13,5 a	9,8 b	12,8 a	
C.V. Sistema (%)		44,8		
C.V. Total (%)		32,6		

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

2.3.6 Condutividade hidráulica do solo saturado

Os valores de condutividade hidráulica do solo saturado para os sistemas de manejo estudados são apresentados na Tabela 2.10.

Entre os diferentes sistemas de manejo estudados, não foi observada diferença significativa ($P < 0,05$) em relação ao CN dentro de cada profundidade, porém diferença entre as médias de cada profundidade foi observada. Os maiores valores de condutividade hidráulica do solo saturado, foram observados na camada superficial (0-10 cm), com a média de $203,2 \text{ mm h}^{-1}$. Nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, foi verificada uma redução na condutividade hidráulica, apresentando as médias de $35,8$ e $81,3 \text{ mm h}^{-1}$ respectivamente. Essa redução, está relacionada com o aumento da densidade do solo (Tabela 2.6) e uma consequente diminuição da macroporosidade (Tabela 2.9).

TABELA 2.10 Condutividade hidráulica do solo saturado em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
	----- Ks (mm h ⁻¹) -----			
CCB	334,6	42,6	45,0	140,7
CCBAM	21,7	29,8	49,6	33,7
CCM	41,7	49,4	35,4	42,2
PDM	25,0	13,8	54,6	31,1
CE	155,2	41,3	116,6	104,4
CN	640,9	38,0	186,4	288,4
Média	203,2 a	35,8 b	81,3 b	
C.V. Sistema (%)		161,2		
C.V. Total (%)		160,2		

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto às reduções nos valores de condutividade hidráulica com o aumento da profundidade, tornam-se preocupante quanto ao armazenamento de água no solo, uma vez que essa restrição na camada de 10-20 cm, limita o volume de água armazenado em profundidade.

Quanto aos sistemas de manejo, não foi observada diferença significativa, o que pode ser explicado pela alta variabilidade das leituras, apesar de bem contrastantes entre os sistemas. Valores com alta variabilidade de condutividade hidráulica, também foram observados por Sales (1992), Figueiredo (1998) e Beutler et al. (2001). Por outro lado, quando as médias dos sistemas são referidas pela classificação da Soil Surves Staff (1993) (Tabela 2.C), foi observado comportamento diferenciado dos sistemas de manejo em relação ao CN. Os sistemas CCBAM, CCM e PDM apresentaram condutividade

de lenta a moderada, o CE como moderada, e de moderada a rápida no sistema CCB e rápida no CN, devido a sua maior macroporosidade (Tabela 2.11). Já quando se usa os limites determinados por Olson et al. (1996), todos os sistemas são considerados como de alta permeabilidade, não permitindo diferenciá-los em relação ao CN.

2.3.7 Resistência do solo à penetração

Os comportamentos dos diferentes sistemas de manejo quanto a resistência à penetração vertical são apresentados na Figura 2.1. Foi verificado um aumento da resistência à penetração com o aumento da profundidade.

Na camada de 0-10 cm, os maiores valores de resistência à penetração foram observados nos sistemas CE e PDM, em relação ao CN. No entanto, mesmo com valores mais elevados nessa camada, a condição apresentada por estes sistemas ainda não oferecem resistência significativa ao desenvolvimento radicular. A camada superficial é bastante influenciada por, implementos agrícolas, biota do solo, matéria orgânica e raízes. Estes fatores estão contribuindo para redução dos valores da densidade e aumento da porosidade do solo (Tabela 2.6 e 2.8). O conjunto desses fatores ou mesmo individualizados com maior expressão, reduzem a resistência à penetração nessa camada, apresentando nesse caso valores inferiores a 2 MPa, considerado como limite por Arshad et al. (1996) (Tabela 3.C). No sistema PDM foi observada resistência à penetração superior a 1,5 MPa, valor que segundo Grant e Lanford (1993), é considerado impeditivo, com redução significativa na produtividade das culturas.

Quanto à camada de 10-20 cm, os maiores valores de resistência à penetração, também foram observados nos sistemas CE e PDM, em relação ao CN.

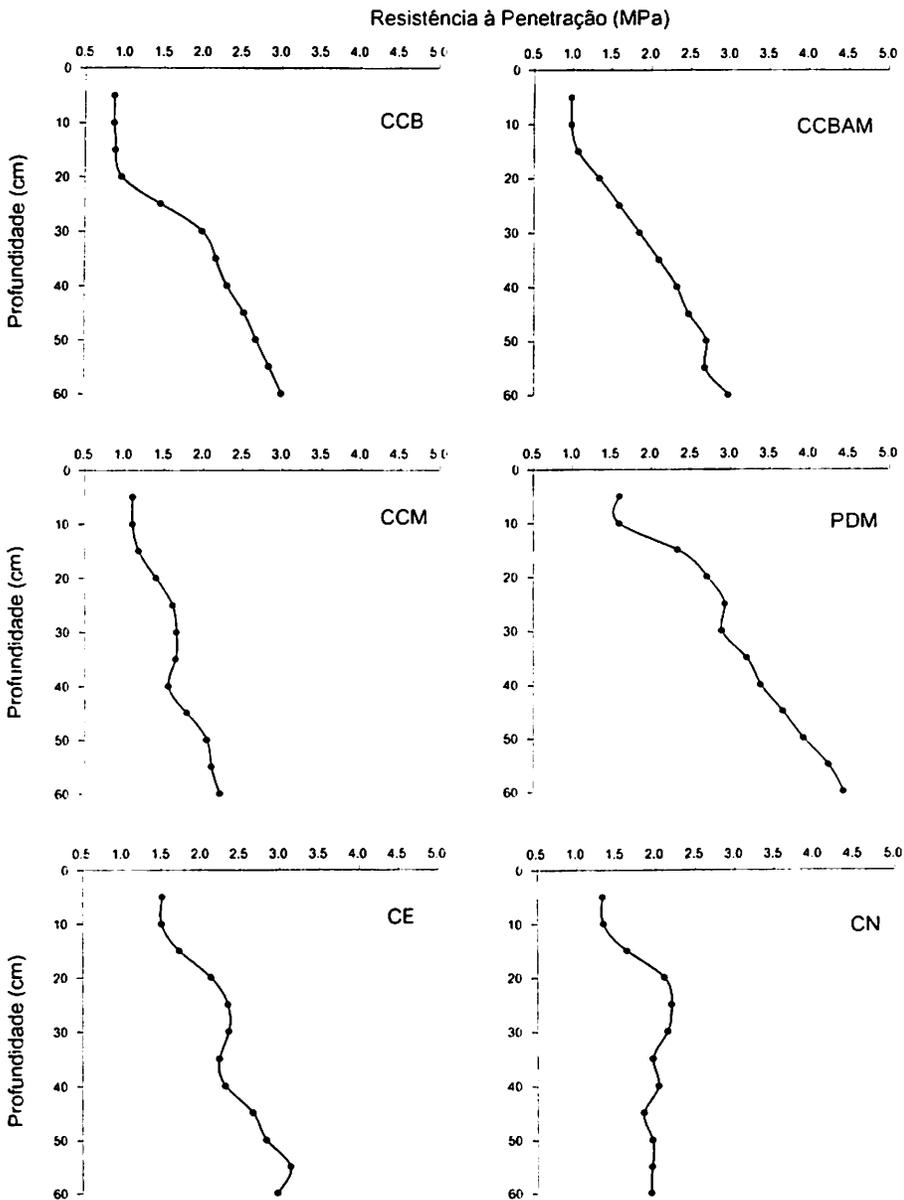


FIGURA 2.1 Resistência à penetração em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Nessa profundidade, até mesmo o CN ofereceu resistência prejudicial ao desenvolvimento radicular, segundo Grant e Lanfond (1993) e Arshad et al., (1996). Entretanto, quando referenciados segundo Ehlers et al., (1983), estes sistemas ainda não estão oferecendo restrição significativa ao desenvolvimento radicular. Segundo os mesmos autores, em sistemas conservacionistas, que apresentam menores revolvimento no solo e acumulam mais matéria orgânica, existe uma tendência em haver maior eficiência de raízes e microrganismos na sua ação estruturadora do solo, permitindo maior amplitude dos limites de resistência à penetração, sendo considerado nessa condições o limite restritivo de 5 MPa.

No sistema PDM, foi observado um aumento mais acentuado da resistência à penetração nessa camada, variando de 1,6 MPa aos 10 cm profundidade a 2,7 MPa aos 20 cm. Esse incremento deve-se aos maiores valores de densidade do solo nessa profundidade (Tabela 2.6), em áreas cultivada por longo período sob sistemas convencionais e recentemente sob adoção do sistema de plantio direto, como no presente estudo. A explicação para esse comportamento baseia-se no histórico de uso pouco conservacionista durante o período sob sistema convencional, que iniciou-se com cultivo de batata, (safra 86/87), seguido por arroz (87/89) e posteriormente, um monocultivo com milho até a safra 96, período em que foi implantado o sistema PDM. Mediante esse histórico, mesmo não sendo realizado testes de resistência à penetração anteriormente, nos leva a deduzir que esse acréscimo, em relação ao CN, não se deve unicamente ao sistema PDM, mas também a um efeito acumulado do período em que o solo esteve sob cultivo convencional, onde depois de cessados os revolvimentos do solo com preparo, correu rearranjo das partículas do solo aumentando a sua densidade (Tabela 2.6), nessa camada.

Essa dedução nos leva a sugerir também que, o sistema de plantio direto, em função de sua estabilidade, esteja agindo como um redutor da resistência à

penetração, conforme verificado através da sinuosidade da curva deslocando para a origem, nas camadas superficiais, e um aumento da resistência à penetração nas camadas inferiores (Figura 2.1), onde provavelmente a potencialidade estruturadora do sistema PDM ainda está se estabelecendo.

No sistema CE, onde também foram observados valores de resistência à penetração maiores do que o sistema em equilíbrio (CN), a diferença foi de apenas 0.02 MPa em relação ao CN, que segundo Arshad et al., (1996) é considerado muito baixa, demonstrando que esse sistema em função do não revolvimento do solo, por longo período, está atingindo a condição de equilíbrio, na camada de 10-20 cm.

Na camada de 20-30 cm, os sistemas apresentaram o mesmo comportamento observado na camada de 10-20 cm, no entanto, com valores mais elevados de resistência nos sistemas CE e PDM, os quais apresentaram valores de resistência à penetração superior a condição de equilíbrio (CN), provavelmente devido a uma menor atividade dos elementos estruturadores do solo. Segundo Grant e Lanfond (1993) e Arshad et al. (1996) os valores apresentados nestes sistemas, conferem uma camada impeditiva ao desenvolvimento radicular, ao contrário de quando referido Ehlers et al. (1983), por serem sistemas conservacionistas, conforme já relatado.

Nas profundidades maiores que 30 cm, consideradas como de menores transformações em relação às camadas superficiais, o sistema em equilíbrio (CN) apresentou um comportamento uniformizado em torno de 2 MPa, ao contrário dos demais sistemas, que apresentaram aumentos na resistência à penetração com o aumento da profundidade, mas sempre entre 2 MPa e 5 MPa. Os maiores incrementos nos valores de resistência à penetração com o aumento da profundidade foram observados nos sistemas CCB, CCBAM e PDM. Ressalta-se, que coincidentemente, esses sistemas cultivaram batata em seu primeiro ciclo de cultivo, o que provavelmente esteja relacionado com a

semelhança de comportamento entre esses sistemas, caracterizando assim o alto efeito degradativo do manejo aplicado para o cultivo de batata.

As determinações de resistência à penetração foram realizadas no solo com umidade em torno de $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 3.A) o que é relativamente alta, tornando-se nessas condições reduzidas as forças de coesão entre as partículas do solo (Beltrame et al., 1981), e portanto, oferecendo menor resistência ao desenvolvimento radicular, o que torna preocupante quanto ao desenvolvimento radicular em períodos de veranico, já que se trata de um solo muito argiloso.

2.4 CONCLUSÕES

1. Os sistemas conservacionistas plantio direto com milho e cultivo com eucalipto, em função dos menores revolvimento do solo apresentaram as menores alterações em relação ao sistema cerrado nativo.
2. Os atributos menos alterados foram o índice de flocculação e a estabilidade de agregados, independente do sistema de manejo em relação ao sistema cerrado nativo.
3. Dos sistemas de manejo estudados apenas o sistema plantio direto com milho apresentou redução nos valores de resistência à penetração da camada superficial pela estruturação do solo.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuros e a sustentabilidade de agroecossistemas **Revista Brasileira de Ciências de Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-942, out./dez. 1999.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, R. Physical Test for Monitoring Soil Quality. In DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. SSSA. Special Publication Number, 49.

BELTRAME, L. F. S.; GONDIM, L. A. P.; TAYLOR, F. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 5, n. 3, p. 145-149, set./dez. 1981.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 167-177, jan./mar. 2001b.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density, In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986a. v.1, p.363-375.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.377-382.

BRASIL. Ministerio das Minas e Energia. Radambrasil. Folhas SF 23/24. Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro. **Levantamento dos Recursos-Naturais**, v. 32, 1983. p.775.

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. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, jan./abr. 1990.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico total 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, n. 3, p. 527-538, jul./set. 1998.

CHAGAS, C. S. **Associação de Latossolo Variação Una e Latossolo Vermelho-escuro efeito diferencial da orientação dos estratos de rochas pelíticas pobres**. 1994. 124p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

CHAGAS, C. S.; CURI, N.; DUARTE, M. N.; MOTTA, P. E. F.; LIMA, J. M. Orientação das camadas de rocha metapelíticas pobres na gênese de latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 539-548, maio 1997.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. v. 21, n. 2, p. 241-247, abr./jun. 1997.

D'ANDRÉA, A. F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Sul de Goiás**. 2001. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

- DANIELSON, R. E; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed). **Methods of Soil Analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p.443-461.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p.545-566.
- DERPSCH, ROTH, SIDIRAS ET A L., Controle de erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. **Eschborn: GT2-IAPAR**, 1991. p.272.
- DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 175-182, mai/ago. 1996.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America. 1994. p.3-21. SSSA Special publication, 35.
- EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BOHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, p. 261-275, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.
- FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Física do solo**. Lavras: UFLA-FAEPE, 1988. p.63.
- FERREIRA, M.M. **Física do solo**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 63p.

FIGUEREDO, L. H. A. **Propriedades físicas e mecânicas de um LR. submetido a diferentes sistemas de manejo.** 1998. (Dissertação–Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras–MG.

GRANT, C. A.; LANFOND, G. P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, n. 2, p. 223-232, May 1993.

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 21, p. 319-329, abr. 1960.

GROHMANN, F.; MEDINA, H. P. Características de umidade dos principais solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, p. 285-295, mar. 1962.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal Soil Water and Conservation**, Ankeny, v. 55, n. 1, p. 69-78, Jan./Mar. 2000.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis, Part 1.** Physical and Mineralogical Methods. 2.ed. 1986. p.425-441. Agronomy Monograph, 9.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SATANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 85-90, jan./abr. 1990.

OLIVEIRA, M. de; CURI, N.; FREIRE, J. C. Influência do cultivo na agregação de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 317-322, abr./jun. 1983.

OLSON, G. L.; MCQUAID, B. F.; EASTERLIBG, K. N.; SCHEYER, J. M. Quantifying soil condition and productivity in Nebraska. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.357-369.

PALADINI, F. L. dos S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 135-140, maio/ago. 1991.

PALMEIRA, P. R. T.; PAULETO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 189-195, abr./jun. 1999.

RESENDE, M.; KER, J.; BAHIA FILHO, A. F. C. Desenvolvimento sustentado no cerrado. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfa climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCE/UFV/DPS, 1996. p.169-199.

SALES, L. E. O. **Variabilidade espacial da velocidade de infiltração básica associada a propriedades físicas das camadas superficial e subsuperficial de dois solos d região de Lavras (MG)**. 1992. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras – MG.

SILVA, I. de F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 1, p. 113-117, Jan./mar. 1997a.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P. H.; CURTI, N.; LIMA, J. M. de; MARQUES, J. J. G. de S. E M.; CARVALHO, A. M. de. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, jan. 1998.

SILVA, V. R; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 191-199, jan./mar. 2000.

SILVA, R H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 253-260, mai./ jun. 2001.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**, Washington, USDA - SCS. U.S. GOV. Print. Office, 1993.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-235, set./dez. 1991.

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

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 395-401, abr./jun. 2001.

THURLER, A. M. **Estimativa da macro e microporosidade através da granulometria e densidades de partículas e do solo**. 1989. 66p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 301-309, abr./jun. 1998.

VIERA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 873-882, jul. 1985.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, Jan./June 1934.

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

CAPÍTULO 3

***SILVA, R. R. Qualidade do solo avaliada através dos atributos bioquímicos e químicos em sistemas de manejo da região Campos das Vertentes, Bacia Alto do Rio Grande-MG. Lavras, UFLA, 2001. Cap. 3. 33p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas).**

RESUMO

A necessidade de aumentar a produção agrícola brasileira resultou na expansão das áreas cultivadas no cerrado, acelerando o processo de degradação desses solos. Diante disso, objetivou-se avaliar a qualidade do solo através dos atributos bioquímicos e químicos indicadores das alterações impostas pelos diferentes sistemas de manejo, em relação ao cerrado nativo, na região Campos das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande-MG. Para tanto foram coletadas amostras nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico. Os atributos avaliados foram: biomassa microbiana (B_{mic}), quociente microbiano (C_{mic}/C_{Ototal}) e metabólico do carbono (qCO₂), e o estoque de carbono total (EstC), nos sistemas: cultivo convencional com batata (CCB); cultivo convencional com batata, sucedido com aveia e rotacionado com milho (CCBAM); cultivo convencional com milho (CCM); plantio direto com milho (PDM); cultivo com eucalipto (CE); e cerrado nativo (CN). Os sistemas de manejo reduziram o B_{mic} do solo, com exceção dos sistemas CCM e CE, que mantiveram semelhança com o CN nas camadas de 10-20 e 20-30 cm. De modo geral, o quociente microbiano do solo é reduzido, exceto no sistema CE na camada de 20-30 cm e o CCM nas camadas 10-20 e 20-30 cm. Os maiores revolvimentos do solo nos sistemas CCB e CCBAM, aumentaram os valores do quociente metabólico, devido à redução da biomassa e o aumento da respiração basal. O estoque de carbono orgânico do solo foi aumentado no sistema PDM, e mantido nos demais sistemas em função do pouco tempo de cultivo e das elevadas adições de resíduos orgânicos.

* Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva (Orientador), Mozart Martins Ferreira e Nilton Curi - UFLA.

ABSTRACT

SILVA, R. R.. Soil quality evaluated through biochemical and chemical attributes on management systems at Campos das Vertentes region, Alto Rio Grande-MG watershed. Lavras: UFLA, 2001. Chapter 3. 33p. (Dissertation–M.Sc. in Soils and Plant Nutrition)*

The need of increasing the Brazilian agricultural production resulted in the expansion of the cultivated areas in the cerrado region, this study aimed to evaluate the soil quality through biochemical and chemical attributes indicators of alterations imposed by the different management systems in relation to the native cerrado at Campos das Vertentes region, Alto Rio Grande-MG watershed. For that, samples were collected at 0-10, 10-20 and 20-30 cm depths from a typic Acric Red-Yellow Latossol (Oxisol). The evaluated attributes were: carbon microbial biomass (CMB), microbial quotient (CMB/OC) and metabolic quotient of carbon (qCO_2), and the stock of total carbon (stC). The following management systems were studied: conventional tillage with potato (CPT); conventional tillage with potato, followed by oat and in rotation with corn (CTPOC); conventional tillage with corn (CTC); no-till with corn (NTC); cultivation with eucalyptus (CE); and native cerrado (NC). The management systems reduced the CMB, with exception of the CTC and CE systems, which maintained similarity with the NC in the 10-20 cm and 20-30 cm depths. In general, the soil microbial quotient is reduced, except in the CE in the 20-30 cm depth and the CTC in the 10-20 cm and 20-30 cm depths. The higher soil movements in the CTP and CTPOC systems increased the metabolic quotient values due to the biomass reduction and the increment of basal respiration. The soil organic carbon stock was increased in the NTC and was maintained in the other management systems as a function of the short cultivation time and the high additions of organic residues.

* Guidance Committee: Marx Leandro Naves Silva-UFLA (Major Professor), Mozart Martins Ferreira and Nilton Curi-UFLA.

3.1 INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a produção agrícola brasileira resultou na expansão das áreas cultivadas no cerrado. Isso ocorreu devido à localização estratégica e às características físicas dos solos que facilitam a mecanização. Entretanto, tem sido observado um acelerado processo de degradação desses solos, ocasionando redução da sua sustentabilidade e qualidade em função do manejo inadequado, tanto no uso para produção agrícola, quanto para produção de florestas energéticas (Resende et al., 1996).

Para avaliar a sustentabilidade do solo, vários atributos físicos, bioquímicos e químicos, são utilizados como indicadores da qualidade do solo. Os atributos bioquímicos e químicos são de grande importância pois apresentam alta sensibilidade às mudanças decorrentes das práticas agrícolas. Entre os atributos bioquímicos, estão a biomassa microbiana, a respiração, e os quocientes metabólico e microbiano do carbono, os quais influenciam no controle do estoque de carbono no solo.

A biomassa microbiana, considerada como a parte viva e lábil da matéria orgânica, é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia dentro do solo, exercendo sua influência tanto na transformação da matéria orgânica, quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais, controlando a liberação e a imobilização dos mesmos na maior parte dos ecossistemas terrestres (Srivastava e Singh, 1991; Wradle, 1992). Além de armazenadora de nutrientes, a biomassa microbiana é destacada por servir como indicador rápido das mudanças no solo, quando material orgânico é a ele incorporado, e como indicador sensível à interferência na condição de equilíbrio (Grisi, 1995).

A biomassa microbiana por ser dinâmica, nunca deve ser analisada isoladamente como a única maneira de se estimar a situação das populações de

microrganismos (Grisi, 1996). Em função da extrema heterogeneidade no ambiente natural da microbiota e da sua biodiversidade, ela deve ser analisada juntamente com outros atributos como, a atividade e/ou quocientes correlatos (Anderson e Domsch, 1989).

O quociente metabólico do carbono (qCO_2) é a taxa de respiração específica da biomassa (Anderson e Domsch, 1993). Este quociente é expresso em quantidade de CO_2 emanado para a atmosfera pela quantidade de carbono da biomassa ao longo do tempo. Dessa forma, este atributo é considerado muito importante para a avaliação das alterações nas condições ambientais através da atividade microbiana do solo. Os maiores valores são encontrados em condições mais adversas à população microbiana, ou seja, nos locais mais estressantes, ocorrendo maior consumo de C oxidável para a manutenção e adaptação da microbiota à nova condição.

O quociente microbiano (C_{mic}/C_{total}), obtido pela relação carbono microbiano por carbono orgânico total do solo, expressa a quantidade de carbono que está imobilizada na biomassa microbiana. Esse por sua vez, tem sido considerada como boa indicadora das alterações nos processos do solo (Carter, 1986; Isan e Domsch, 1991; Sparling, 1992; Alvarez et al., 1995). Os maiores valores são observados em condições menos perturbadas. Em condições de solos tropicais, o quociente microbiano varia entre 1 e 4% do teor de carbono orgânico total do solo (Jenkinson e Ladd, 1981), cujos valores dependem da intensidade da interferência imposta pelos sistemas de manejo, podendo expressar o acúmulo ou perda de C no solo.

O estoque de carbono orgânico no solo, é o produto da ação dos atributos bioquímicos acima citados sobre a matéria orgânica do solo, o qual dependendo das práticas de manejo poderá aumentar ou reduzir o seu estoque no solo. A quantidade de carbono armazenada, possui relação direta com a taxa de adição de resíduos vegetais e inversa à velocidade de decomposição da matéria

orgânica, a qual é influenciada pelo grau de aeração, relação C/N e natureza dos resíduos vegetais (Alexander, 1977).

A redução na fertilidade natural do solo é uma das principais conseqüências do processo de decomposição acelerada ocasionada pelo excesso de revolvimento em sistemas convencionais de manejo. Isto deve-se ao fato de que em solos tropicais muito intemperizados, predominam argilas de baixa atividade, tornando a matéria orgânica de extrema importância, pois, além de ser a principal matriz de cargas para a CTC do solo, é também o principal reservatório de nutrientes para as plantas. Desta forma, o conhecimento do estoque e balanço de carbono no solo em sistemas naturais e agrossistemas, na região dos cerrados, são necessários para o desenvolvimento de tecnologias que permitam o estabelecimento de sistemas sustentáveis, além de possibilitar a análise do comportamento do solo como fonte ou dreno de CO₂ para a atmosfera.

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a qualidade do solo através dos atributos bioquímicos e químicos (biomassa microbiana, quociente microbiano, quociente metabólico do carbono e o estoque e balanço de carbono orgânico total no solo) indicadores das alterações na qualidade do solo impostas pelos diferentes sistemas de manejo, em relação ao cerrado nativo, na região Campos das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local, clima, solo, sistemas estudados e análise estatística

A caracterização do local, clima, solo, sistemas e análise estatística estão descritos no item material e métodos do Capítulo 1.

3.2.2 Análises de laboratório

As amostras foram coletadas através da abertura de minitrincheiras, sendo parte preparada como terra fina seca ao ar (TFSA) e a outra conservada a 4 °C. O carbono orgânico total foi determinado em TFSA por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulado com sulfato ferroso amoniacal (Walkley e Black, 1934).

Com as amostras conservadas foram determinados o carbono da biomassa microbiana (Cmic) pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987) e a taxa de respiração microbiana (respiração basal) estimada pelo CO₂ evoluído (Isermeyer, 1952 citado por Alef e Nannipieri, 1995).

O quociente microbiano foi calculado pela relação carbono microbiano (Cmic) por carbono orgânico total (COtotal), expresso em porcentagem, usando a seguinte fórmula (Cmic/COtotal)*100, segundo Anderson e Domsch (1995).

O quociente metabólico (qCO₂) foi calculado através da divisão da respiração basal pela biomassa microbiana (Anderson e Domsch, 1993).

O carbono acumulado em cada camada do solo estudada (estoque de carbono orgânico) foi calculado utilizando a expressão:

$$\text{EstC} = (\text{COtotal} * \text{Ds} * \text{e})/10$$

Onde EstC: estoque de carbono orgânico na camada estudada (Mg ha⁻¹);

COtotal: carbono orgânico total na camada estudada (g kg⁻¹);

Ds: densidade do solo da camada estudada (kg dm⁻³);

e: espessura da camada estudada (cm).

O balanço de carbono foi determinado pela fórmula:

$$BC = (EstCCN - EstCS)/TC$$

BC: balanço de carbono ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

EstCCN: estoque de carbono do cerrado nativo ($Mg\ ha^{-1}$);

EstCS: estoque de carbono de cada sistema avaliado ($Mg\ ha^{-1}$);

TC: tempo de cultivo (anos).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Carbono da biomassa microbiana

Os resultados das alterações na fração lábil de carbono da matéria orgânica, representada pelo carbono da biomassa microbiana, para os diferentes sistemas de manejo e profundidade, são apresentadas na Tabela 3.1. Foram observadas interações significativas ($P \leq 0,05$) entre os sistemas de manejo e as profundidades, para os teores de carbono da biomassa microbiana (Tabela 1.B).

TABELA 3.1 Teores de carbono na biomassa microbiana em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
	----- Cmic (\bullet g g ⁻¹) -----		
CCB	119,1 aC	76,4 aB	60,9 aB
CCBAM	158,2 aC	102,1 aB	159,6 aB
CCM	325,1 aB	511,3 aA	433,7 aA
PDM	343,6 aB	218,6 aB	215,7 aB
CE	381,3 aB	335,4 aA	260,6 aA
CN	966,5 aA	419,0 bA	306,9 bA
C.V. Sistema	(%)	28,48	
C.V. Total	(%)	35,68	

*Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando o efeito de profundidade dentro de cada sistema, foi observado para o carbono da biomassa microbiana diferença significativa

($P \leq 0,05$) apenas no sistema CN, que apresentou redução de 57 e 68%, nas camadas de 10-20 e 20-30 cm respectivamente, em relação à camada superficial. Estes resultados corroboram as reduções de 53 e 54% nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, respectivamente, observadas em trabalho desenvolvido por D'Andréa (2001) na região de cerrado no Sul de Goiás. No entanto, essas reduções são menos expressivas quando comparadas com a de 82% em condição de mata natural da Amazônia, na camada de 20-30 cm, observada por Luizão et al. (1991), e de 79 e 74%, por Geraldês et al. (1995) nas camadas de 10-20 e 20-30 cm respectivamente. Esse comportamento, deve-se às condições menos favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos com o aumento da profundidade em função da menor aeração do solo, e principalmente pela menor disponibilidade de matéria orgânica facilmente decomponível. Em sistema natural, por não sofrer revolvimento por implementos, a incorporação de matéria orgânica em profundidade restringe-se principalmente a pedoturbação biológica, que reduz a diversidade e quantidade da população microbiana em relação à camada superficial, na qual ocorrem as maiores deposições de resíduos vegetais.

Com relação à semelhança nos valores de carbono da biomassa microbiana entre as profundidades nos sistemas CCB, CCBAM, CCM, PDM e CE, a provável explicação, está relacionada com a incorporação em profundidade de resíduos orgânicos facilmente decomponíveis nos sistemas convencionais (CCB, CCBAM e CCM) (Vargas e Scholles, 2000), e a uma maior exploração radicular pelas gramíneas em profundidade no sistema PDM, tanto o milho como cultura principal, quanto pela *Brachiaria brizanta* (cultivada em ressemeadura para cobertura vegetal), o que demonstra grande efeito rizosférico positivo sobre os microrganismos, em função da alta densidade e da sua constante renovação radicular (Rovira, 1978).

Já para o sistema CE, que também apresentou semelhança nos teores de biomassa microbiana entre as profundidades, as prováveis explicações acima

citadas, parecem não serem as mais plausivas para esse sistema, uma vez que não houve revolvimento ou consórcio com gramíneas nos últimos 13 anos. Segundo Alvarenga et al. (1999), tal comportamento pode ser explicado por uma maior presença de substâncias com atividade antimicrobiana depositada na superfície que reduzem a biomassa microbiana na camada superficial (0-10 cm), tornando as condições mais favoráveis para o crescimento da biomassa, em profundidade que tende a igualar aos valores da superfície, mesmo com menores teores de carbono.

No efeito de sistemas dentro de profundidade, todos os sistemas diferiram estatisticamente ($P \leq 0,05$) em relação ao sistema CN na camada de 0-10 cm, o qual apresentou a maior biomassa microbiana na ordem de $966,5 \cdot \text{g g}^{-1}$. Tais diferenças foram mais expressivas nos sistemas CCB e CCBAM, que apresentaram reduções de 88 e 84%, respectivamente, em relação à condição de equilíbrio, o sistema CN. Esta menor perda do sistema CCBAM decorre do efeito do cultivo da aveia em sucessão a batata, promovendo um aporte de resíduo vegetal e um efeito rizosférico sobre os microrganismos (Silva e Mielniczuk, 1997; Bayer e Mielniczuk, 1997). Ressalta-se ainda que, o sistema CCBAM, não deve ser observado apenas como um sistema que perdeu menos biomassa do que o sistema CCB, pois dessa forma, o efeito e a importância da cultura de sucessão não serão pormenorizados. Tendo em vista que, o sistema CCBAM, tenha maior tempo de uso, com dois ciclos de revolvimento em comparação a apenas um ciclo no sistema CCB, era esperado que apresentasse menores valores de biomassa microbiana do que os observados no sistema CCB, tanto pelo maior tempo de uso, quanto pela intensidade do revolvimento. No entanto, isso não foi confirmado, levando a inferência de que o efeito da aveia como contribuinte para a manutenção e elevação nos teores da biomassa, torna-se muito maior do que apenas os 4% da diferença observada.

Em solos cultivados com batata, além dos intensos revolvimentos do solo, outros fatores colaboram para a redução da biomassa microbiana. Entre estes inclui-se a baixa produção de fitomassa pela cultura, resultando em menores adições de resíduos vegetais, perda de umidade por evaporação, aumento da temperatura do solo e aumento da erosão superficial que acelera a perda de substrato e nutrientes. A integração desses fatores, ou mesmo individualizados dependendo da intensidade, leva a formação de um ambiente estressante, extremamente desfavorável ao desenvolvimento microbiano, o que justifica os baixos valores da biomassa nesses sistemas. O efeito de condições estressante na redução dos valores de biomassa microbiano também foi reportado em sistemas convencionais, porém, com outras culturas, por Garcia e Rice (1994) e Vargas e Scholles (2000).

Os sistemas CCM, PDM e CE, também apresentaram perdas da biomassa microbiana em relação ao CN, porém menos acentuadas, com reduções de 66, 64 e 60%, respectivamente. O sistema CCM, por ser um sistema que pratica o revolvimento, não era esperado que apresentasse semelhança estatística ($P \leq 0,05$) com sistemas conservacionistas como o PDM e o CE, pois além de não aplicarem essa prática, ainda apresentam elevados aportes de resíduos orgânicos em superfície. Entretanto, a provável explicação para tal comportamento pode estar relacionada com a qualidade do resíduo vegetal da cultura antecedente que apresenta estreita relação C/N, e principalmente o pouco tempo de cultivo (2 anos) após o desmatamento do cerrado, ainda com elevado aporte de matéria orgânica no solo, fatores que provavelmente estão favorecendo o aumento da biomassa microbiana.

Apesar da semelhança nos teores de biomassa microbiana observada nos sistemas CCM, PDM e CE, torna-se importante relatar que os mesmos estão apresentando tendências de crescimento invertidas nos teores de biomassa microbiana para os próximos ciclos de cultivo. Segundo Mendes et al. (1999), à

medida que os solos sob cerrados são incorporados aos processos agrícolas principalmente os convencionais, ocorrem uma queda acentuada nos níveis da biomassa ao longo dos anos, tudo isso, em função da crescente demanda energética da população microbiana em adaptação as novas condições, e a redução nas adições de matéria orgânica, depois de cessado o efeito inicial de alto aporte promovido pelo desmatamento. Mas, à medida que a capacidade de deposição for aumentando, pelo crescimento da cultura ou por técnicas culturais como a formação da palhada no sistema PDM e formação da liteira no CE, novo equilíbrio, com teores mais elevados de biomassa microbiana tendem a ocorrer, o que dependendo da sua capacidade de deposição podem até mesmo ultrapassar o CN. Entretanto, tal fato não foi confirmado no sistema CE, mesmo após 13 anos de implantação sem intervenção, onde provavelmente já esteja no seu clímax de produção e deposição vegetal, no entanto, apresentou apenas 60% da biomassa observada na condição de equilíbrio, o que reafirma assim, a importância da diversidade, qualidade e quantidade do material depositado ao solo, além da estabilidade de cada sistema para o aumento da população microbiana.

Nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, foi observado que apenas os sistemas CCM e CE não diferiram estatisticamente ($P \leq 0,05$) em relação ao sistema CN, demonstrando que as condições menos favoráveis para o aumento da biomassa microbiana em profundidade, foram menos prevaletentes nos respectivos sistemas, por motivos anteriormente discutidos no efeito de profundidade dentro de sistema. É interessante notar que o sistema CCM, mesmo estatisticamente sendo semelhante ao sistema CN, apresenta uma superioridade em termos de valores absolutos, o que pode ser explicado pelo método de preparo de solo realizado no primeiro ano de cultivo. Neste caso, utilizou-se arado de disco, que promove a inversão da leiva do solo, e conseqüentemente, todo resíduo de folhagem deixado na superfície pelo desmatamento é incorporado em



profundidade (comunicação produtor). Com isso, este preparo de solo promoveu o incremento da biomassa microbiana em profundidade, aliando-se ainda às adições de adubos nitrogenados pela cultura anterior, tanto na forma de resíduo mineral, quanto da fixação biológica, que também aumenta a biomassa microbiana. Este comportamento também foi observado por Angers et al. (1993), em sistemas que envolvem a presença de leguminosas em sistemas rotacionais.

Entre os sistemas estudados o CCB e CCBAM, tornam-se os mais preocupantes, devido às elevadas alterações na qualidade e sustentabilidade do solo avaliada através da biomassa microbiana, uma vez que os mesmos apresentam pouco tempo de implantação (no máximo 2 anos) (Tabela 1.1), para tal efeito.

3.3.2 Quociente microbiano (C_{mic}/C_{Ototal})

Na avaliação do quociente microbiano, foi verificada interação significativa ($P \leq 0,05$), entre os sistemas de manejo e as profundidades estudadas (Tabela 1.B). Este quociente, expresso em porcentagem, reflete quanto do carbono orgânico está imobilizado na biomassa microbiana, sendo os resultados apresentados na Tabela 3.2.

Para o efeito de profundidade dentro de cada sistema, foi observada diferença significativa apenas nos sistemas CCM e CN. Estes sistemas apresentaram tendências contrárias nos seus valores, verificando-se incremento no sistema CCM e decréscimo no sistema CN com o aumento da profundidade. Quanto ao comportamento do sistema CCM, que apresentou menores valores do quociente microbiano na camada de 0-10 cm, pode ser explicado pela sua maior exposição às intempéries climáticas do que as camadas subjacentes. Tal diferença, que não foi detectada na análise da biomassa microbiana (Tabela 3.1),

pode estar indicando que esse atributo esteja demonstrando uma maior sensibilidade como indicador de alterações nas condições ambientais.

TABELA 3.2 Quociente microbiano (C_{mic}/CO_{total}) em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
	----- $C_{mic} CO_{total}^{-1}$ (%) -----		
CCB	0,50 aC	0,38 aC	0,38 aD
CCBAM	0,62 aC	0,52 aC	0,94 aC
CCM	1,14 bB	2,24 aA	2,69 aA
PDM	1,20 aB	0,82 aC	1,01 aC
CE	1,61 aB	1,50 aB	1,54 aB
CN	2,92 aA	1,99 bA	1,82 bB
C.V. Sistema	(%)	26,42	
C.V. Total	(%)	24,53	

*Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Com relação ao efeito de sistema dentro de cada profundidade, na camada de 0-10 cm, todos os sistemas diferiram estatisticamente ($P \leq 0,05$) em relação ao sistema CN. Estes sistemas apresentaram o mesmo comportamento estatístico dos valores de biomassa microbiana na Tabela 3.1, onde também se aplicam as mesmas discussões. Ao observar os valores do quociente microbiano nessa camada, torna-se bem descritível o efeito negativo da intensidade do revolvimento do solo que decresce na seguinte ordem: CCB > CCBAM > CCM

> PDM > CE > CN, e da exposição da superfície do solo às ações climáticas, na redução dos valores do quociente microbiano, uma vez que nesta camada não foi observada diferença nos teores de carbono orgânico (Tabela 6.A), para que pudesse ser atribuído parte desse efeito. Dentre os sistemas estudados, apenas CCB e CCBAM ficaram abaixo dos limites de 1 a 4% estabelecido como ideal por Powlson e Jenkinson (1981). No entanto, tais resultados são corroborados por Balota et al. (1998), que observaram valores de 0,58% em sistema convencionais com 16 anos de cultivo no sul do Brasil, porém, discordantes dos resultados analisados por Alvarenga et al. (1999), que observaram em cultivo convencional com 2 anos, também na condição de cerrado, valores de 2,72%, demonstrando assim o alto potencial de degradação dos sistemas CCB e CCBAM, que mesmo recentes já atingiram níveis redutivos de sistemas com mais de 15 anos de cultivo.

Na camada de 10-20 cm, todos os sistemas apresentaram redução nos valores do quociente microbiano em relação ao CN, os quais seguiram o mesmo comportamento observado na camada de 0-10 cm, com exceção do sistema CCM que apresentou semelhança com o CN. O incremento no quociente microbiano no sistema CCM deve-se ao maior valor de biomassa (Tabela 3.1), favorecido pela incorporação das altas doses de resíduos orgânicos com elevada disponibilidade de nitrogênio. Entre os valores observados, apenas os sistemas CCB, CCBAM e PDM, ficaram abaixo de 1%, considerado como limite mínimo ideal por Powlson e Jenkinson (1981).

Já para a camada de 20-30 cm, o sistema CE apresentou semelhança estatística com o CN, o qual diferiu dos demais sistemas, porém, portando-se inferior ao sistema CCM. Como explicação para esses comportamentos, é citado, o mesmo efeito da camada de 10-20 cm para os sistemas CCM, CCB e CCBAM, e com menor intensidade redutiva no sistema PDM. Os efeitos menos favoráveis ao crescimento da biomassa microbiana em profundidade de sistemas

não revolvidos, somados com a ação de compostos com atividade antimicrobiana, podem explicar essa semelhança.

Para os valores de quociente microbiano na camada de 20-30 cm, apenas os sistemas CCB e CCBAM, portaram-se abaixo de 1%, o que também foi observado nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Enquanto isso, o sistema CCM apresentou o maior quociente microbiano, (2,69%), o qual pode ser explicado pelo mesmo efeito da camada de 10-20 cm, porém com maior intensidade. Valores nessa ordem de 2,72%, também foram observados em cultivo anual recente sob cerrado por Alvarenga et al. (1999).

3.3.3 Quociente metabólico do carbono (qCO_2)

Além do carbono da biomassa microbiana acima mencionado, o quociente metabólico do CO_2 (qCO_2), é um outro atributo relacionado ao C, que é considerado relevante para avaliar os efeitos das condições ambientais sobre a biomassa microbiana do solo. Este atributo é considerado como a taxa de respiração específica da biomassa (Anderson e Domsch, 1993), expresso como a quantidade de CO_2 emanado para atmosfera por grama de biomassa por tempo, sendo os resultados obtidos nos diferentes sistemas de manejo e profundidades, apresentados na Tabela 3.3.

Com relação às profundidades estudadas dentro de cada sistema, não foi observada diferença significativa ($P \leq 0,05$). Enquanto isso, para os sistemas de manejo estudados, foi observada diferença significativa apenas nos sistemas CCB e CCBAM, em relação ao sistema CN. Estes sistemas apresentaram os maiores valores de respiração por unidade de biomassa, correspondendo a incrementos na ordem de 445 e 200% respectivamente. Tais incrementos, podem ser explicados pelos intensivos revolvidos do solo e as freqüentes aplicações de pesticidas, adotadas nesses sistemas, criando assim uma condição altamente estressante e seletiva para a população microbiana do solo Lal et al. (1995).

Nessas condições, ocorre um aumento no consumo de energia para a manutenção da população microbiana existente, que será obtida por meio da degradação de substrato (matéria orgânica), levando a aumentar a respiração basal (dividendo da relação) (Tabela 2.B), e conseqüentemente mais CO₂ é emanado para a atmosfera, reduzindo o estoque de carbono orgânico do solo (Balota, et al., 1998).

TABELA 3.3 Valores de quociente metabólico em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
	----- qCO ₂ (• g C-CO ₂ C-Cmic ⁻¹ h ⁻¹) -----			
CCB	1,67	2,23	2,97	2,29 A
CCBAM	1,31	1,53	0,95	1,26 B
CCM	0,33	0,16	0,51	0,33 C
PDM	0,54	0,79	0,76	0,69 C
CE	0,31	0,55	0,80	0,55 C
CN	0,31	0,41	0,54	0,42 C
Média	0,74 a	0,94 a	1,09 a	
C.V. Sistema (%)		46,25		
C.V. Total (%)		59,87		

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Verificou-se que o quociente metabólico para os sistemas CCM, PDM e CE, não diferiu estatisticamente ($P \leq 0,05$) do sistema CN. Isto se deve, provavelmente às menores alterações impostas pelos respectivos sistemas sobre

esse atributo em função dos maiores aportes de resíduos vegetais. De acordo Carneiro (2000), esta condição propicia um aumento na fonte de energia que tem a capacidade de agir como um amenizador do efeito estressante promovido pelo sistema, refletindo na elevação dos valores da biomassa microbiana de carbono (Tabela 3.1), reduzindo os valores do quociente metabólico, que tendem a aproximar dos valores do sistema CN.

3.3.4 Estoque de carbono orgânico no solo (Est C)

As análises do estoque de carbono no solo permitem avaliar o comportamento do solo como fonte ou dreno de C-CO₂ para atmosfera, sendo seus valores apresentados na Tabela 3.4.

Para os diferentes sistemas de manejo estudados, não foi observada diferença significativa ($P \leq 0,05$) dentro de cada profundidade em relação ao CN. Por outro lado, verifica-se diferença significativa entre as médias das profundidades, obtendo-se decréscimos no estoque de C de 13,4 e 36,4% nas camadas de 10-20 e 20-30 cm respectivamente, em relação à camada de 0-10 cm. O maior acúmulo no estoque de C na camada superficial está relacionado com a área de deposição de resíduos da vegetação nativa ou cultivada, até que seja incorporada ou não, o que permitirá uma distribuição mais homogênea ao longo do perfil cultivado como geralmente ocorre em solo sob cultivo convencional. Em sistemas conservacionista, com pouco ou nenhum revolvimento do solo, são observados valores mais elevados no estoque de C do solo em superfície (Maria e Castro, 1993; Santos et al., 1995; Bayer e Mielniczuk, 1997; Castro Filho et al., 1998; Rheinheimer et al., 1998; Silva et al., 2000), o que pode ser explicado tanto pela diversidade dos materiais depositados (Ker et al., 1998), quanto pela redução da acessibilidade dos microrganismos decompositores (Silva e Pasqual, 1996), tornando mais lento o processo de decomposição em sistemas menos revolvidos. No entanto, no

presente estudo, tais comportamentos não foram suficiente para diferenciar os sistemas revolvidos dos conservacionistas, e até mesmo da condição de equilíbrio, no caso o CN.

TABELA 3.4 Estoque de carbono em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
	----- EstC (Mg ha ⁻¹) -----			
CCB	24,9	23,9	17,7	22,15 B
CCBAM	30,0	23,6	18,9	24,14 B
CCM	30,4	23,9	16,3	23,53 B
PDM	33,6	33,3	24,4	30,42 A
CE	24,6	25,6	17,5	22,59 B
CN	35,2	24,5	18,9	26,18 B
Média	29,8 a	25,8 b	18,9 c	
C.V. Sistema (%)		11,68		
C.V. Total (%)		13,34		

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

O efeito diluidor do estoque de C promovido pelo preparo do solo em sistemas convencionais, não foi confirmado neste estudo como observado por Corazza et al. (1999) e D'Andréa (2001), em sistemas com mais de 10 anos. Como explicação para tal efeito, cita-se o pouco tempo de implantação dos sistemas CCB, CCBAM e CCM, com no máximo 2 anos de cultivo, mas que ao longo dos anos de cultivo esse comportamento tenderá a ocorrer.

Entre os sistemas de manejo estudados, não foi verificado diferença significativa ($P \leq 0,05$) no estoque de C em relação ao CN, exceto, o sistema

PDM que apresentou-se estatisticamente superior ao sistema em equilíbrio (CN). Como o sistema PDM é conservacionista e traz como filosofia o não revolvimento do solo em seu manejo de cultivo, há o favorecimento do acúmulo de resíduos orgânicos proveniente de restos culturais e da cobertura vegetal dessecada por herbicidas (Silva et al., 2000). Silva e Pasqual (1996) afirmam que este acúmulo é função do fator acessibilidade dos microrganismos decompositores aos resíduos vegetais, que em sistema sob plantio direto é reduzida pela ausência de fracionamento e incorporação dos mesmos ao solo. Dessa forma, menores valores de temperatura e oxigenação e a maior proteção física da matéria orgânica intra-agregados, são condições criadas nesses solos que contribuem para as menores taxas de decomposição nos sistemas conservacionistas, em relação aos revolvidos (Resck et al., 1991; Christensen, 1996; e Bayer e Mielniczuk, 1997).

Sabendo-se que o estoque de C no solo é determinado pelo balanço entre a adição de material orgânico e a taxa de decomposição dos resíduos, verifica-se que maiores adições ao solo alteram o balanço de C no sentido de aumentar os seus teores (Brown e Dikey, 1970; Sommerfeldt e Chang, 1985) desde que as perdas de C provenientes do manejo do solo sejam inferiores às quantidades adicionadas. Esta situação foi observada no sistema PDM, tornando-o um dreno de carbono para a atmosfera, e conseqüentemente, um sistema seqüestrador de C (Gonçalves e Ceretta, 1999 e Bayer et al., 2000).

Como fonte alternativa de resíduos orgânicos, é válido relatar da importante contribuição da *Brachiaria brizanta* consorciada em ressemeadura, nos últimos 2 anos do sistema PDM (Tabela 1.1). Esta espécie apresenta, elevada produtividade de fitomassa vegetal, alta densidade de raízes e uma expressiva liberação de exudatos radiculares (Allison, 1973 e Siqueira e Franco, 1988), que contribuem para o aumento dos teores de carbono orgânico nesse

sistema, como também reportado sobre gramíneas por Silva et al. (1998) e Marchiori Júnior e Mello (1999). Resíduos vegetais oriundos de gramíneas apresentam elevada estabilidade química, devido à presença de compostos como, os ácidos húmicos e huminas, os quais são lentamente acumulados na fração coloidal do solo (Siqueira e Franco, 1988). Estes compostos contribuem para o aumento nos teores de carbono orgânico ao longo do tempo, o que provavelmente podem estar ocorrendo no sistema PDM. Dessa forma, a utilização de gramíneas com alta produtividade de fitomassa vegetal e altamente responsiva a adubação, tornam-se promissoras para o aumento do estoque de carbono no solo. De acordo com Burle, Mielniczuk e Focchi (1997) e Bayer et al. (2000), os elevados aportes de adubos nitrogenados oriundos da fixação biológica por leguminosas ou resíduos culturais, contribuem para aumentar o estoque de carbono no solo, através do aumento na produção da fitomassa vegetal que posteriormente será depositada. Esta situação é observada no sistema PDM, porém, não como resíduo de leguminosa fixado biologicamente, mas sim, como resíduo das altas adubações nitrogenadas realizadas na cultura do milho (190 Kg ha^{-1} de N).

Deve-se ressaltar que, apesar da adição de nitrogênio acelerar a decomposição dos resíduos vegetais devido ao estreitamento da relação C/N (Siqueira e Franco, 1988); tal situação, não se aplica totalmente para as condições de sistemas não revolvidos (PDM), onde a maior parte dos resíduos vegetais (parte aérea) é depositada na superfície do solo com menor acessibilidade aos microrganismos decompositores, como geralmente ocorre nos sistemas revolvidos.

Apesar dos sistemas CCB, CCBAM e CCM, praticarem o revolvimento do solo, estes não diferiram estatisticamente do sistema em equilíbrio, (CN). Tal comportamento deve-se provavelmente ao pouco tempo de uso destes sistemas,

onde as safras de manejo convencionais a que foram submetidos, foram suficientes apenas para oxidar o carbono orgânico dos compostos mais simples e facilmente decomponíveis (menos estáveis), mas não das frações intermediárias e mais recalcitrantes acumuladas durante o longo período sob condição de vegetação natural (CN). O estoque de carbono do sistema CE também não diferiu estatisticamente em relação ao sistema CN, indicando que o mesmo foi reestabilizado à condição de equilíbrio entre as adições e as perdas de carbono após 13 anos de implantação sem intervenção antrópica, e também em relação ao CN. Dessa forma, tanto o sistema CE, quanto os sistemas CCB, CCBAM e CCM, não estão funcionando como fonte ou dreno de carbono para a atmosfera em relação ao CN.

Além das prováveis explicações acima citadas, Parfitt et al. (1997) citado por Carneiro (2000), reportam que os efeitos de preparo sobre a taxa de perda de matéria orgânica dependem do tipo de solo, basicamente da sua mineralogia e textura. Quanto mais argiloso for o solo e com predominância de minerais de carga variável, como óxidos de ferro, e alumínio e da caulinita como no presente estudo (Tabelas 2.1 e 1.C), menor será a detecção das diferenças entre as taxas de decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, do estoque de C submetido a diferentes sistemas de manejo. No entanto, algumas considerações podem ser feitas a partir da variabilidade dos resultados em termos de valores absolutos, quanto ao balanço do estoque de carbono nos diferentes sistemas de manejo em relação ao CN, conforme será apresentado no item seguinte.

3.3.5 Balanço do estoque de carbono orgânico no solo.

O balanço de carbono foi obtido pela diferença entre os sistemas de manejo estudados e o CN ao longo dos anos de cultivo. Na Tabela 3.5 verificou-se que houve acúmulo de carbono orgânico apenas no sistema PDM, de 12,7 Mg

ha⁻¹, o que correspondeu a um acréscimo de 16,16% em relação ao CN. Isto resultou numa redução de 2,5 Mg ha⁻¹ano⁻¹ de CO₂ emitidos para atmosfera, sendo superior aos 1,4 e 1,5 Mg ha⁻¹ano⁻¹ observados por Corazza et al. (1999) e D'Andréa (2001) respectivamente, em Latossolo Vermelho-Escuro também na condição de cerrado. Portanto, a adoção do sistema PDM torna-se extremamente vantajoso, devido ao aumento da sustentabilidade e qualidade do solo.

TABELA 3.5 Estimativa da taxa de adição ou perda anual de carbono em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo em relação ao CN.

Sistema	C acumulado 0-30 cm	Estoque de C atual*	Tempo de manejo	Taxa de C anual
	-----Mg ha ⁻¹ -----		ano	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹
CCB	65,5	-12,1	1	-12,1
CCBAM	72,5	-6,1	2	-3,1
CCM	70,6	-8,0	2	-4,0
PDM	91,3	+12,7	5	+2,5
CCE	67,7	-10,9	13	-0,84

* Valores negativos indicam perda de carbono em relação ao CN.

Quanto aos sistemas convencionais que praticam o revolvimento do solo (CCB, CCBAM e CCM), verifica-se que houve uma maior emissão de carbono para atmosfera na forma de CO₂, quando comparado aos sistemas não revolvidos. Este comportamento também foi observado em trabalho desenvolvido por Lal et al. (1995). Tais sistemas apresentaram as fontes de 12,1, 6,1 e 8,0 Mg ha⁻¹ respectivamente, em relação ao CN, correspondendo dessa forma, num decréscimo nos teores de carbono estocado na ordem de 15,4, 7,8 e

10,2%, o que significou respectivamente em 12,1, 3,1 e 4,0 Mg ha⁻¹ano⁻¹ de CO₂ emitidos anualmente para a atmosfera.

Entre os sistemas estudados, o maior potencial degradante da qualidade do solo com relação a sua capacidade de estocar carbono, foi observado no sistema CCB, uma vez que verificou-se decréscimo de até 15% nos teores de carbono estocado em relação ao sistema em equilíbrio (CN). Nesse contexto, o sistema CCB esta necessitando de drenos alternativos de carbono para atmosfera, que serão obtidos pela a inclusão de novas espécies em esquemas rotacionais, como no sistema CCBAM. Pois se assim continuar, e se toda a reserva fosse considerada lábil, em apenas 5,5 anos já terá esgotada toda reserva de carbono remanescente da condição natural.

O sistema CCBAM, pode ser considerado como uma evolução conservacionista do CCB, porém, ainda muito aquém da condição de equilíbrio no CN. Nesse sistema foi cultivado aveia preta em sucessão ao cultivo da batata, a qual elevou o estoque de carbono em 7,63% e reduziu a perda anual de carbono para 3,1 Mg ha⁻¹ano⁻¹, o que resultou no aumento da longevidade do sistema CCBAM em 18,3 anos, para que ocorra o esgotamento do estoque de carbono do solo, tudo isso com apenas um ciclo de cultivo da aveia usada como cobertura. O efeito contribuinte da aveia preta como acumuladora do carbono orgânico também foi observado por Gonçalves e Ceretta (1999) no Sul do Brasil.

O sistema CCM, apresentou perda anual de carbono de 4,0 Mg ha⁻¹ano⁻¹ em relação ao CN. Tal perda de carbono, pode não estar relacionada unicamente com o manejo convencional, mas também com a baixa relação C/N da massa vegetal do feijão anteriormente cultivado (Tabela 1.1). Segundo Alexander (1980), esta situação pode estar contribuindo para a redução do estoque de

carbono através do favorecimento da decomposição da matéria orgânica em função do aumento nos teores de nitrogênio, usado como uma fonte energética para os microrganismos decompositores. O que não contradiz Bayer et al., (2000), quanto a ação do nitrogênio, pois para esse caso ele não foi usado como nutriente promotor do desenvolvimento de fitomassa vegetal, uma vez que no momento das amostragens a cultura do milho estava em estágio vegetativo inicial (Tabela 1.1) não apresentando expressão significativa para os resultados. Nesta condição, estima-se que todo o carbono orgânico estocado oriundo da condição natural seria emanado para atmosfera na forma de CO₂ em 17,6 anos de cultivo, na consideração de 100% lábil.

Para o sistema CE, considerado como conservacionista por não praticar o revolvimento do solo, e não ter sofrido intervenção antrópica desde sua implantação a 13 anos, não era esperado que apresentasse como fonte de 0,84 Mg ha⁻¹ano⁻¹ de carbono para atmosfera em relação ao CN, mas sim, um dreno como observado por Corazza et al. (1999) em cultivo de eucalipto com 12 anos de implantação, sobre um Latossolo Vermelho-Escuro na fase cerrado, o qual apresentou taxa de adição de 1,22 Mg ha⁻¹ano⁻¹. Essa perda anual de carbono no sistema CE representa uma redução de 1,07% do carbono estocado remanescente da condição natural (CN), o que é considerada muito baixa, uma vez que com essa perda, e considerando todo o estoque na forma lábil a longevidade do sistema seria de 80,6 anos para que se esgotasse toda a reserva de carbono remanescente do sistema CN.

Os teores de carbono estocado encontrados no presente estudo foram considerados elevados, quando comparados com Corazza et al. (1999) e D'Andréa (2001), em Latossolo Vermelho-Escuro com textura argilosa e muito argilosa no Centro Oeste do Brasil, tanto nos agroecossistemas como no sistemas em equilíbrio natural (cerrado). Para efeito de comparação, foram

somados os valores de carbono estocados nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, as quais consideradas como detentora das maiores transformações bioquímicas no solo. Tais discussões, mesmo não sendo o objetivo do trabalho tornam-se necessárias para que se tenha uma noção da representação dos valores encontrados, e uma fonte de comparação para os futuros trabalhos na condição de cerrado. O estoque de carbono nestas camadas foi de 59,7 Mg ha⁻¹ no sistema CN o qual foi superior a 39,8 e 36,6 Mg ha⁻¹ estimados por Corazza et al., (1999) e D'Andréa (2001) respectivamente. Enquanto isso, o plantio direto com 5 anos, apresentou estoque de 66,9 Mg ha⁻¹ que também foi superior aos 47,4 e 38,7 Mg ha⁻¹ determinados por estes autores em sistemas com 15 e 6 anos. Na área cultivada com eucalipto os resultados apresentaram-se menos contrastantes, sendo observado 50,2 Mg ha⁻¹ no presente estudo, contra 44,9 Mg ha⁻¹ observado por Corazza et al. (1999).

Entre os sistemas que praticam o revolvimento, apenas o CCM com 2 anos de implantação pôde ser comparado, o qual apresentou estoque de C de 54,3 Mg ha⁻¹ contra 36,5 e 25,8 Mg ha⁻¹ nos sistemas com 12 e 15 anos de implantação dos trabalhos citados anteriormente. Essa diferença pode ser explicada pelo maior tempo de cultivo nos sistemas convencionais da região centro oeste comparada, além da condição climática mais amena do Sul de Minas Gerais (presente estudo), que pode estar contribuindo para uma menor perda de carbono, o que também se aplicaria para os demais sistemas anteriormente comparados. No sistema de plantio direto essa superioridade em mais de 20 Mg ha⁻¹, traz como principal responsável à cultura consorciada, cujo efeito foi anteriormente discutido. Para os sistemas cultivados com eucalipto, a provável explicação para as menores diferenças, pode estar relacionada com a ausência de manejo em ambos os sistemas, o que tornaria essa pequena

diferença uma exclusividade da capacidade de deposição de resíduos vegetais pelas variedades cultivadas nas diferentes regiões, porém não analisada.

Nas situações extremas de perdas de carbono encontradas neste estudo, pode-se destacar a importância da redução do revolvimento do solo e da utilização de sistemas de cultura com alto aporte de resíduos para a manutenção ou aumento dos teores de carbono do solo. Tais situações permitem o sequestro de carbono da atmosfera e sua retenção no solo, o que reduzirá consequentemente a sua contribuição para o efeito estufa.

Deve-se ressaltar ainda, que os resultados de estoque de carbono em diferentes sistemas de manejo necessitam de uma avaliação mais cuidadosa devido a heterogeneidade dos dados, pois quando estatisticamente analisados podem ser considerados semelhantes sistemas que apresentam perdas de $0,8 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (CE) e $12,1 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (CCB), como observados no presente estudo. Ao contrário de quando os dados são analisados através dos seus valores absolutos, pois dessa forma, afirmações como as de Cambardella e Elliot (1993) e Lal et al. (1995), que relatam a influência do revolvimento do solo na destruição dos agregados e exposição da matéria orgânica protegida fisicamente ao ataque microbiano para a redução no estoque de carbono, podem ser melhor observadas.

3.4 CONCLUSÕES

1. Os sistemas de manejo estudados reduzem o carbono da biomassa microbiana do solo, exceto os sistemas cultivo convencional com milho e cultivo com eucalipto, que mantiveram semelhança com o cerrado nativo nas camadas de 10-20 e 20-30 cm.
2. De modo geral, o quociente microbiano é reduzido pelos sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo, exceto o sistema cultivo com eucalipto na camada de 20-30 cm e o cultivo convencional com milho nas camadas 10-20 e 20-30 cm.
3. Os valores do quociente metabólico foram aumentados nos sistemas cultivo convencional com batata e cultivo convencional com batata sucedido com aveia e rotacionado com milho em relação ao cerrado nativo, em função dos maiores revolvimentos do solo, ocorrendo redução da biomassa e o aumento da respiração basal.
4. O estoque de carbono orgânico do solo foi aumentado no sistema plantio direto com milho, em função das elevadas adições de resíduos orgânicos, e mantido nos demais sistemas devido ao pouco tempo de cultivo.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Pres, 1995. 576p.
- ALEXANDER, M. El ciclo del carbono. In: ALEXANDER, M. **Introduction a la microbiologia del suelo**. México: AGT, 1980. p.127-239.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2.ed. New York: John Wiley, 1977. 467p. .
- ALLISON, F. E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1973. p.315-345.
- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 617-625, jul./set. 1999.
- ALVAREZ, R.; DIAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 33, p. 17-28, 1995.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH. K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 1, p. 471-479, Jan. 1989.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quocient (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 3, p. 191-196, 1995.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 393-395, Apr. 1993.

ANGERS, D. A.; BISSONNETTE, N.; LÈGÈRE, A.; SAMSOM, N. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in soil under barley production. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, n. 1, p. 39-50, Feb. 1993.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 641-649, out./dez. 1998.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTINI-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. 4, p. 599-607, out./dez. 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Estoque de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 235-239, abr./jun. 1997b.

BROWN, P. L.; DICKEY, D. D. Losses of wheat straw residue under simulated field conditions. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 34, n. 1, p. 118-121, Jan./June 1970.

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 190, n. 2, p. 309-316, Mar. 1997.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 4, p. 1071-1076, July/Aug. 1993.

CARNEIRO, M. A. C. **Características bioquímicas do solo em duas cronosseqüências de reabilitação em áreas de mineração de bauxita**. 2000. 166p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

CARTER, M. R. Microbial biomass as an index for tillage - induced changes in soil biological properties. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 29-40, 1986.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio direto, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 527-538, jul./set. 1998.

CHRISTENSEN, S.; RONN, R.; EKELUND, F.; ANDERSEN, J.; DAMGAARD, U. Soil Respiration profiles and protozoan enumeration agree as microbial growth indicators. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 7, p. 865-868, July 1996.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, abr./jun. 1999.

D'ANDRÉA, A. F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no de Goiás**. Lavras: UFLA, 2001. 106p.

GARCIA, F. O.; RICE, C. W. Microbial biomass dynamics in tallgrass prairie. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 3, p. 816-823, May/June 1994.

GERALDES, A. P. A.; CERRI, C. C.; FEIGL, G. J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 55-60, jan./abr. 1995.

GONÇALVES, C. N.; CERRETA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. , p. 307-313, jul./set. 1999.

GRISI, B. M. Biomassa e atividade de microrganismos do solo: revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, João Pessoa, v. 10, n. 1, p. 1-22, jan./jun. 1995.

GRISI, B. M. Participação da microbiota na ciclagem de nutrientes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4., 1996, Águas de Lindoia. **Anais ...** Campinas: Software Gráfico Comércio e Serviços /Bicca Produções S/C, 1996. CD-ROM.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**. Austrália, v. 118, p. 471-476, 1991.

JENKINSON, E. S.; LADD, O. K. Microbial biomass in soil measurement and turnovers. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Eds). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. v. 5, p.415-471.

KER, J. C.; BLANCANEUX, P. H.; CHAGAS, C. da S.; CARVALHO JR., W. de; CARVALHO FILHO, A. de; PEREIRA, N. R.; MOTTA, P. E. F. da; FREITAS, P. L. de; AMABILE, R. F.; COSTA, L. D. da. A cobertura vegetal e as interações com a cobertura pedológica na microbacia piloto de Goiás, Morrinhos. In: BLANCANEUX, Ph. (Ed.). **Interações ambientais no cerrado: Microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil**. Brasília: Embrapa - SPI; Rio de Janeiro : Embrapa - CNPS, 1998. cap.3, p.53-67.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. World soils as a source or sink for radioactively-active gases. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995a. p.1-7.

LUIZÃO, R. S.; CAMPISTA, D.; COSTA, E. S. Efeito da idade do manejo das pastagens da Amazônia Central sobre a biomassa microbiana e suas atividades no solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 2., 1991, São Paulo. **Resumos....** São Paulo, 1991. 49p.

MARCHIORI JÚNIO, M.; MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.2, p.257-263, abr./jun. 1999.

MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja . **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 471-477, set./dez. 1993.

MENDES, I. C.; VIVALDI, L.; RIBEIRO, J. A.; VARGAS, M. A. T.; RIBEIRO, F. J. Biomassa-C e atividade microbiana em solos do bioma cerrado sob vegetação nativa. EMBRAPA-CPAC, Brasília, ISSN 1517-4921, n.4, 3p. dez. 1999.

POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and directdrilled soils. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 97, n. 3, p. 713-721, Dec. 1981.

RESCK, D. V. S.; PEREIRA, J.; SILVA, J. E. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos cerrados**. Planaltina: Embrapa - CPAC, 1991. 22p. EMBRAPA-CPCA. Documentos, 36.

REZENDE, M.; KER, J.; BAHIA FILHO, A. F. C. Desenvolvimento sustentado no cerrado. In: ALVAERZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfa climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS/UFV/DPS, 1996. p.169-199.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 713-721, out./dez. 1998.

ROVIRA, A. D. Microbiology of pasture soil and some effects of microorganisms on pasture plants. In: WILSON, J. R. (Ed.). **Plant relation in pastures**. Melbourne: CSIRO, 1978. p.95-110.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio Direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 449-454, set./dez. 1995.

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. **Seqüestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 23p. Embrapa Solos. Documento, 19.

SILVA, I. de F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 1, p. 113-117, Jan./mar. 1997a.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P. H.; CURI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, jan. 1998.

SILVA, L. M. V.; PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **FCA/UNESP-Botucatu/SP**, v.14, n.3, p.13-24, 1996.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 191-199, jan./mar. 2000.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas.** Brasília: MEC, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 236p.

SOMMERFELDT, T. G.; CHANG, C. Change in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 4, p. 983-987, July/Aug. 1985.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 195-207, 1992.

SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. J. M. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: Effects of alternate land-user and nutrient flux. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 2, p. 117-124, Feb. 1991.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 19, n.6, p. 703-707. 1987.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e respiração de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 35-42, jan./mar. 2000.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, n. 1, p. 29-38, Jan. 1934.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Review**, Cambridge, v. 67, p. 321-358, 1992.

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1.A Resumo da ANAVA para atributos físicos do solo em função dos diferentes sistemas de manejo e profundidade.	90
TABELA 2.A Resistência à penetração em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.	92
TABELA 3.A Umidade gravimétrica em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.	92
TABELA 4.A Proposta de classes para a estabilidade de agregados através de diâmetro médio geométrico e da porcentagem de agregados maiores que 2 mm.	93
TABELA 5.A Teores de argila dispersa em água em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.	93
TABELA 6.A Teores de carbono orgânico total em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.	94

ANEXO B

TABELA 1.B	Resumo da ANAVA para atributos químicos e bioquímicos do solo em função dos diferentes sistemas de manejo e profundidade.	94
TABELA 2.B	Respiração basal em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.	95
TABELA 3.B	Atributos químicos em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁCRICO típico sob diferentes sistemas de manejo.	96

ANEXO C

TABELA 1.C	Características mineralógicas	97
TABELA 2.C	Classes de permeabilidade.	97
TABELA 3.C	Classes de resistência do solo à penetração	97

TABELA 1.A Resumo da ANAVA para atributos físicos do solo em função dos diferentes sistemas de manejo e profundidade.

Atributos	G.L.	Valor F	P > Fc
Teores de carbono orgânico			
Continuação...			
Sistema (S)	5	3,755	0,0280
Profundidade (P)	2	56,131	0,0000
S x P	10	1,950	0,0874ns
Teores de argila dispersa em água			
Sistema (S)	5	5,067	0,0100
Profundidade (P)	2	22,860	0,0000
S x P	10	2,086	0,0681ns
Índice de floculação			
Sistema (S)	5	4,989	0,0106
Profundidade (P)	2	24,769	0,0000
S x P	10	3,249	0,0087

DMG			
Sistema (S)	5	2,31	0,1095
Profundidade (P)	2	9,91	0,0007
S x P	10	1,70	0,1383ns
% agregados > 2 mm			
Sistema (S)	5	2,170	0,1261
Profundidade (P)	2	7,737	0,0026
S x P	10	1,253	0,3097ns
% agregados < 0,25 mm			
Sistema (S)	5	3,26	0,0432
Profundidade (P)	2	9,42	0,0010
S x P	10	2,78	0,0196
VTP			
Sistema (S)	5	0,140	0,0484
Profundidade (P)	2	16,035	0,0000
S x P	10	1,376	0,2495 ns
Microporosidade			
Sistema (S)	5	9,439	0,0008
Profundidade (P)	2	3,758	0,0380
S x P	10	2,387	0,0393
Macroporosidade			
Sistema (S)	5	5,620	0,0068
Profundidade (P)	2	4,987	0,0154
S x P	10	1,697	0,1394 ns
Densidade do Solo			
Sistema (S)	5	4,903	0,0113
Profundidade (P)	2	9,229	0,0011
S x P	10	1,350	0,2615 ns
Ks			
Sistema (S)	5	3,005	0,0550
Profundidade (P)	2	4,610	0,0202
S x P	10	1,764	0,1234ns

TABELA 2.A Resistência à penetração em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Profundidade (cm)	Resistência à Penetração (MPa)					
	CCB	CCBAM	CCM	PDM	CE	CN
0-5	0,87	0,98	1,11	1,61	1,51	1,48
5-10	0,87	0,98	1,11	1,60	1,50	1,50
10-15	0,89	1,07	1,19	2,33	1,72	2,50
15-20	0,97	1,34	1,40	2,70	2,13	3,07
20-25	1,46	1,60	1,61	2,93	2,34	2,97
25-30	1,99	1,85	1,66	2,89	2,35	3,20
30-35	2,17	2,10	1,65	3,20	2,23	2,89
35-40	2,31	2,32	1,56	3,38	2,31	2,72
40-45	2,53	2,47	1,79	3,67	2,67	2,50
45-50	2,69	2,70	2,05	3,92	2,83	2,63
50-55	2,85	2,68	2,11	4,23	3,14	2,70
55-60	3,01	2,98	2,21	4,42	2,97	2,69

TABELA 3.A Umidade gravimétrica em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
	----- u (%) -----		
CCB	0,30 aB	0,32 aB	0,33 aB
CCBAM	0,31 aA	0,31 aB	0,32 aB
CCM	0,29 cB	0,37 bA	0,40 aA
PDM	0,33 aA	0,31 aB	0,32 aB
CE	0,29 bA	0,30 bB	0,33 aB
CN	0,32 aA	0,33 aB	0,32 aB
C.V. Sistema (%)		5,04	
C.V. Total (%)		5,47	

*Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Skott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 4.A Proposta de classes de estabilidade dos agregados

Classe	Diâmetro Médio Geométrico-DMG	Agregados > 2 mm
	----- (mm) -----	----- (%) -----
Muito alta	> 4	> 90
Alta	4 – 3	90 – 80
Moderada	3 – 2	80 – 70
Baixa	2 – 1	70 – 60
Muito baixa	< 1	< 60

* Síntese de pesquisa bibliográfica – DCS.

TABELA 5.A Teores de argila dispersa em água em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
	----- ADA (%) -----			
CCB	3,7	3,7	6,7	4,7 B
CCBAM	4,3	5,0	6,0	5,1 B
CCM	1,0	6,3	7,3	4,9 B
PDM	7,0	6,0	10,3	7,8 A
CE	4,7	7,7	15,7	9,4 A
CN	6,3	6,7	13,0	8,7 A
Média	4,5 b	5,9 b	9,8 a	
C.V. Sistema (%)		41,4		
C.V. Total (%)		36,4		

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 6.A Teores de carbono orgânico total em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-30	
	----- CO total (g kg ⁻¹) -----			
CCB	24,36	20,49	16,05	20,30 B
CCBAM	25,71	19,33	16,82	20,62 B
CCM	28,42	22,81	16,05	22,43 B
PDM	28,81	28,42	21,46	26,23 A
CCE	24,0	22,43	17,21	21,20 B
CN	32,87	21,46	16,82	23,71 A
Média	27,36 a	22,49 b	17,40 c	
C.V. Sistema (%)		15,56		
C.V. Total (%)		12,58		

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Skott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 1.B Resumo da ANAVA para atributos químicos e bioquímicos do solo em função dos diferentes sistemas de manejo e profundidade.

Atributos	G.L.	Valor F	P > Fc
Carbono da biomassa microbiana			
Sistema (S)	5	39,275	0,0000
Profundidade (P)	2	8,616	0,0015
S x P	10	5,853	0,0002
Quociente microbiano			
Sistema (S)	5	39,821	0,0000
Profundidade (P)	2	1,025	0,3741
S x P	10	5,964	0,0002

Quociente metabólico do carbono			
Sistema (S)	5	27,333	0,0000
Profundidade (P)	2	1,730	0,1987
S x P	10	0,888	0,5572ns
Respiração basal			
Sistema (S)	5	4,922	0,0111
Profundidade (P)	2	7,885	0,0023
S x P	10	13,431	0,0000
Estoque de carbono orgânico no solo			
Sistema (S)	5	10,143	0,0005
Profundidade (P)	2	49,119	0,0000
S x P	10	1,733	0,1306ns

TABELA 2.B Respiração basal em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Ácrico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
	----- • g C-CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹ -----		
CCB	188,5 aB	155,0 aA	162,7 aB
CCBAM	193,1 aB	131,8 bA	143,7 bB
CCM	104,3 bC	80,9 bB	209,8 aA
PDM	186,6 aB	164,1 aA	133,8 aB
CE	114,4 bC	183,2 aA	205,3 aA
CN	275,7 aA	168,7 bA	154,7 bB
C.V. Sistema (%)		18,1	
C.V. Total (%)		14,1	

*Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Skott e Knott ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 3.B Atributos químicos em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁCRICO típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema	pH H ₂ O	P (res)	K (Mehl 1)	Ca	Mg	Al	H+Al	S	t	T	m	V
		----- mg dm ₃ -----	----- cmol _c dm ⁻³ -----					-----% -----				
0-10 cm												
CCB	5,3	2,7	39,2	1,0	0,4	0,1	5,8	1,4	1,6	7,2	11,5	17,6
CCBAM	5,1	2,0	16,9	0,6	0,2	0,4	6,4	0,8	1,2	7,2	33,7	11,7
CCM	5,4	4,7	55,3	1,7	0,6	0,2	6,6	2,4	2,5	9,0	9,5	26,3
PDM	5,4	4,7	55,3	1,7	0,6	0,2	6,6	2,4	2,5	9,0	9,5	26,3
CE	5,1	3,2	17,3	0,9	0,2	0,7	8,3	1,1	1,8	9,4	51,1	14,1
CN	5,0	2,0	162	0,5	0,2	0,4	6,1	0,7	1,1	6,8	30,3	10,7
10-20 cm												
CCB	5,1	1,6	18,9	0,5	0,1	0,3	6,1	0,6	0,9	6,7	31,4	9,4
CCBAM	5,2	2,1	24,4	0,7	0,2	0,2	6,1	1,0	1,2	7,1	27,1	13,5
CCM	4,9	1,7	25,3	0,2	0,1	0,3	7,1	0,4	0,6	7,4	42,1	5,0
PDM	5,0	1,2	20,2	0,2	0,1	0,2	5,5	0,3	0,5	5,8	25,7	6,2
CE	5,2	2,3	12,7	1,0	0,1	0,4	7,1	1,1	1,5	8,2	46,9	15,0
CN	5,3	1,5	17,8	0,6	0,1	0,2	6,0	0,8	1,0	6,8	30,2	11,9
20-30 cm												
CCB	5,2	2,0	21,7	0,7	0,2	0,3	6,1	0,9	1,2	7,0	28,2	12,6
CCBAM	5,2	2,1	26,6	0,7	0,2	0,2	6,0	1,0	1,2	7,0	23,7	13,2
CCM	5,0	0,8	15,0	0,2	0,1	0,0	3,9	0,3	0,3	4,2	9,4	7,4
PDM	5,2	2,0	17,7	0,7	0,2	0,4	6,7	0,9	1,3	7,7	37,2	12,6
CE	5,3	0,6	23,0	0,3	0,1	0,1	4,9	0,5	0,6	5,4	13,5	8,9
CN	5,2	2,7	31,1	0,9	0,3	0,2	6,3	1,2	1,4	7,5	24,1	15,0

TABELA 1.C Características mineralógicas e teores de Quadro de análise de variância para todos os sistemas e profundidades estudadas.

Profundidade (cm)	Gb	Ct	Gb/(Gb+Ct)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	ki	kr
	---g kg ⁻¹ ---			----- g kg ⁻¹ -----					
0-26	290	350	0,45	161	260	145	10,8	1,05	0,78
69-106	410	340	0,55	158	291	157	12,8	0,92	0,69

ki: relação molecular sílica/alumina; kr: relação molecular sílica/alumina mais óxidos de ferro.

Tabela 2.C Classes de permeabilidade¹.

Classe	Permeabilidade
	---- mm h ⁻¹ ----
Rápida	> 254
Moderada a rápida	254 – 127
Moderada	127 – 63,5
Lenta a Moderada	63,5 – 20
Lenta	20 – 5
Muito lenta	< 5

¹Adaptadas de Soil Survey Staff, (1993).

Tabela 3.C Classes de resistência do solo à penetração¹.

Classe	Resistência à penetração
	---- MPa ----
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01 – 0,1
Baixa	0,1 – 1,0
Moderada	1,0 – 2,0
Alta	2,0 – 4,0
Muito alta	4,0 – 8,0
Extremamente alta	> 8,0

¹Adaptadas de Soil Survey Staff, 1993, citadas por Arshad, Lowery, Grossman (1996).