



**ATRIBUTOS INDICADORES DA
QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA
AGROSSILVOPASTORIL, NO NOROESTE
DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

CLÁUDIA MILENE NASCENTE DAS NEVES

2002

CLÁUDIA MILENE NASCENTE DAS NEVES

**ATRIBUTOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO
EM SISTEMA AGROSSILVOPASTORIL,
NO NOROESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

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

Prof. Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2002

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

Neves, Cláudia Milene Nascente das

Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril, no
noroeste do Estado de Minas Gerais / Cláudia Milene Nascente das Neves. --
Lavras : UFLA, 2002.

87 p. : il.

Orientador: Marx Leando Naves Silva.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

Agrossilvopastoril. 2. Qualidade do solo. 3. Estoque de carbono. 4.
Sustentabilidade. 5. Cerrado. 6. Latossolo. 7. Atributo físico. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.43

-634.99

CLÁUDIA MILENE NASCENTE DAS NEVES

**ATRIBUTOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO
EM SISTEMA AGROSSILVOPASTORIL,
NO NOROESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

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”.

APROVADA em 29 de maio de 2002

Prof. Mozart Martins Ferreira UFLA

Prof. Renato Luiz Grisi Macedo UFLA

Paulo Marcos de Paula Lima MA


Prof. Marx Leandro Naves Silva
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

***“Porque DELE, e por meio DELE, para ELE são todas as coisas. A
ELE a glória eternamente. Amém.”***

Romanos 11:36

**Aos meus pais, Luzia e Valdivino,
Às minhas irmãs, Débora e Tathiana,**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Criador, Senhor e Salvador, pelo seu amor incondicional.

Aos meus pais, pelo amor e dedicação.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela maravilhosa acolhida durante o todo este tempo.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Marx Leandro Naves Silva que, desde a graduação tem sido meu orientador e amigo. Obrigada por me ajudar a vencer mais esta etapa.

Aos professores Mozart, Grisi e ao Paulo Marcos, que gentilmente fizeram parte da banca de defesa.

Ao professor Nilton Curi, pela orientação e amizade durante a graduação.

À todos os professores do Departamento de Ciência do Solo, pela amizade e pela agradável convivência durante todos esses anos.

Ao professor João José, pelo auxílio na correção do abstract.

À Companhia Mineira de Metais (CMM), pelo apoio logístico na coleta das amostras, sem o qual este trabalho não teria sido concretizado.

Aos funcionários da fazenda da CMM, Vicente de Paula Silveira, Arnaldo, André e Dona Neusa, pelo suporte, ajuda na coleta das amostras e acomodações.

Às minhas grandes amigas, Juciane, Vanessa e Ana Rosa, pela amizade, companheirismo e pelos maravilhosos momentos que passamos juntas.

Aos meus amigos, Juliano Malty e Alexandre Barberi, pelo carinho e amizade acima de tudo.

Aos colegas de curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela agradável convivência.

Aos funcionários, Adriana, Manoel, Vera, Maria Alice, Pezão, Waldíria, Leninha e Ritinha, pelo auxílio, especialmente ao Delane pela amizade.

Ao amigo Álvaro Augusto Naves Silva, pela grande ajuda na coleta das amostras.

À Fabiana, Rodrigo, Regimeire, Liziane, pelo auxílio nas etapas de laboratório.

Às minhas tias de Pires do Rio, pelas orações e carinho.

Aos amigos da Primeira Igreja Presbiteriana de Araguari, especialmente ao Leonardo Rocha, Pedro Filho e Fernanda;

À Primeira Igreja Presbiteriana de Lavras, em especial às famílias: Sebastião dos Anjos, Renato Fernandes e Zilmo Botelho, pela amizade, acolhida e carinho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1.....	01
1.1 Introdução Geral	01
1.2 Referencial Teórico.....	03
1.2.1 Sistemas Agroflorestais	03
1.2.2 Qualidade do solo	04
1.3 Materiais e Métodos Gerais	07
1.3.1 Caracterização da microrregião	07
1.3.2 Solo e clima	07
1.3.3 Histórico de uso da área experimental	09
1.3.4 Caracterização dos sistemas agroflorestais	10
1.3.5 Amostragem e sistemas estudados.....	16
1.3.7 Análise estatística	19
1.4 Referências Bibliográficas	20
CAPÍTULO 2 Atributos físicos indicadores da qualidade do solo em sistemas agrossilvopastoril	23
Resumo	23
Abstract.....	24
2.1 Introdução	25
2.2 Material e Métodos	30
2.2.1 Local, solo e análise estatística	30
2.2.2 Análises Laboratoriais	30
2.3 Resultados e discussão.....	34

2.3.1 Densidade do solo	34
2.3.2 Volume total de poros	35
2.3.3 Argila dispersa em água e índice de flocculação	40
2.3.4 Estabilidade de agregados	42
2.3.5 Resistência do solo à penetração	46
2.3.6 Condutividade hidráulica do solo saturado	50
2.4 Conclusões	52
2.5 Referências Bibliográficas	53
CAPÍTULO 3 Atributos químicos e bioquímicos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril	58
Resumo	58
Abstract	59
3.1 Introdução	60
3.2 Material e Métodos	64
3.2.1 Local, solo e análise estatística	64
3.2.2 Análises Laboratoriais	64
3.3 Resultados e discussão	66
3.3.1 Carbono orgânico total	66
3.3.2 Estoque de Carbono	68
3.3.3 Carbono da biomassa microbiana	71
3.3.4 Quociente metabólico e Respiração basal	73
3.4 Conclusões	75
3.5 Referências Bibliográficas	76
Anexo	79

RESUMO

NEVES, C.M.N. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no Noroeste de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 2002. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

O interesse pelo estabelecimento de um sistema de produção onde há um melhor aproveitamento dos recursos naturais está sendo requerido em todo mundo, inclusive no Brasil. Sistemas agroflorestais são sistemas de produção agropecuária e florestal, uma forma de uso e manejo dos recursos naturais em que há consorciação de espécies florestais perenes com cultivos agrícolas e/ou animais de maneira simultânea ou em uma seqüência temporal. A principal vantagem deste sistema, em comparação ao sistema convencional, é o aproveitamento mais eficiente dos recursos naturais, pela otimização do uso da energia solar, pela reciclagem de nutrientes, pela manutenção da umidade do solo e pela proteção do solo contra a erosão e a lixiviação, resultando em um sistema potencialmente mais produtivo e sustentável. Foram coletadas amostras do Latossolo Vermelho Distrófico Típico, textura muito argilosa, em três profundidades (0-5, 5-20 e 20-40 cm) e em sete sistemas, a saber: cerrado nativo (CN-testemunha), eucalipto+arroz (EA - ano zero do sistema agrossilvopastoril), eucalipto+soja (ES - ano um do sistema); eucalipto +pastagem (EP - ano dois do sistema), eucalipto+pastagem+gado (EPG - ano quatro do sistema), pastagem convencional (PC) e eucalipto convencional (EC). Os objetivos do estudo foram: a) estudar alterações de atributos físicos, químicos e bioquímicos potenciais indicadores da qualidade do solo, em função do sistema de manejo adotado; b) verificar e selecionar atributos com melhor performance, isto é, mais sensíveis conforme o sistema adotado. O atributo físico que menos sofreu alteração em todos os sistemas estudados, em relação ao cerrado nativo, foi estabilidade de agregados, expresso pelo diâmetro médio geométrico. A condutividade hidráulica do solo saturado apresentou alteração significativa nos diferentes sistemas estudados. Para os sistemas EPG e PC, que tiveram grande resistência à penetração, os valores de condutividade hidráulica foram bastante reduzidos pela compactação, cerca de 96 % e 94 %, respectivamente, em relação ao cerrado nativo. O carbono orgânico apresentou grande alteração em relação às profundidades e aos sistemas estudados, podendo ser bom indicador em face das modificações impostas pelo manejo. O estoque de carbono mostrou ser um atributo sensível em indicar o efeito de cada sistema. O mesmo comportamento apresentou a biomassa microbiana que apresentou uma boa performance em indicar alterações dos sistemas em relação ao cerrado nativo.

ABSTRACT

NEVES, C.M.N. Features indicating soil quality in agrosilvopastoral system in the northwest of the State of Minas Gerais Lavras: UFLA, 2002 (Dissertation of Master in Soils and Plant Nutrition)

Establishing a system where there is a better use of natural resources is required all over the world, inclusive in Brazil. Agroforestral systems are agricultural production and forestal systems, a form of use and management of natural resources where there is a mixture of perennial forestal species with crops and/or animals in a simultaneous manner or in a temporal sequence. The main advantage of this system as compared with the conventional system is the most efficient use of natural resources by the optimization of the use of solar energy, by nutrient recycling, by the maintenance of soil moisture and soil protection against erosion and leaching, resulting in a more potentially productive and sustainable system. Samples of very clayey Typical Dystrophic Red Latosol, at three depths (0-5, 5-20 and 20-40 cm) and in seven systems, namely: native cerrado (NC-check), eucalyptus + rice (ER- year zero of the agrosilvopastoral system), eucalyptus + soybean (ES + year one of the system), eucalyptus + pasture (EP – year two of the system), eucalyptus + pasture + cattle (PC- year four of the system), conventional pasture (CP) and conventional eucalyptus (CE) were collected. Within this context, the objectives of the study were: a) to study the alterations of potential physical, chemical and biochemical features indicating soil quality in terms of the system adopted and b) to verify and select features with better performances, this is, more sensitive according to the system adopted. The physical feature which underwent the smallest alteration in all the systems studied relative to the native cerrado was aggregate stability expressed by the average geometric diameter. The hydraulic conductivity of the saturated soil presented significant alterations in the different systems investigated. For EPC and CP, which presented a great resistance to penetration, the values of water conductivity were quite reduced by compaction, some 96 and 94%, respectively, in relation to the native cerrado. Organic carbon presented a great alteration relative to the depths and the systems studied, being able to be a good indicator in view of the modifications imposed by management. Carbon stock showed to be a sensitive feature in indicating the effect of each system. Microbial biomass presented the same behavior relative to the native cerrado.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Cerrado é um termo regional brasileiro para um complexo fisionômico de vegetação que ocorre principalmente no Brasil Central e que tem uma flora própria. No Brasil, o cerrado cobre cerca de 150 milhões de hectares, o que corresponde a 25% da superfície do país. No estado de Minas Gerais, 21 milhões de hectares são cobertos por cerrados, ou seja, 37% do território estadual (Vilela, 1977), o que demonstra a importância do cerrado para o estado e para o país.

Se considerarmos que cerca de 45% da área do cerrado já foram convertidos em pastagens cultivadas e lavouras diversas, é extremamente urgente a introdução de manejos mais conservacionistas, em que a prioridade é a sustentabilidade do ecossistema como um todo.

O interesse pelo estabelecimento de um sistema de produção onde há um melhor aproveitamento dos recursos naturais está sendo requerido em todo mundo, inclusive no Brasil. A baixa sustentabilidade dos sistemas convencionais de uso da terra, demonstrada pela elevada ocorrência das pastagens degradadas e pela freqüente constatação de redução da produtividade das florestas plantadas de ciclo curto, com poucas rotações, é certamente um dos fatores que têm impulsionado o interesse pelo uso de sistemas agroflorestais.

Sistemas agroflorestais são sistemas de produção agropecuária e florestal, uma forma de uso e manejo dos recursos naturais, em que há consorciação de espécies florestais perenes com cultivos agrícolas e/ou animais de maneira simultânea ou em uma seqüência temporal (Montagnini et al., 1992; Macedo et al., 2000). Bene et al., (1977) também definem sistemas agroflorestais como sistemas viáveis de uso da terra, segundo o princípio de rendimento sustentado, que permitem aumentar a produção total, combinando

cultivos agrícolas, arbóreos e plantas forrageiras e ou animais, simultaneamente ou seqüencialmente, aplicando práticas de manejo compatíveis com os padrões culturais da população local.

Segundo Garcia & Couto, (1997) sistema silvopastoril, refere-se às técnicas de produção nas quais se integram animais, plantas forrageiras e árvores na mesma área. Tal sistema representa uma forma de uso da terra, na qual as atividades silvicultural e de pecuária são combinadas para gerar produção de forma complementar pela integração dos seus componentes. Sistema agrossilvopastoril acontece quando se acrescenta, além dos componentes anteriores, o cultivo de lavouras anuais, mesmo que apenas na fase de implantação do sistema.

A principal vantagem deste sistema, em comparação ao sistema convencional, é o aproveitamento mais eficiente dos recursos naturais, pela otimização do uso da energia solar, pela reciclagem de nutrientes, pela manutenção da umidade do solo e pela proteção do solo contra a erosão e a lixiviação. O resultado é um sistema potencialmente mais produtivo e sustentável.

No Brasil, a maior parte das atividades de reflorestamento é com *Eucalyptus* sp. Trata-se de uma espécie florestal exótica de maior importância comercial, destinada à produção de celulose e papel, carvão vegetal, madeira para construção, móveis etc. Concentra-se no estado de Minas Gerais, na região do cerrado, que também possui grande potencial para o cultivo de grãos e pecuária de corte. Confirma-se, assim, o potencial do cerrado na produção agroflorestal, não deixando de levar em consideração a importância do uso conservacionista do solo.

Dentro desse contexto, os objetivos gerais do estudo foram: a) estudar alterações em alguns atributos indicadores da qualidade do solo, em função do

sistema de manejo adotado e b) verificar e selecionar atributos com melhor performance, isto é, mais alterados conforme o sistema adotado.

1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1 Sistemas agroflorestais

As várias combinações e técnicas de sistema agroflorestais são utilizadas em regiões com diversas condições ecológicas, econômicas e sociais. Em regiões com solos férteis, os sistemas agroflorestais podem ser muito produtivos e sustentáveis, essas práticas têm, igualmente, um alto potencial para manter e melhorar a produtividade em áreas que apresentam problemas de baixa fertilidade. Em geral, a aplicação de técnicas agroflorestais pode consolidar ou aumentar a produtividade de estabelecimentos agropecuários e plantações florestais ou, pelo menos, evitar que haja degradação do solo (Montagnini et al., 1986).

Mercer (1985), citado por Montagnini (1992) relaciona alguns objetivos dos sistemas agroflorestais, que são: a) aumentar a produtividade vegetal e animal; b) assegurar a sustentabilidade por meio da intensificação apropriada no uso da terra; c) diversificar a produção de alimentos; d) produzir madeira, lenha e outros diversos materiais que sirvam para a subsistência do agricultor, para uso industrial ou para exportação; e) diminuir riscos para o agricultor; f) direcionar técnicas para uso racional do solo e da água, minimizando os processos erosivos e g) otimizar a produção por unidade de área. Com isso, é possível observar vários benefícios que os sistemas agroflorestais fornecem para o ecossistema, entre os quais benefícios ecológicos, econômicos e sociais.

Do ponto de vista ecológico, tem-se a influência do componente arbóreo nestes sistemas, que promove uma melhor ciclagem de nutrientes pelo desenvolvimento de uma densa camada de raízes com alta atividade microbiana,

pela produção abundante de serrapilheira que contribui para aumentar a quantidade de húmus, pela fonte adicional de nitrogênio, por meio de espécies fixadoras desse elemento e pela absorção de nutrientes das camadas mais profundas do solo, levando-as às camadas superficiais (Montagnini, 1986).

Os benefícios econômicos são observados pela diversificação da produção durante o ano todo. Assim, existe sempre algum produto pronto para o mercado. Isso gera um maior capital de giro e também pode propiciar um maior lucro para o produtor.

Em relação aos benefícios sociais, é observado que acontece uma maior fixação do homem ao campo, pela diversidade de produtos, pelo aumento da demanda de mão-de-obra e pela distribuição das atividades ao longo do ano.

De acordo com Combe & Budowski (1979), os sistemas agroflorestais são classificados da seguinte forma:

- sistema silviagrícolas: árvores associadas aos cultivos agrícolas, para produção simultânea de culturas florestais e agrícolas;
- sistema silvopastoril: árvores associadas aos animais e ou à pastagem, para produção de madeira, celulose, carvão e alimento para animais domésticos;
- sistema agrossilvopastoril: árvores associadas aos cultivos agrícolas e aos animais e ou à pastagem, ao mesmo tempo ou em seqüência temporal.

1.2.2 Qualidade do solo

Encontram-se na literatura várias definições sobre qualidade do solo. Larson & Pierce (1994) a definem como a capacidade do solo funcionar dentro dos limites do ecossistema e interagir positivamente com o ambiente externo ao mesmo. Para esses autores, a qualidade do solo varia consideravelmente, tanto em pequena quanto em grande escala, apresentando caráter dinâmico, podendo ser diminuída, mantida ou aumentada, e expressa tanto pelos atributos inerentes ao solo como pela habilidade do solo em interagir com estímulos aplicados.

O conceito global de qualidade do solo mais largamente aceito, segundo Nortcliff (2002), é com relação à produção agrícola. Neste contexto, Karlen et al. (1997) definem qualidade de solo como sendo sua adaptação para funcionar com o ambiente, sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou intensificar a qualidade da água e ar e sustentar a saúde e habitação humana. Santana & Bahia Filho (1998) afirmam que a qualidade do solo descreve a capacidade do solo para exercer funções de produção biológica, qualidade do ambiente e promover saúde das plantas e dos animais de maneira sustentável.

O problema para desenvolver um índice para qualidade do solo é acentuado pelo fato de que muitas mudanças no solo podem ocorrer durante longos períodos de tempo e a queda na qualidade pode somente ser óbvia quando ocorre algum impacto acumulativo. Um outro elemento complicador é que o solo não muda necessariamente como resultado de mudança de condições externas. Frequentemente, o solo tem a capacidade de neutralizar os efeitos de condições de uso incorreto, potencialmente prejudiciais adicionados a ele. Essa capacidade neutralizadora do solo existe porque ele é um material muito complexo e variado, com muitos atributos físicos, químicos e biológicos (Nortcliff, 2002). Qualquer avaliação da qualidade do solo deve considerar esse papel multifuncional.

Alguns rumos para a pesquisa em regiões tropicais de países em desenvolvimento foram apontados recentemente por Lal (1999) e incluem práticas de manejo do solo para garantir a produção de alimentos com o mínimo de riscos para o ambiente. O quadro mundial atual representado pelo autor é preocupante, uma vez que indica redução das áreas produtivas per capita, severa escassez do recurso água e elevados riscos de degradação do solo, seja por meio da erosão hídrica ou poluição química, aliados à descapitalização do produtor e ao fraco apoio institucional.

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

Existe forte necessidade de desenvolvimento de pesquisas em ciência do solo nas regiões tropicais, onde novas tecnologias devem alcançar êxito por meio das melhorias na estrutura do solo, aumento da eficiência no uso de nutrientes por mecanismos de reciclagem, adoção de cultivos com manejo de resíduos culturais e aumento da eficiência no uso da água (Lal, 1999).

1.3 MATERIAIS E MÉTODOS GERAIS

1.3.1 Localização da microrregião noroeste do estado de Minas Gerais

A região noroeste do estado de Minas Gerais localizada a latitude sul 16°10' e 18°42' e de longitude oeste 44°24' e 47°44'. A fazenda experimental da Companhia Mineira de Metais (CMM) está localizada na latitude sul 17° 33' e longitude oeste 46° 42' (Figura 1).

1.3.2 Solo e clima

O clima predominante nessa região é do tipo subtropical úmido, com temperatura média máxima de 32°C e mínima de 16°C. As precipitações médias anuais variam de 1.300 a 1.800 mm (Figura 2). Seu regime é periódico, concentrando-se no semestre mais quente.

A região bioclimática da área em estudo é 9, segundo Golfari (1975). A altitude média é de 550 m e o relevo varia de plano a suave ondulado. A formação vegetal predominante é o cerrado, com suas variações de campo limpo até matas (cerradões), nas manchas de solo mais férteis.

O solo é atualmente classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVd) (Embrapa, 1999), no Anexo são apresentados dados dos atributos mineralógicos e químicos do solo estudado, Tabela 1C e 2C, respectivamente.

O clima da região bioclimática 9 é tropical seco-subúmido, com temperatura média variando entre 22° e 24°C por ano e com índice pluviométrico de 900 e 1.200 mm, sendo as chuvas concentradas no verão. No inverno, a seca, que pode durar de cinco a sete meses, gera déficit hídrico anual, que varia de 90 a 210 mm, reduzindo significativamente o incremento volumétrico dos plantios. A altitude varia de 400 a 900 m, com planaltos, chapadões e planícies. A formação vegetal predominante é o cerrado, com seus diferentes tipos, de cerradões a campos.

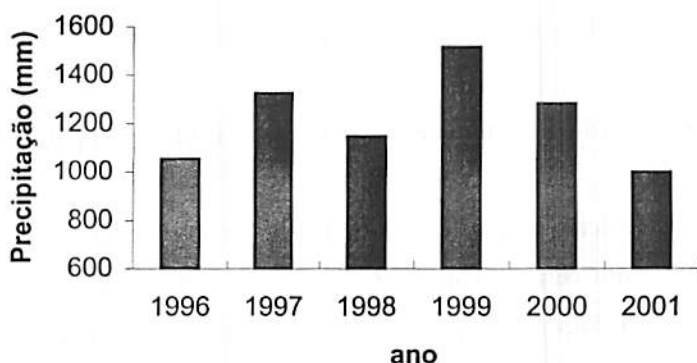


FIGURA 2 Precipitação média anual

1.3.3 Histórico de uso da área experimental

Na década de 1970 foi criada a unidade de reflorestamento, com o objetivo de produzir lenha e carvão vegetal para alimentar os fornos que concentravam o zinco, em sua usina de Vazante, MG. Todavia, a partir do início da década de 1990, a siderúrgica mudou sua tecnologia de produção, passando a utilizar outra fonte de oxirredução. Com isso, seus auto-fornos pararam de consumir lenha e carvão como agente redutor do zinco. Assim, surgiu a necessidade de encontrar outra alternativa de uso para as florestas de eucalipto,

por isso, foi aumentado o espaçamento nas florestas, com o objetivo de adquirir uma madeira mais nobre.

Hoje, o complexo agrossilvopastoril da Companhia Mineira de Metais-CMM, tem como missão principal trabalhar a terra, promovendo um desenvolvimento sustentado. É a empresa que possui a maior área ocupada por sistemas agrossilvopastoril no Brasil. Esse sistema produz madeira, lenha, carvão vegetal, arroz, soja, gado para abate e reprodutores Simental. A melhor madeira é vendida para serrarias e construção civil, enquanto a de qualidade inferior é vendida para as carvoarias, que estão localizadas dentro da própria fazenda. O carvão de qualidade superior é empacotado e comercializado.

1.3.4 Caracterização do sistema agrossilvopastoril utilizado pela CMM

Ano zero:

No ano zero, início das atividades, ocorre o preparo das áreas anteriormente, com cerrado nativo. As áreas são preparadas para plantio de clones híbridos de *Eucaliptos* sp., no espaçamento de 10 x 4 m (250 árvores por hectare), consorciado com arroz (*Oryza sativa* cv. Guarani). O arroz é a primeira cultura anual plantada, por causa da sua menor exigência em fertilidade. Mantém-se 1 m de distância das covas para não prejudicar as raízes do eucalipto, para facilitar os tratos culturais e para diminuir os efeitos competitivos, principalmente por luz.

O preparo de solo necessário para a semeadura consiste em aração e gradagens, após o desmatamento da vegetação nativa de cerrado. As operações de plantio e adubação são conduzidas simultaneamente com semeadeira-adubadeira, acionada por trator agrícola.

Para a calagem, são incorporadas ao solo 4,0 t ha⁻¹ de calcário Zinca 200 MMA (PRNT 85%), no mês de julho do mesmo ano. Depois, é realizada a

adubação, que consiste em 200 kg ha⁻¹ de NPK 5-25-15, ou seja, 9,0g por metro linear, o adubo localizado abaixo e ao lado das sementes.

A semeadura do arroz ocorre na última semana de outubro de cada ano, início da estação chuvosa. O número de sementes de arroz Guarani por metro é de 80, ou seja, 50 kg ha⁻¹, semeadas à profundidade de 3 cm, com espaçamento de 0,45 m entre as linhas (18 linhas de arroz por entrelinha dos eucaliptos).

O cultivar Guarani é de ciclo curto e floresce num período de 75 a 90 dias após a semeadura. Seu ciclo de maturação é de 105 a 120 dias. Ele alcança uma altura média de 100 cm e sua produção é de 23,33 sacas ha⁻¹. A cultivar também apresenta boa resistência ao déficit hídrico.

Todos os restos culturais da colheita do arroz são incorporados ao solo. Não há gradagem logo após a colheita. Ela é feita no momento de incorporação de calcário no solo, no próximo mês de julho.

O plantio das mudas de eucalipto ocorre entre 15 de novembro a 15 de dezembro de cada ano, na mesma área já parcialmente coberta pelo arroz. Portanto, o ano da implantação é aquele em que as mudas são plantadas, como referência, em dezembro. As linhas de eucalipto são plantadas no sentido leste-oeste, para proporcionar plena radiação solar para as culturas consorciadas nas entrelinhas. Os clones híbridos utilizados possuem boa resistência contra déficit hídrico e ataque de lagartas.

Para a distribuição de corretivos na cova de eucalipto, é utilizada uma mistura de 240 kg ha⁻¹ de fosfato natural, 120 kg ha⁻¹ de gesso agrícola e 48 kg ha⁻¹ de óxido de magnésio, totalizando 408 kg ha⁻¹. Enfim, a adubação mineral consiste em 37,5 kg ha⁻¹ de NPK 10-28-6 ou 6-30-6. São realizados três combates a formigas no momento da implantação da floresta, o primeiro sendo o mais rigoroso, com 6,0 kg ha⁻¹ de formicida granulado Atamex (iscas) e os demais com 0,50 kg ha⁻¹.

Ano um:

No ano um, é semeada a soja (*Glycine max* cv. Doko, Conquista e Vitória) no lugar do arroz, na entrelinha do eucalipto, mantendo novamente 1 metro de distância das árvores. A soja é inoculada, inicialmente, com a bactéria *Bradyrhizobium japonicum*.

A semeadura da soja ocorre na primeira semana de novembro; o número de sementes por metro linear é de 22 a 26, ou seja, 60 kg ha⁻¹ (produção de 25 sacas ha⁻¹), semeadas a profundidade de 3 a 5cm, com espaçamento de 0,45m entre as linhas (18 linhas de soja por entrelinha de eucalipto). A densidade populacional é de 200.000 plantas por hectare. No momento da inoculação, as sementes são umedecidas com solução de sacarose. Posteriormente, elas são misturadas ao inoculante (1,0 kg por 100 kg de sementes), de maneira a promover uma boa distribuição sobre as sementes. O preparo de solo necessário para a semeadura consiste de uma gradagem aradora e duas gradagens niveladoras.

Para a calagem, são anteriormente incorporadas ao solo 3,0 t ha⁻¹ de calcário Zinca 200 MMA, PRNT 85%, no mês de julho do mesmo ano. Enfim, a adubação consiste em 300 kg ha⁻¹ de 2-20-20 (NPK), sendo o adubo localizado no solo abaixo e ao lado das sementes.

Mais uma vez, todos os restos culturais da colheita da soja são incorporados ao solo. Nesse ano, ocorre também a primeira manutenção de florestas de eucalipto (capinas manuais, conservação de estradas e combate às formigas).

Ano dois:

No ano dois, há formação de pastagens manejadas para engorda de gado de corte, com capacidade de suporte estimada em 1,0 UA ha⁻¹ (unidade animal por hectare) no inverno e 2,0 UA ha⁻¹ no verão. Para a calagem, é anteriormente

incorporada ao solo 1,0 t de calcário Zinca 200 MMA (PRNT 85%), em julho do mesmo ano.

O preparo de solo necessário para a semeadura consiste de uma gradagem pesada à profundidade de 20 cm, com arado de disco, seguida de uma gradagem niveladora com arado de disco, para homogeneizar e aplainar a superfície do solo. Após a semeadura, é feita uma gradagem niveladora de incorporação, com a finalidade de cobrir as sementes lançadas.

A semeadura do capim (*Brachiaria brizantha*) ocorre no mês de novembro. A quantidade de sementes é de aproximadamente 10 kg ha⁻¹. No momento do plantio, a semente é misturada com fosfato natural e superfosfato simples.

De três em três anos após a implantação das pastagens, é feita uma adubação de manutenção, cuja composição é de 1.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 300 kg ha⁻¹ de fosfato natural, 200 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 80 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Nesse mesmo ano, os eucaliptos, com 6 metros de altura e aproximadamente 24 meses de idade, são desramados até a altura de 4 metros do solo e no máximo 50% da copa. A desrama permite amenizar os efeitos competitivos com as culturas agrícolas e forrageiras, além de proporcionar, no futuro, fustes livres de nós, com maior valor agregado na época do seu corte, melhorando a qualidade da madeira para serraria e aumentando seu valor comercial (Petruncio, 1994). A poda é feita rente ao tronco, não deixando lascas nem ferimentos no caule.

Ano três:

No ano três, inicia-se o período de utilização para engorda de bois. Os novilhos são adquiridos bianualmente, considerando um prazo necessário de

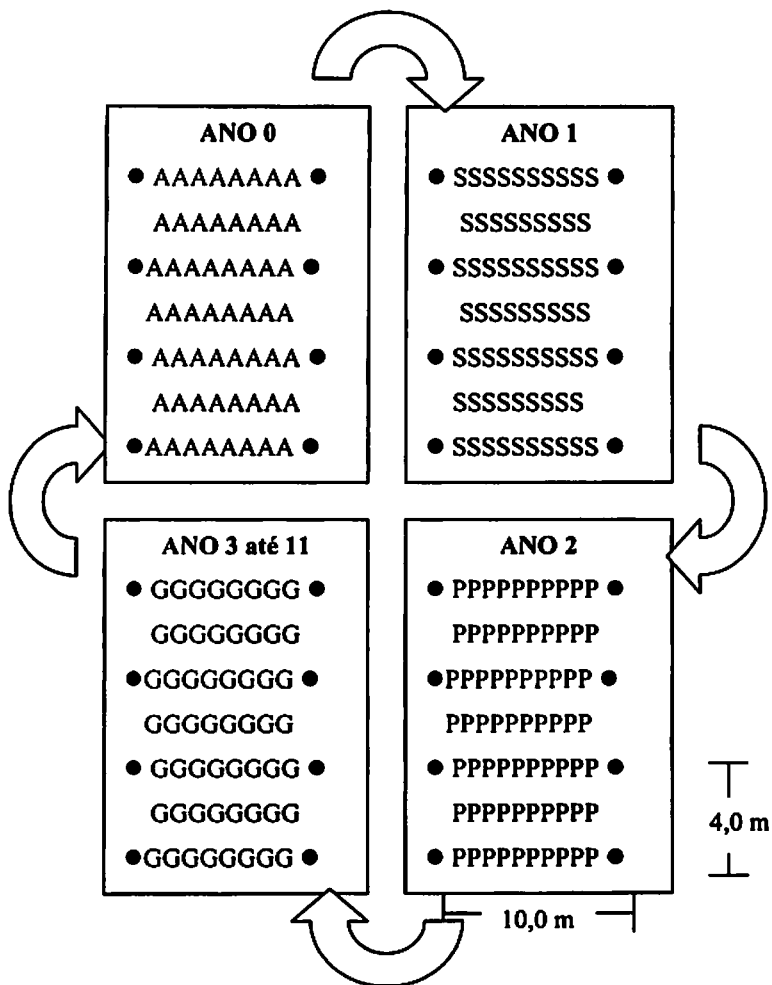
dois anos para engorda. Assim, a cada dois anos, os bois gordos são vendidos e substituídos por novinhos, para dar início a um novo ciclo de engorda.

Ano quatro:

Acontece simplesmente a manutenção de florestas de eucalipto e conservação das estradas.

A partir do quinto ano:

Aqui se tem o estabelecimento do sistema silvipastoril, envolvendo eucalipto e produção de gado de corte, além de uma periodicidade bianual de vendas de boi gordos, até o ano 11. Na Figura 3, um croqui para facilitar a visualização da seqüência das culturas que fazem parte do sistema agrossilvopastoril.



Legenda:

- = clone híbrido de eucalipto (*Eucalipto* sp.)
- A = arroz (*Oryza sativa*)
- S = soja (*Glycine max*)
- P = pastagem de braquiária (*Brachiaria brizantha*)
- G = gado no pastejo para engorda

FIGURA 3 Croqui do sistema agrossilvopastoril (Adaptado de Dubé, 1999).

1.3.5 Amostragem e sistemas estudados

A coleta das amostras de solo (deformadas e indeformadas) foi efetuada em maio de 2001, em três repetições e nas profundidades de 0-5 cm, 5-20 cm e 20-40 cm. Na Tabela 1 é apresentada uma síntese do histórico dos sistemas de uso e manejo.

TABELA 1 Histórico dos sistemas de uso e manejo do solo estudado

Sistemas	Símbolo	Histórico
Cerrado nativo (Figura 4 A)	CN	Vegetação típica de cerrado, sem histórico de interferência humana e uso agrícola.
Eucalipto + arroz (Figura 4 B)	EA	Eucalipto consorciado com arroz plantado em dezembro de 2000 e colheita feita em março de 2001. Na data da amostragem, o eucalipto estava com 4 meses.
Eucalipto + soja (Figura 4 C)	ES	Eucalipto consorciado com soja plantada em dezembro de 2000 e colheita feita em março de 2001 (o arroz havia sido plantado nesta área em dezembro de 1999 e colhido em março de 2000). Na data da amostragem o eucalipto estava com 1 ano e 4 meses.

Eucalipto + pastagem (Figura 4 D)	EP	Eucalipto consorciado com pastagem plantada em dezembro de 1999 (o arroz havia sido plantado nesta área em dez/97 e a soja plantada em dez/98). Na data da amostragem, o eucalipto estava com 3 anos e 4 meses.
Eucalipto +pastagem + gado (Figura 4 E)	EPG	Eucalipto consorciado com pastagem plantada em dezembro de 1993. Na data da amostragem, o eucalipto estava com 7 anos e 4 meses
Pastagem convencional (Figura 4 F)	PC	Pastagem convencional
Eucalipto convencional (Figura 4 G)	EC	Eucalipto convencional (espaçamento 3x2)



FIGURA 4. Cerrado Nativo (A); Eucalipto+arroz (B); Eucalipto + soja (C); Eucalipto+pastagem (D); Eucalipto+pastagem+gado (E); Pastagem convencional (F); Eucalipto convencional (G).

1.3.7 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com subparcelas devido às profundidades, em que as parcelas são os sistemas e a subparcelas são as profundidades. Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo o efeito da profundidade, dos sistemas de manejo e da interação sistema x profundidade comparado pelo do teste de Scott e Knott (Scott & Knott, 1974), a 5% de probabilidade, para comparação entre as médias, utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2000). O modelo seguido foi:

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

Em que:

Y_{ij} : valor de cada observação;

m : média geral;

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

BENE, J. C.; BEAL, H. W.; COTE, A. **Trees, foos and people: land management in the tropics.** Ottawa: International Development Research Centre, 1977. (Report IDCR-084e)

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.

COMBE, J.; BUDOWSKI, G. **Classificación de las técnicas agroforestales: una revisión de literatura.** In: TALLER SISTEMAS AGROFORESTALES EM AMERICA LATINA, Turrialba, 1979. Taller... Turrialba: Gonzalo de Las Salas, 1979. p. 17-48.

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

DUBÉ, F. **Estudos técnicos e econômicos de sistemas agroflorestais em *Eucalyptus* sp no Noroeste do Estado de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais.** 1999. 105 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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, 1999. 412 p.

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. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 225-258.

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa-MG. **Anais...** Viçosa: DZO/UFV, 1997. p. 447-471.

ISLAM, K. R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa, v. 55, n. 1, p. 69-79, Jan./Mar. 2000.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for valuation. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 61, n. 1, p. 4-10, Jan./Feb. 1997.

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

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 37-51. (SSSA Special Publication, 35).

MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. de. Princípios de agrossilvicultura com subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 1, n. 202, p. 99-109, jan./fev. 2000.

MONTAGNINI, F. (Coord.). **Sistemas agroflorestales: principios y aplicaciones en lo tropicos**. San Jose, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)/Organización para Estudios Tropicales OTS, 1986. 817 p.

MONTAGNINI, F. (Coord.). **Sistemas agroflorestales: principios y aplicaciones en lo tropicos**. San Jose, Costa Rica: Organización para Estudios Tropicales, 1992. 622 p.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2. p. 161-168, Feb. 2002.

PEREIRA, J. M.; RESENDE, C. P. Sistemas sivepastoris: fundamentos agroecológicos e estado da arte no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 13., 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 199-219.

PETRUNCIO, M. D. **Effects of pruning on growth of western Hemlock (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Southeast Alaska.** 1994. 152 p. Thesis (Ph. D). University of Washington, Washington.

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

VILELA, H. Manejo de pastagens em Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 4., 1977, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 1977. 284 p.

CAPÍTULO 2

ATRIBUTOS FÍSICOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVOPASTORIL

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar alterações de alguns atributos físicos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril. Foram avaliados: densidade do solo, argila dispersa em água, índice de flocculação, porosidade, estabilidade de agregados, resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica do solo saturado e umidade atual. Posteriormente, selecionaram-se os atributos mais sensíveis às alterações de manejo. Foram coletadas amostras do Latossolo Vermelho Distrófico Típico, textura muito argilosa, em três profundidades (0-5, 5-20 e 20-40 cm) e em sete sistemas, a saber: cerrado nativo (CN-testemunha), eucalipto+arroz (EA - ano zero do sistema agrossilvopastoril), eucalipto+soja (ES - ano um do sistema); eucalipto+pastagem (EP - ano dois do sistema), eucalipto+pastagem+gado (EPG), pastagem convencional (PC) e eucalipto convencional (EC). O atributo que menos sofreu alteração em todos os sistemas estudados foi a estabilidade de agregados, expresso pelo diâmetro médio geométrico, em relação ao cerrado nativo. A resistência do solo à penetração nos sistemas EPG e PC apresentaram grande alteração em relação ao cerrado nativo, onde já na camada superior foram encontrados valores extremamente altos pelo efeito do pisoteio do gado. A condutividade hidráulica do solo saturado apresentou alteração significativa nos diferentes sistemas estudados, para os sistemas EPG e PC, que tiveram grande resistência à penetração. Os valores de condutividade hidráulica também foram bastante reduzidos pelo adensamento, cerca de 96 % e 94 %, respectivamente, em relação ao cerrado nativo.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate changes of some physical features indicating soil quality in agrosilvipastoral systems. Soil density, water-dispersible clay, flocculation index, porosity, aggregate stability, soil resistance to penetration, water conductivity of the saturated soil and actual moisture were evaluated. Afterwards, we selected the features more sensitive to management alterations. Samples of very clayey Typical Dystrophic Red Latosol, at three depths (0-5, 5-20 and 20-40 cm) and in seven systems, namely, native cerrado (NC-check), eucalyptus + rice (ER – year zero of the agrosilvipastoral system), eucalyptus + soybean (ES – year one of the system), eucalyptus + pasture (EP – year two of the system), eucalyptus + pasture + cattle (EPC), conventional pasture (CP) and conventional eucalyptus (CE). The feature which suffered the least in all the system studied was aggregate stability expressed by the average geometric diameter relative to the native cerrado. Soil resistance to penetration in the in the EPC and CP presented a great alteration relative to the native cerrado, which already had in the top layer extremely high values due to cattle trampling. Water conductivity of the saturated soil presented significant alteration in the EP and PC systems which presented a great resistance to penetration. The water conductivity values were also quite reduced by compression about 96% and 94% , respectively, relative to the native cerrado.

2.1 INTRODUÇÃO

Os atributos físicos dos solos podem sofrer grandes alterações, dependendo do sistema de manejo adotado. Estas alterações podem ser prejudiciais quando se utiliza um preparo intensivo do solo, isto é, quando o solo sofre pulverizações e revolvimentos. Quando se utiliza um manejo conservacionista, os atributos físicos são mantidos, porque as alterações são minimizadas, favorecendo assim um melhor desenvolvimento das plantas.

As operações de preparo do solo são realizadas para criar condições favoráveis à germinação e ao crescimento radicular das culturas. Entretanto, as condições de umidade durante o preparo, a profundidade de mobilização e o tipo de implemento utilizado podem modificar a estrutura do solo, acarretando restrições ao crescimento das raízes (De Maria et al., 1999).

O uso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas podem levar a modificações na estrutura do solo, interferindo na densidade do solo e na porosidade. Conseqüentemente reduz-se a infiltração de água e aumenta a compactação do solo; limita-se o desenvolvimento radicular das culturas e, em última análise, reduz-se a produtividade (Derpsch et al., 1991; Tavares Filho & Tessier, 1998; De Maria et al., 1999; Tavares Filho, 2001).

Segundo Islan & Weil (2000), alguns dos atributos físicos são considerados atributos intermediários, isto é, que são alterados com o manejo após alguns anos. Assim, uma das maneiras de se fazer o monitoramento da qualidade do solo é avaliar seus atributos físicos, que são alterados pelo manejo e que exercem grande influência na sustentabilidade da produção agrícola.

A densidade de partículas (D_p) representa a relação entre massa de sólidos e o volume de sólidos. A D_p é uma propriedade física bastante estável porque depende exclusivamente da composição da fração sólida do solo. Assim, a D_p será dependente da proporção de matéria orgânica e da parte mineral.

O manejo do solo poderá modificar o valor de D_p ao longo do tempo se, com manejo, houver modificação significativa do conteúdo de matéria orgânica. Na maioria dos solos minerais, a D_p varia de 2,6 – 2,7 kg dm^{-3} , enquanto que a matéria orgânica contribui para o seu abaixamento (Ferreira & Dias Júnior, 2001).

A densidade do solo (D_s) representa a relação entre a massa de sólidos e o volume total, ou seja, o volume ocupado pela água e pelo ar. Seu valor depende da estrutura do solo, por isso, pode ser alterado pelo manejo, em que a disposição das partículas é alterada. Além disso, ela é uma propriedade que pode sofrer variações num mesmo solo, particularmente em função da adição de matéria orgânica (diminuindo-a) e da compactação (aumentando-a) (Ferreira & Dias Júnior, 2001).

O conhecimento da D_s é um importante indicativo das condições de manejo do solo. Seu valor refletirá, em última análise, as características do sistema poroso do solo. Como se sabe, as raízes das plantas se desenvolvem nos poros do solo e estes, por sua vez, poderão se constituir numa restrição a esse desenvolvimento. A D_s correlaciona-se inversamente com a permeabilidade do solo, por isso se constitui em importante indicativo da capacidade de armazenamento de água para as plantas, auxiliando ainda na determinação de práticas de conservação do solo e da água (Ferreira & Dias Júnior, 2001).

Segundo Derpesch et al. (1991), com D_s até 1,20 kg dm^{-3} , problemas de enraizamento ou aeração não são prováveis. Somente com D_s superiores a 1,25 kg dm^{-3} é possível haver dificuldades de crescimento das raízes.

Volume total de poros (VTP) representa a porção do solo em volume não ocupada por sólidos. Segundo Gavande (1976), a porosidade é formada por um conjunto de poros de tamanhos diferentes, que atuam do seguinte modo: os poros grandes proporcionam a aeração e a infiltração de água; os poros médios servem à condução de água e os poros pequenos permitem o armazenamento de

água, que estará disponível aos vegetais. Em um solo arenoso, apesar de apresentar porosidade total relativamente reduzida, a movimentação da água e do ar é mais rápida, devido ao predomínio de macroporos que apresentam diâmetros maiores, permitindo maior liberdade para o ar e melhor percolação da água. Segundo Brady (1989), solos de textura argilosa, embora possuam maior VTP, na maioria são microporos, o que lhes confere boa retenção e movimentação de água e pior drenagem.

O conhecimento da porosidade total de um solo não constitui uma informação muito importante para caracterizar suas propriedades. Para isto, é necessário saber a distribuição de poros por tamanho. A porosidade do solo é classificada em duas categorias que são: a porosidade capilar, denominada de microporosidade e a porosidade não capilar, denominada de macroporosidade. A macroporosidade é também referida como porosidade de aeração (Kiehl, 1979). Os macroporos são classificados como sendo os poros com diâmetro maior que 0,05 mm; e os microporos com diâmetro inferior a este valor (Buckman & Brady, 1967).

A agregação do solo é um fenômeno que ocorre em duas etapas. A primeira está relacionada com aproximação das partículas e a segunda com sua estabilização por agentes cimentantes. Do produto final desses processos, resulta a formação de unidades estruturais, as quais, no seu conjunto, definem a estrutura do solo (Palmeira et al., 1999). Para um mesmo tipo de solo, diferentes práticas de manejo poderão afetar diretamente suas propriedades, incluindo os processos de agregação. O sistema de plantio direto, por exemplo, ao manter resíduos culturais na superfície, poderá aumentar a matéria orgânica e melhorar a agregação do solo em relação ao plantio convencional (Carpeneo & Mielniczuk, 1990). Onde os agregados são maiores e menos densos, aumentam a infiltração de água no solo (Castro Filho et al., 1998). Isso acontece no plantio direto e também em qualquer outro sistema de manejo, onde há grande

deposição de resíduo vegetal, formando uma camada espessa de matéria orgânica na superfície.

A estabilidade dos agregados das diferentes classes de tamanho é influenciada pela matéria orgânica, cuja quantidade irá permitir maior ou menor agregação, resultando em maior ou menor perda de solo (Castro Filho & Logan, 1991) em decorrência da maior resistência à desagregação e dispersão. A matéria orgânica exerce papel importante na formação e estabilização dos agregados do solo, pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes (Tisdall & Oades, 1982).

No cultivo convencional, a ruptura dos agregados ocasionada pelo preparo do solo poderá, além de aumentar as perdas de solo, também acelerar as perdas de carbono orgânico pela oxidação da matéria orgânica (Oades, 1984; Castro Filho et al., 1998).

Estudos desenvolvidos em um Latossolo Roxo no Paraná encontraram valores de diâmetro médio geométrico dos agregados superiores em plantio direto em relação ao cultivo convencional. Isso aconteceu devido ao incremento do teor de matéria orgânica (Castro Filho et al., 1998). Em estudo comparando a estabilidade estrutural em condições de mata e campo nativo com cultivo convencional, Carpenedo & Mielniczuk (1990) verificaram redução da agregação quando os solos foram submetidos à lavração e à gradagem para cultivo. Em relação ao tamanho do agregado, foi observado que, quanto maior for o agregado, maior será o diâmetro médio geométrico e os espaços porosos entre eles, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão hídrica (Angulo et al., 1984).

A resistência mecânica é um termo utilizado para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Pedrotti et al., 2001). Essa resistência do solo à penetração aumenta com a compactação do solo e com a

redução da umidade. Ela é restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores que variam de 1,5 a 3,0 MPa, sendo admitidos valores superiores em plantio direto, na ordem de 5,0 MPa /observados por Ehlers et al, (1983). Este aspecto está relacionado com permanência da continuidade dos poros, resultante da decomposição das raízes, liberação de exsudatos radiculares, atividade biológica do solo mais efetiva, propiciando maior estabilidade dos agregados (Tisdall & Oades, 1982).

Em sistemas de manejo pouco mobilizadores de solo, a elevada macroporosidade deve-se à ação de raízes, minhocas e de insetos que favorecem a infiltração de água. A infiltração de água no solo é um fenômeno físico que consiste na entrada de água no solo pela sua superfície. Podendo-se ser influenciada pelas propriedades intrínsecas e pelo modo como a água atinge a superfície (Barcelos et al., 1999).

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) ou permeabilidade é função da distribuição de poros por tamanho, variando diretamente com o conteúdo de macroporos (Ferreira, 2001).

O objetivo desse trabalho foi avaliar alterações de alguns atributos físicos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril. Dentre eles: densidade do solo, argila dispersa em água, índice de floculação, porosidade, estabilidade de agregados, umidade atual do solo, resistência do solo à penetração e condutividade hidráulica do solo saturado, selecionando posteriormente os atributos mais sensíveis às alterações de manejo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local, solo, tratamentos e análise estatística

Os locais de amostragem, a classe do solo estudada, o histórico das áreas utilizadas e a análise estatística estão descritos no item 1.3 (Material e Métodos Geral – Capítulo 1).

2.2.2 Análises laboratoriais

Foram coletadas amostras indeformadas com o uso do amostrador de Uhland, em cilindros com dimensões médias de 8,25 cm de altura por 6,90 cm de diâmetro interno. A densidade do solo foi determinada de acordo com Blake & Hartge (1986a) e o volume total de poros segundo a expressão preconizada por Danielson & Sutherland (1986). A distribuição de poros por tamanho foi determinada utilizando-se funil de placa porosa, em unidade de sucção a 60 cm de altura de coluna d'água, para a separação de macro e microporos. O volume de água retida nas amostras após o equilíbrio foi relacionado à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença (Grohmann, 1960).

Amostras com estrutura deformada foram coletadas, sendo secas ao ar e passadas na peneira de 2 mm (terra fina seca ao ar) para análises. Procedeu-se à análise granulométrica pelo método da pipeta (Day, 1965), após dispersão da amostra com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação rápida (6.000 rpm) por 15 minutos. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 1.A. A argila dispersa em água foi determinada sem o uso de dispersante químico, determinando-se o índice de floculação pela expressão:

$$IF = \left[\frac{(AT - ADA)}{AT} \right] * 100$$

Em que:

IF = índice de floculação (%);

AT = argila total (g kg^{-1});

ADA = argila dispersa em água total (g kg^{-1}).

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (Blake & Hartge, 1986a) e os valores obtidos são apresentados na Tabela 2.A. Foi observado um efeito significativo da Dp em relação à profundidade ($P \leq 0,05$) (Tabela 1.A). Na camada superior foi encontrado um valor menor da Dp, pela influência da matéria orgânica, que atua de modo a reduzir a densidade de partícula.

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

A quantificação da caulinita e gibbsita foi feita por meio de análise térmica diferencial (ATD) na fração argila desferrificada, obtida no resíduo do tratamento com ditonito-citrato-bicarbonato de sódio (DBC) (Mehra & Jackson, 1991).

Agregados com diâmetro de 4,76 a 7,93 mm foram obtidos por peneiramento do solo, e a estabilidade de agregados determinada por peneiramento em água após pré-umedecimento lento por capilaridade, durante 24 horas (Oliveira et al., 1983; Kemper & Rosenau, 1986). Foram usadas peneiras de malhas correspondentes a 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,105 mm para a separação das classes de tamanho dos agregados. O diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado com o uso da seguinte expressão:

$$DMG = 10^X \quad X = \left[\frac{\sum (w_i * \text{Ln } x_m)}{\sum w_i} \right]$$

Em que:

DMG = diâmetro médio geométrico (mm);

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

$\text{Ln } x_m$ = logaritmo natural do diâmetro médio de cada classe de tamanho;

$\sum w_i$ = massa total da amostra (g).

As porcentagens de agregados maiores que 2 mm e menores que 0,25 mm foram calculadas pelas expressões:

$$\% > 2 = 100 * \left[\frac{(w_{>2})}{\sum w_i} \right] \quad \% < 0,25 = 100 * \left[\frac{(w_{<0,25})}{\sum w_i} \right]$$

Em que:

$\% > 2$ = 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;

$\sum w_i$ = massa total da amostra (g).

A resistência à penetração foi determinada com penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR – STOLF (Stolf et al., 1983), com trinta repetições para cada sistema de manejo. Os valores obtidos em kgf cm^{-2} foram multiplicados pelo fator 0,098, com a finalidade de expressar os resultados em MPa. A umidade do solo no momento do teste de resistência à penetração foi determinada pelo método gravimétrico.

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) foi determinada por meio de permeâmetro de carga constante, seguindo metodologia descrita por Lima et al. (1990), com uso de amostras indeformadas saturadas previamente por capilaridade. Considerou-se, para efeito de cálculo, o valor estabilizado após cinco leituras iguais. Utilizou-se a equação de Darcy para o cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado:

$$K = 600 * \frac{(Q * L)}{(A * h * t)}$$

Em que:

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 = intervalo de tempo entre as coletas (min).

O valor da condutividade hidráulica do solo saturado obtido pela expressão acima foi corrigido para a temperatura de 20°C , por meio da relação:

$$K_s = K * \left(\frac{\mu_t}{\mu_{20}} \right)$$

Em que:

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 da determinação das leituras;

μ_{20} = viscosidade da água a 20°C .

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Densidade do solo

Os resultados das determinações da densidade do solo são apresentados na Tabela 2.1. A interação entre sistema e profundidade foi significativa ($P \leq 0,05$) (Tabela 3. A).

TABELA 2.1. Densidade do solo Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	-----Ds (kg dm ⁻³)-----		
* CN	0,93 d B	1,07 b A	1,14 a A
EA	1,00 c A	1,06 b A	1,00 b A
ES	0,96 d A	1,01 c A	0,97 b A
EP	1,02 c B	1,15 a A	1,02 b B
EPG	1,18 a A	1,13 a A	1,05 b B
PC	1,08 b A	0,99 c B	0,99 b B
EC	1,18 a A	1,14 a A	1,14 a A
CV sistema	(%)	5,88	
CV geral	(%)	3,91	

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

No CN, onde se encontra uma maior quantidade de resíduos vegetais na superfície, foram obtidos valores de Ds inferiores aos demais sistemas. Mesmo comportamento foi observado no sistema ES. No sistema EP onde se encontra uma grande cobertura vegetal, pelo fato do pasto estar bem formado e o gado ainda não ter acesso ao mesmo também foi observado um valor de 1,02 kg dm⁻³

que pode ser considerado baixo. Segundo Derpesch et al. (1991), somente com Ds superiores a $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$ é possível haver dificuldades de crescimento das raízes. Valores mais altos de Ds na superfície foram encontrados no sistema EPG e EC, que está relacionado ao pisoteio animal (Cavanage et al., 1999), que pode ser devido também ao pisoteio do gado que tem acesso nesta área. Estes resultados estão de acordo com D'Andrea (2001) que também encontrou valores maiores para sistema de pastagem.

2.3.2 Volume total de poros (VTP) e distribuição de poros por tamanho

Os resultados obtidos do volume total de poros são mostrados na Tabela

2.2 Houve efeito significativo entre profundidade e sistema ($P \leq 0,05$) (Tabela 3.A).

TABELA 2.2 Volume total de poros em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	-----VTP (m ³ m ⁻³)-----		
CN	0,59 a A	0,54 b B	0,52 b B
EA	0,56 b A	0,54 b A	0,57 a A
ES	0,62 a A	0,55 b B	0,62 a A
EP	0,61 a A	0,54 b B	0,58 a B
EPG	0,56 b A	0,56 b A	0,58 a A
PC	0,55 b B	0,60 a A	0,60 a A
EC	0,49 c B	0,52 b A	0,54 b A
CV sistema	(%)	5,54	
CV geral	(%)	3,65	

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

Em relação à profundidade foi verificado, na camada superior (0-5 cm), um maior valor de VTP para todos os sistemas, exceto para EC que apresentou menor valor nesta profundidade (Tabela 2.2). Isto pode ser explicado pelo valor mais elevado de densidade do solo observado neste sistema (Tabela 2.1). O mesmo não foi observado por D'Andrea (2001), que encontrou menor VTP na camada superficial (0-10 cm) para todos os sistemas de manejo estudados. Esses resultados concordam com Beutler et al. (2001), tendo a porosidade total variado inversamente com a densidade do solo. Observando-se a camada superficial de todos os sistemas isto é confirmado, pois os sistemas que apresentaram valores

mais baixos de VTP (EA, EPG, PC, EC) foram os sistemas que apresentaram valores mais elevados de Ds (Tabela 2.1). Cavanage et al. (1999), em estudo sobre alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, encontraram resultados semelhantes. Na camada superior, o cerrado nativo apresentou maior valor de VTP quando comparado com outros sistemas de manejo.

Houve uma queda no valor do VTP, quando passa do CN para o sistema agrossilvopastoril, (na camada de 0-5 cm). Isso pode ser explicado pela redução de matéria orgânica que afetou a densidade do solo (aumentando-a) e conseqüentemente, reduzindo o VTP.

Dentro do sistema agrossilvopastoril (EA, ES, EP e EPG), foi observada uma tendência de aumento no VTP em relação ao CN. Isso possivelmente, melhora a infiltração e retenção de água no sistema, podendo ser explicado pela tendência do sistema entrar em equilíbrio, aumentando seu teor de matéria orgânica (Tabela 3.2) e melhorando o arranjo das partículas com o passar dos anos. O EPG é uma fase do sistema agrossilvopastoril em que a cobertura de braquiária já está bem reduzida e onde já sofreu bastante pisoteio. Pode ser por isso que seu valor de VTP foi menor, se diferenciando dos demais. Outro fator que pode ter colaborado foi seu valor de densidade do solo, que foi o mais elevado (Tabela 2.1).

A distribuição do tamanho de poros expressa por meio da microporosidade é apresentada na Tabela 2.3. Houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) entre a interação de sistemas com profundidades (Tabela 3. A)

Para todas as profundidades, o CN apresentou menores valores de microporosidade (Tabela 2.3).

TABELA 2.3 Microporosidade em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	----- Microporosidade ($m^3 m^{-3}$) -----		
CN	0,31 c A	0,33 b A	0,34 b A
EA	0,36 b B	0,38 a B	0,43 a A
ES	0,36 b B	0,37 a B	0,40 a A
EP	0,38 b A	0,39 a A	0,39 a A
EPG	0,42 a A	0,36 a B	0,36 b B
PC	0,44 a A	0,37 a B	0,40 a B
EC	0,42 a A	0,40 a A	0,37 b B
CV sistema	(%)	8,86	
CV geral	(%)	5,30	

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

Dentre os sistemas, a maior microporosidade foi observada no EPG, PC e EC. Também foram encontrados menores valores de VTP (Tabela 2.2) e maiores valores de D_s (Tabela 2.1). A variação destes atributos também foi observada por Bertol et al. (1998) que concluíram que o aumento da densidade do solo resultou na diminuição da VTP e ocasionou um aumento dos microporos. O menor valor de microporosidade encontrado foi no CN.

Analisando o efeito da profundidade dentro dos sistemas, foi observada uma redução da microporosidade nos sistemas EPG, PC e EC e um aumento nos sistemas EA e ES, na camada de 20 – 40 cm. Nos sistemas CN e EP, foram encontrados valores estatisticamente iguais dentro das três profundidades estudadas, mostrando a homogeneidade do perfil. No caso do CN, isto era esperado, pois é um sistema em equilíbrio, em que não houve intervenção

antrópica. No EP isto pode ser explicado pelo sistema radicular da gramínea, que apresenta grande eficiência na estruturação de todo perfil, pelo seu comprimento e também pela sua densidade radicular (Silva et al., 1998).

A distribuição do tamanho de poros, expressa pela da macroporosidade, é apresentada na Tabela 2.4. Não houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) entre a interação de sistemas com profundidades (Tabela 3. A).

TABELA 2.4 Macroporosidade em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-5	5-20	20-40	
----- Macroporosidade ($m^3 m^{-3}$) -----				
CN	0,24	0,25	0,26	0,25 a
EA	0,23	0,23	0,15	0,20 b
ES	0,24	0,19	0,19	0,21 b
EP	0,24	0,23	0,21	0,23 b
EPG	0,25	0,27	0,26	0,26 a
PC	0,20	0,21	0,18	0,20 b
EC	0,29	0,28	0,30	0,29 a
Médias	0,24 A	0,24 A	0,22 B	
CV sistema	(%)	18,57		
CV geral	(%)	11,18		

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

Analisando a profundidade observou-se menor valor de macroporos na camada mais profunda (20-40 cm). Beutler et al. (2001a), estudando também Latossolo, encontraram menor valor de macroporos nas profundidades de 5-20 e 20-30 cm. Em estudo na região Campos das Vertentes, Silva (2001) encontrou

menores valores de macroporos na profundidade intermediária (10-20 cm), em todos sistemas de manejo estudados.

O CN, juntamente com EPG e EC, foram os sistemas que apresentaram maiores resultados de macroporosidade, em que os valores foram 25%, 26% e 29% respectivamente.

2.3.3 Argila dispersa em água e índice de floculação

Os resultados obtidos na determinação da argila dispersa em água do solo são apresentados na Tabela 2.5. Não houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) entre a interação de sistemas com profundidades (Tabela 3. A).

TABELA 2.5 Argila dispersa em água (ADA) em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-5	5-20	20-40	
	----- ADA (g kg ⁻¹) -----			
CN	26,14	21,38	31,25	26,25 a
EA	27,01	11,10	28,64	22,25 a
ES	22,77	15,57	19,60	19,31 b
EP	34,79	13,31	21,07	23,06 a
EPG	25,62	11,68	23,87	20,39 b
PC	23,97	12,72	17,41	18,03 b
EC	24,31	10,86	19,94	18,37 b
Médias	26,37 A	13,80 B	23,11 A	
CV sistema	(%)	22,55		
CV geral	(%)	38,13		

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

Os resultados obtidos na determinação do índice de floculação do solo são apresentados na Tabela 2.6. Não houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) entre a interação de sistemas com profundidades (Tabela 3. A).

TABELA 2.6 Índice de floculação em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-5	5-20	20-40	
	----- IF (%) -----			
CN	62,20	68,07	55,70	61,99 c
EA	61,08	83,88	61,55	68,84 b
ES	68,26	78,22	74,86	73,78 a
EP	54,13	81,43	73,64	69,73 b
EPG	58,96	82,42	64,75	68,71 b
PC	68,50	81,69	76,06	75,41 a
EC	66,93	84,13	71,69	74,25 a
Médias	62,86 B	79,98 A	68,32 B	
CV sistema	(%)	8,66		
CV geral	(%)	16,18		

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

A argila dispersa em água foi maior no CN, onde também foi encontrado um menor valor de índice de floculação (Tabela 2.6). Em seguida, se têm os sistemas EA e EP, que também apresentaram valores inferiores de índice de floculação, quando comparados com os demais sistemas.

2.3.4 Estabilidade de agregados

Na Tabela 2.7 encontram-se os resultados da estabilidade de agregados, expressos pelo diâmetro médio geométrico (DMG). Houve efeito significativo para interação entre sistema e profundidade ($P \leq 0,05$) (Tabela 3. A).

TABELA 2.7 Diâmetro médio geométrico (DMG) em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	-----DMG (mm)-----		
CN	4,43 a A	4,39 a A	4,39 a A
EA	3,96 a A	4,05 a A	3,76 b A
ES	3,29 b B	4,17 a A	3,89 b A
EP	4,11 a A	3,92 a A	4,22 a A
EPG	4,33 a A	4,00 a A	3,49 b B
PC	4,18 a A	4,03 a A	4,18 a A
EC	4,40 a A	4,33 a A	4,37 a A
CV sistema	(%)	5,84	
CV geral	(%)	5,37	

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

Os valores encontrados de DMG variaram de 3,29 a 4,43 mm. Segundo Silva (2001), estas classes de estabilidade de agregados são consideradas alta e muito alta, respectivamente (Tabela 4. A). Cada sistema de manejo influencia de uma maneira os atributos dos solos, Castro Filho et al. (1998), Silva et al. (2000), D'Andrea (2001) e Beutler et al. (2001a) encontraram uma significativa redução no DMG dos agregados em sistemas de cultivo convencional, onde o

solo sofreu revolvimentos. Em estudo de agregação do solo em um Planossolo sob diferentes sistemas, Palmeira et al. (1999) encontraram uma maior concentração de agregados estáveis na classe de maior tamanho, em sistema de cultivo com mínima mobilização do solo. A maior concentração na classe de menor diâmetro ocorreu nos tratamentos com maior ação antrópica.

Na camada de 0 – 5cm, os valores encontrados de DMG para o CN concordam com trabalhos anteriores, como de Palmeira et al. (1999), Beutler et al. (2001a) e D'Andrea (2001). Em relação aos sistemas de manejo, o único que apresentou valor diferente foi o sistema ES. Isso pode ser devido a um efeito acumulativo, já que foi a segunda vez que a área sofreu intervenção mecânica. O próximo sistema seria o EP, que também sofreu intervenção de máquinas para o preparo da área, mas esse efeito pode ter sido minimizado pelo efeito do sistema radicular da gramínea (*Brachiaria brizantha*). O cultivo de gramíneas apresenta considerável efeito na agregação, devido à extensão de seu sistema radicular (Castro Filho et al., 1998). Baver et al., (1972) e Silva et al., (1998) também relatam a eficiência das gramíneas na estruturação do solo. Tal fato está relacionado com sua alta capacidade de regeneração, produção de matéria seca, comprimento e densidade radicular, bem como os compostos orgânicos resultantes da sua decomposição que revelam efeitos mais duradouros.

No sistema agrossilvopastoril deste estudo, o solo sofre arações e gradagens para implantação das culturas. Depois do quarto ano, onde a pastagem já está estabelecida, não é feita mais operações de preparo do solo. Assim, espera-se que, com a passar dos anos, aumente o teor de matéria orgânica, principalmente na superfície e que também haja uma melhora na estrutura do solo, promovendo maior estabilidade de agregados.

Os resultados encontrados para a porcentagem de agregados maiores que 2 mm são apresentados na Tabela 2.8. Houve efeito significativo na interação entre sistema e profundidade ($P \leq 0,05$) (Tabela 3.A).

TABELA 2.8 Porcentagem de agregados maiores que 2 mm em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	-----> 2 mm (%) -----		
CN	97,17 a A	99,04 a A	99,11 a A
EA	94,35 a A	95,95 a A	93,84 b A
ES	87,81 b B	96,63 a A	94,14 b A
EP	96,44 a A	93,06 a A	92,54 a A
EPG	98,44 a A	95,23 a A	88,77 b B
PC	97,12 a A	96,44 a A	96,72 a A
EC	99,03 a A	98,44 a A	98,54 a A
CV sistema	(%)	2,77	
CV geral	(%)	3,07	

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

A porcentagem de agregados > 2 mm sofreu influência semelhante ao DMG. Os motivos já foram mencionados anteriormente. Foi observado que todos sistemas, exceto ES na camada superior, apresentaram classe estabilidade de agregados muito alta, isto é, apresentaram porcentagem de agregados maiores que 2 mm superior a 90%, conforme Silva (2001) (Tabela 4.A). Analisando as profundidades e os sistemas, todos os resultados obtidos mostram a elevada estabilidade de agregados do solo nos sistemas estudados.

O mesmo não foi observado por Alvarenga & Davide (1999), em estudo das características físicas de um Latossolo Vermelho Escuro. Os valores de agregados maiores que 2 mm encontrados foram de 80% no cerrado nativo, 70%

nas pastagens plantada e nativa, 60% na floresta de eucalipto e de 50% em área de cultura anual.

Os resultados obtidos para a porcentagem de agregados menores que 0,25 mm são apresentados na Tabela 2.9. Não houve efeito significativo da profundidade sobre este atributo ($P \leq 0,05$) (Tabela 3. A).

TABELA 2.9 Porcentagem de agregados menores que 0,25 mm em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-5	5-20	20-40	
----- < 0,25 mm (%) -----				
CN	0,19	0,35	0,38	0,31 b
EA	1,70	1,58	3,12	2,13 a
ES	4,37	0,92	2,26	2,51 a
EP	1,39	1,36	2,26	1,67 a
EPG	0,56	1,67	3,35	1,86 a
PC	1,88	2,07	2,08	2,01 a
EC	0,24	0,53	0,29	0,36 b
CV sistema	(%)	66,45		
CV geral	(%)	77,45		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Todos os sistemas apresentaram valores de porcentagem de agregados menores que 0,25 mm muito baixos, confirmando, assim, a elevada estabilidade do solo estudado.

Mesmo tendo sido encontrada diferença estatística neste atributo para os diferentes sistemas, não se pode esquecer que este solo tem elevada estabilidade

de agregados. Assim, os valores encontrados se tornam irrelevantes. É mais conveniente simplesmente a utilização dos valores do diâmetro médio geométrico e de agregados maiores que 2 mm para expressar a estabilidade de agregados, o que concorda com trabalhos anteriores de D'Andrea (2001) e Silva (2001).

2.3.5 Resistência à penetração

A umidade atual gravimétrica do solo para os sistemas estudados nas três profundidades é apresentada na Tabela 2.10.

TABELA 2.10 Umidade atual em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	----- UA (%) -----		
CN	0,24	0,24	0,23
EA	0,15	0,20	0,22
ES	0,22	0,24	0,24
EP	0,20	0,22	0,22
EPG	0,19	0,20	0,21
PC	0,18	0,22	0,24
EC	0,18	0,18	0,19

Todas as umidades atuais encontradas apresentaram uma pequena variação e estão dentro da capacidade de campo.

A resistência à penetração foi estudada até a profundidade de 60 cm para todos os sistemas e encontra-se na Figura 2.1 e Tabela 6. A.

Resistência à penetração (MPa)

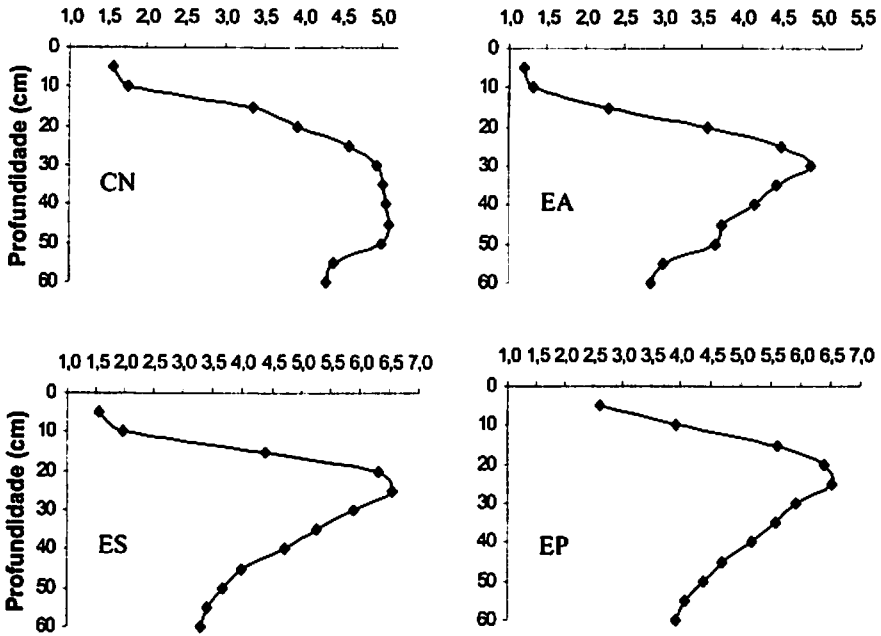


FIGURA 2.1 Resistência à penetração em Latossolo Vermelho Distrófico Típico sob sete sistemas

Resistência à penetração (MPa)

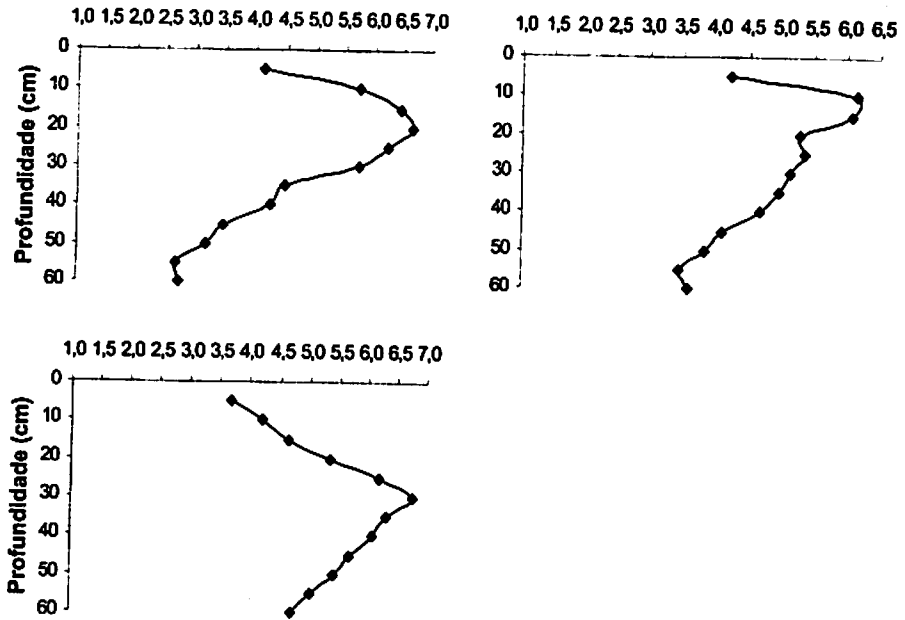


FIGURA 2.1 (continuação...) Resistência à penetração em Latossolo Vermelho Distrófico Típico sob sete sistemas.

Da superfície até a profundidade de 15 cm, apenas os sistemas EPG e PC apresentaram valores mais elevados de resistência do solo à penetração (4,11 e 4,21 MPa, respectivamente). Isso pode ser devido ao pisoteio animal (Cavanage et al., 1999), como já discutido anteriormente. Estes valores correspondem à classe de resistência à penetração muito alta, podendo trazer dificuldade ao crescimento radicular.

O CN apresentou resistência à penetração em torno de 1,60 MPa até a profundidade de 10 cm. Nos próximos 35 cm, que correspondendo a

profundidade total de 45 cm, foram encontrados valores de resistência considerados muito altos (Tabela 7.A). Depois, os valores tiveram uma tendência a diminuir, mas continuaram na classe de resistência à penetração muito alta. Por se tratar de cerrado nativo, foi observado que este efeito foi promovido por um adensamento natural do solo. O mesmo foi encontrado por D'Andrea (2001). Pedrotti et al. (2001), em estudo de resistência à penetração em Planossolo no Rio Grande do Sul, encontraram valores menores de resistência à penetração em solo sem cultivo (testemunha). Mas, na profundidade de 25 – 30 cm também foi encontrada uma camada com maior resistência. No mesmo estudo, os autores encontraram valores mais elevados de resistência à penetração em sistema de cultivo contínuo de arroz (4,5 MPa). Evidencia-se assim, que os sistemas de cultivo aumentaram os valores de resistência à penetração.

Os sistemas ES, EP e EPG na profundidade de 15 a 30 cm apresentaram valores de resistência em torno de 6,50 MPa. No caso do EPG, pode ser efeito do maior valor de densidade do solo encontrado para este sistema (Tabela 2.1). Para os sistemas ES e EP pode se esperar um efeito das máquinas utilizadas para o preparo do solo.

Conforme já discutido anteriormente, este solo está na classe de muito argiloso (Tabela 1.A), o que também pode estar influenciando nos valores obtidos de resistência à penetração, Baver et al. (1972) destacam que a resistência à penetração está relacionada com a textura, apresentando os solos arenosos menor resistência à penetração do que os solos argilosos, graças à menor manifestação da coesão entre as partículas de areia em relação às de argila.

2.3. 6 Condutividade hidráulica do solo saturado

Na Tabela 2.11 são apresentados os valores de condutividade hidráulica do solo saturado para os sistemas estudados nas três profundidades. A interação entre sistema e profundidades não foi significativa ($P \leq 0,05$), mas houve efeito significativo entre os sistemas e também entre as profundidades estudadas.

TABELA 2.11 Condutividade hidráulica em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-5	5-20	20-40	
	Condutividade hidráulica (mm h^{-1})			
CN	1549,54	733,77	657,60	980,30 a
EA	546,82	136,49	273,60	318,90 b
ES	992,90	348,60	330,00	557,20 b
EP	552,00	74,95	288,85	305,20 b
EPG	59,25	128,61	304,18	164,00 b
PC	91,00	240,92	109,00	146,90 b
EC	142,96	214,57	289,80	215,80 b
Médias	562,00 A	268,30 B	321,80 B	
CV sistema	(%)	99,07		
CV geral	(%)	79,36		

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

O CN apresentou maior valor de condutividade hidráulica do solo saturado em relação aos outros sistemas estudados ($980,30 \text{ mm h}^{-1}$). Isso demonstra que o cerrado nativo está em equilíbrio e realmente apresenta boa

permeabilidade, onde a redistribuição de água no perfil é mais eficiente. Beutler et al. (2001b) também observaram que o cerrado nativo destacou-se com valor bastante elevado de permeabilidade em relação aos sistemas de manejo.

Segundo a classificação das classes de permeabilidade da Soil Surves Staff (1993), todos os sistemas são considerados da classe de permeabilidade rápida (Tabela 5. A).

Em relação às profundidades, a camada superior apresentou maior valor de condutividade hidráulica do solo saturado. Esse efeito pode estar relacionado à maior quantidade de raízes nesta profundidade. A redução que a condutividade hidráulica sofre ao longo do perfil não é preocupante, pois, pelos valores obtidos, a classe de permeabilidade das profundidades adjacentes é considerada rápida (Tabela 5. A). Isso não aconteceu no estudo de Silva (2001), em que a camada de 10 – 20 cm apresentou condutividade hidráulica do solo saturado igual a 35,8 mm h⁻¹ (permeabilidade considerada lenta a moderada) que pode apresentar restrição quanto ao armazenamento de água no solo. Em média, o cerrado nativo apresentou valores de condutividade hidráulica cerca de 70% a 80% superiores aos demais sistemas. Na camada de 0 – 5 cm, o CN apresentou valor de 96% e 94% superior os sistemas EPG e PC, respectivamente. Como já discutido anteriormente, isto se deve ao pisoteio animal e também ao fato destes sistemas terem apresentado alta resistência à penetração nesta profundidade.

Valores com alta variabilidade promoveram um coeficiente de variação alto (Tabela 2.11) e podem indicar a necessidade de um número maior de repetições de amostras indeformadas. Trabalhos anteriores de D'Andrea (2001) e Silva (2001) também mostraram esta necessidade

2.4 CONCLUSÕES

Os atributos físicos estudados diferiram para os diferentes usos do solo, notadamente na camada de 0 –5 cm.

O atributo que menos sofreu alteração em todos os sistemas estudados foi a estabilidade de agregados, expressa pelo diâmetro médio geométrico.

A resistência do solo à penetração nos sistemas EPG e PC apresentou grande alteração em relação ao cerrado nativo. Na camada de 0–5cm foram encontrados valores elevados, provavelmente pelo efeito do pisoteio do gado.

A condutividade hidráulica do solo saturado apresentou alteração significativa nos diferentes sistemas estudados. Estes valores apresentaram uma redução em torno de 80% a 60 % do valor encontrado no cerrado nativo.

Os melhores atributos indicadores da qualidade do solo, nestes sistemas estudados, foram a resistência do solo à penetração e condutividade hidráulica do solo saturado.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-942, out/dez. 1999.
- BARCELOS, A. A.; CASOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho Distrófico Típico sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 35-43, jan./mar. 1999.
- BAVER, L. D.; GARDER, W. H.; GARDER, W. R. Soil structure – evaluation and agricultural significance. In: BAVAR, L. D.; GARDER, W. H.; GARDER, W. R. *Soil physics*. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1972. Chap. 5, p. 178-223.
- BERTOL, I.; GOMES, K. E. ; DENARDIN, R. B. N.; MACHADO, L. A. Z.; MARASCHIN, G. E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n 5, p. 779-786, maio 1998.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. Agregação de um Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 129-136, jan./mar. 2001a.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 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.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados em 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.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v. 55, n. 2, p. 1407-1413, Mar./Apr. 1991.

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

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

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

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods.* Madison: American Society of Agronomy, 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.

DERPESCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo.** Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 703-709, jul./set. 1999.

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. 212 p.

FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Física do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 9, n. 21, p. 319-329, abr. 1960.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa, v. 55, n. 1, p. 69-79, 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. Madison: SSSA, 1986. p. 425-441. (Agronomy Monograph, 9).

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

LIMA, J. M.; CURTI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, 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.

MEHRA, O. P.; JACKSON, N. L. Iron oxide removal from soils in relation to soil physical and chemical properties. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 55, n. 2, p. 476-481, Mar./Apr. 1991.

MUNSELL soil color charts. Rev ed. New Windsor: Kollmorgen Instruments – Macbeth Division, 1994. Não paginado.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, The Hague, v. 76, n. 1/3, p. 319-337, 1984.

OLIVEIRA, M. de; CURTI, 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, n. 3, p. 317-322, set./dez. 1983.

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*, Campinas, v. 23, n. 2, p. 189-195, abr./jun. 1999.

PEDROTTI, A.; PAULETO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 521-529, jul./set. 2001.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURTI, N.; LIMA, J. M. de; MARQUES, J. J. G. de S. 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, M. L. N.; CURTI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, dez. 2000.

SILVA, R. R. *Qualidade do solo em função dos diferentes sistemas de manejo na região Campo das Vertentes, Bacia Alto Rio Grande- MG*. Lavras: UFLA, 2001. 97 p.

SOIL SURVEY STAFF. *Soil survey manual*. Washington: USDA-SCS, 1993.

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. 8 p. (Série penetrômetro de impacto – Boletim, 1).

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 25, n. 3, p. 725-730, jul./set. 2001.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). *Étude Gestion Sols*, Bruxelles, v. 5, p. 61-71, 1998.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degetjareff 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./June 1934.

CAPÍTULO 3

ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVOPASTORIL

RESUMO

A biomassa microbiana do solo representa importante indicador ecológico, pois é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos no solo. Outro fator também considerado é a respiração do solo que, além de apresentar valor significativo como índice de atividade total do solo, também é um parâmetro usado para quantificar a atividade microbiana. A comunidade biológica pode ser alterada com uma simples alteração no manejo do solo. Por isso, os organismos do solo podem ser uma importante ferramenta em estudos de avaliação da qualidade dos solos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar atributos químicos e bioquímicos (carbono orgânico total, biomassa microbiana, quociente microbiano e estoque de carbono orgânico) indicadores das alterações na qualidade do solo impostas pelos diferentes sistemas de manejo, em relação ao cerrado nativo, em sistema agrossilvopastoril, no noroeste de Minas Gerais. Foram coletadas amostras do Latossolo Vermelho Distrófico Típico, textura muito argilosa, em três profundidades (0-5, 5-20 e 20-40 cm) e em sete sistemas, a saber: cerrado nativo (CN-testemunha), eucalipto+arroz (EA - ano zero do sistema agrossilvopastoril), eucalipto+soja (ES - ano um do sistema); eucalipto+pastagem (EP), eucalipto+pastagem+gado (EPG), pastagem convencional (PC) e eucalipto convencional (EC). O carbono orgânico apresentou grande sensibilidade em relação às profundidades e aos sistemas estudados, podendo ser bom indicador em relação às modificações impostas pelo manejo. O estoque de carbono mostrou ser um atributo sensível em indicar o efeito de cada sistema, pois do CN para o EA ele sofreu uma considerável redução e dentro do sistema agrossilvopastoril foi observada uma tendência de aumento do seu valor. O mesmo comportamento foi observado para a biomassa microbiana, que apresentou uma boa performance em indicar alterações dos sistemas em relação ao cerrado nativo.

ABSTRACT

Soil microbial biomass stands for an important ecological indicator since it is responsible for the decomposition and mineralization of organic residues in soil. Other factor also regarded is soil respiration, which besides presenting a significant value as an index of soil activity is also a parameter used to quantify microbial activity. The biological community may be modified with a simple alteration in soil management. Therefore, soil organisms may be an important tool in studies of evaluation of soil's quality. Within this context, the objective of the present work was to study the chemical and biochemical features (total organic carbon, microbial biomass, microbial quotient and organic carbon stock), indicators of the alterations in soil quality imposed by the different management systems relative to the native cerrado in agrosilvipastoral systems in northwestern Minas Gerais. Samples of very clayey Typical Dystrophic Red Latosol, at three depths (0-5, 5-20 and 20-40cm) and seven systems namely, native cerrado (NC- check), eucalyptus + rice (ER-year zero of the agrosilvipastoral system), eucalyptus + soybean (ES – year one of the system); eucalyptus + pasture (EP); eucalyptus + pasture + cattle (PC), conventional pasture (CP) and conventional eucalyptus (EC) were collected. Organic carbon showed a great sensitivity relative to the depths and to the studied systems. It is a good indicator in relation to the alterations imposed by management. Carbon stock proved to be a sensitive feature in indicating the effect of each system, since from the NC to ER it underwent a considerable reduction and within the agrosilvipastoral system a trend to increase its value was noticed. Microbial biomass presented the same behavior, which showed good performance in indicating alterations of the systems relative to the native cerrado.

3.1 INTRODUÇÃO

A manutenção da produtividade dos ecossistemas florestais e agrícolas depende, em grande parte, do processo de transformação de matéria orgânica e, conseqüentemente, da biomassa microbiana do solo. Esta representa importante indicador ecológico, pois é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e animais no solo. A biomassa microbiana é considerada como um reservatório de nutrientes e de energia potencialmente disponíveis para as plantas (Jenkinson & Ladd, 1981).

A biomassa microbiana do solo, além de atuar como agente da transformação bioquímica dos compostos orgânicos, é também um reservatório de N, P e S (Srivastava & Singh, 1991; Wardle, 1992). Ela é fundamental na manutenção e produtividade de vários ecossistemas naturais e de muitos agrossistemas, os quais dependem, em grande parte, de processos mediados pelos microrganismos.

O significado ecológico de biomassa tem como principais destaques, além de armazenador de nutrientes, o de servir como indicador rápido de mudanças no solo, quando matéria orgânica é a ele incorporada e indicador da sensibilidade da microbiota à interferências no sistema (Grisi, 1995). A medição do C, particularmente, é útil à compreensão sobre a ciclagem da matéria orgânica e um bom indicador da qualidade do solo, podendo atuar como fonte e dreno de nutrientes por meio da mineralização e imobilização.

Conhecer a biomassa é, essencialmente, uma maneira de se conhecer o potencial da manutenção das características de um "solo vivo", ou seja, um eficiente compartimento de reserva de nutrientes que reflete de imediato as interferências que sobre ele atuam (Sawada, 1994). Essas interferências podem ser de origem antrópica ou não. Como por exemplo, podem-se citar o efeito do

uso de fertilizantes orgânicos ou químicos e biocidas em geral, desmatamento, queimada e formação de pastagens e acúmulo de metais pesados (Anderson & Domsch, 1989; Bardegett & Leemans, 1995; Franzluebbbers et al., 1995).

A biomassa microbiana do solo é composta de bactérias, fungos e microfauna, ou seja, organismos com volume menor que 5 a 10 μm^3 , e é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo (Jenkinson & Ladd, 1981). Ela funciona como um importante reservatório lábil de vários nutrientes essenciais às plantas, desempenhando um papel fundamental na ciclagem de nutrientes e na funcionalidade dos ecossistemas. Quando em condições ambientais favoráveis, a extensão do "turnover" da matéria orgânica do solo é controlada, principalmente, pelo tamanho e atividade da biomassa microbiana. O material orgânico incorporado ao solo constitui a força motriz dos processos metabólicos envolvendo vários nutrientes essenciais, pois é convertido em energia e novos metabólitos pela população microbiana (Martens, 1995). Desse modo, alta correlação positiva entre C orgânico e C microbiano tem sido verificada (Anderson & Domsch, 1989). Brookes (1995), sugere que a relação C da biomassa microbiana e C total orgânico do solo pode ser utilizada como controle interno e como um indicador preliminar de alterações do solo.

A maior atividade biológica do solo situa-se, de modo geral, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, pois aí ocorre maior acúmulo da matéria orgânica, além do efeito das raízes. A matéria orgânica e o efeito rizosférico são função da cobertura vegetal do solo que, portanto, tem grande influência sobre os organismos. Solos sem cobertura vegetal tendem a ter menos matéria orgânica e, conseqüentemente, uma menor comunidade biológica (Cattelan & Vidor, 1990).

Diversos fatores afetam os organismos de solo, por isso as suas populações destes são extremamente variáveis, dependendo do tipo de solo, da vegetação e das condições climáticas. Assim, grandes variações podem se

encontradas entre ecossistemas distintos na mesma região ou em distintas regiões geográficas.

Compostos ou elementos tóxicos (defensivos, metais pesados, etc.) adicionados ao solo por meio de diversas atividades antrópicas (agrícolas, industriais, mineradoras), têm efeitos prejudiciais à microbiota. A comunidade biológica também pode ser alterada com uma simples alteração no manejo do solo. Por isso, os organismos podem ser uma importante ferramenta em estudos de avaliação da qualidade dos solos.

Respiração do solo é considerada uma atividade microbiana geral, isto é, ela é realizada por todos ou quase todos os microrganismos do solo. Apresenta, portanto, valor significativo como índice de atividade total do solo. Por isso, é um dos mais antigos parâmetros para quantificar a atividade microbiana. Ela representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo, que utilizam oxigênio (O_2) como acceptor final de elétrons, até gás carbônico (CO_2).

O quociente metabólico qCO_2 é considerado muito importante na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a atividade microbiana do solo, sendo referido como taxa de respiração específica da biomassa (Anderson & Domsch, 1993). Este quociente é expresso em quantidade de CO por grama de biomassa por certo tempo.

Maiores valores são encontrados em condições mais adversas às populações onde ela gasta mais C oxidável para sua manutenção. Isso ocorre, geralmente, em solos ácidos em relação a pH neutro (Anderson & Domsch, 1993), maiores em sistemas jovens do que em maduros (Anderson & Domsch, 1989) e maiores em solos que receberam adição recente de substratos (Grisi, 1995). Portanto, também é um bom indicador do grau de desenvolvimento de um ecossistema.

O estoque de carbono orgânico no solo é o produto da ação dos atributos bioquímicos citados sobre a matéria orgânica. Dependendo das práticas de

manejo esse estoque de carbono poderá aumentar ou reduzir-se. 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).

Existe interesse cada vez maior na identificação dos sistemas de manejo de culturas e pastagens que promovam a melhoria do estoque de carbono no solo (Freitas et al., 2000). Essa melhoria do carbono estocado está diretamente relacionada com redução da emissão de CO₂ para a atmosfera, que pode estar aumentando o efeito estufa. Isso porque o gás carbônico é um dos principais gases causadores desse efeito e cujas emissões no Brasil cresceram vertiginosamente nos últimos 40 anos (Rocha, 2000).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar os atributos químicos e bioquímicos (carbono orgânico total, biomassa microbiana, quociente microbiano e estoque de carbono orgânico) indicadores das alterações na qualidade do solo impostas pelos diferentes sistemas de manejo, em relação ao cerrado nativo, em sistema agrossilvopastoril, no noroeste de Minas Gerais.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local, solo, tratamentos e análise estatística

Os locais de amostragem, a classe do solo estudada, o histórico das áreas utilizadas e a análise estatística estão descritos no item 1.3 (Material e Métodos Geral – Capítulo 1).

3.2.2 Análises laboratoriais

As amostras de solo foram coletadas, secas ao ar e passadas na peneira de 2 mm para análises na terra fina. Outra parte das amostras foi conservada a 4°C. Avaliou-se o carbono orgânico total (CO) por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley & Black, 1934). O pH em água, os componentes do complexo sortivo, o fósforo disponível, micronutriente (B, Zn, Mn, Fe e Cu) e enxofre foram determinados de acordo com Vettori (1969) e Embrapa (1997) e encontram-se na Tabela 2.C.

Com as amostras conservadas a 4°C, foram determinados o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e a taxa de respiração microbiana (respiração basal) estimada pelo CO₂ evoluído.

A determinação do carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) foi realizada pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987). O princípio básico desse método é a extração do C microbiano após a morte dos microrganismos e lise celular pelo ataque com clorofórmio e liberação dos constituintes celulares. O C foi extraído utilizando-se 20 gramas de solo de amostras fumigadas e não fumigadas (controle) com 100 ml de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹, após agitação. Com base no substrato extraído, foi feita a digestão de 8 ml do mesmo com adição de 2 ml de K₂Cr₂O₇ 0,0667 mol L⁻¹ e de uma mistura de duas partes (10 ml) H₂SO₄ concentrado e uma parte (5 ml) de H₃PO₄ concentrado. Toda essa mistura foi aquecida em chapa por 5 minutos contados

após aparecimento das primeiras bolhas de fervura, posteriormente resfriada acrescentando 10 ml de água destilada. A titulação foi feita com sulfato ferroso amoniacal 0,0333 mol L⁻¹ usando fenilalanina (1%) como indicador.

A taxa de respiração microbiana (respiração basal) foi estimada pelo CO₂ evoluído a partir de 20 g de solo durante incubação por 72 horas, com extração por solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹ e titulação com HCl 0,05 mol L⁻¹ (Isermeyer, 1952 citado por Alef & Nannipieri, 1995).

O quociente metabólico (q CO₂) foi calculado pela divisão entre os valores da taxa de respiração basal pela biomassa microbiana (Anderson & Domsch, 1993).

Avaliou-se o carbono orgânico total (CO) por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley & Black, 1934).

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

$$EstC = \frac{CO_{total} * Ds * e}{10}$$

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

CO total = carbono orgânico total c (g kg⁻¹);

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

e = espessura da camada estudada (cm).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Carbono orgânico total

Os resultados do carbono orgânico total (CO) para os diferentes sistemas nas três profundidades são encontrados na Tabela 3.1. Houve interação significativa ($P \leq 0,05$) entre sistemas de manejo e profundidades sobre os teores de carbono orgânico total do solo (Tabela 1. B).

TABELA 3.1 Carbono orgânico total em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	-----CO (g kg ⁻¹)-----		
CN	22,6 a A	15,2 a B	11,9 a C
EA	13,5 c A	11,4 c B	8,5 b C
ES	15,2 c A	11,6 c B	8,3 b C
EP	14,8 c A	12,5 c B	9,1 b C
EPG	14,6 c A	10,6 c B	8,9 b B
PC	15,4 c A	14,5 a A	11,2 a B
EC	19,7 b A	13,3 b B	11,2 a C
CV sistema	(%)	10,23	
CV geral	(%)	6,80	

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

Os teores de carbono orgânico foram influenciados pela profundidade em todos os sistemas, isto é, o valor do carbono orgânico foi maior na superfície

(0-5 cm), onde há um maior acúmulo de matéria orgânica e menor na camada mais profunda (Tabela 3.1).

Com relação aos sistemas, o CN apresentou maiores valores de carbono orgânico total em todas as profundidades. Isso pode ser devido à queda de folhas e material vegetal na superfície e também pela ausência de revolvimento, que contribui para a manutenção de CO no sistema.

Em seguida, vieram os sistemas PC e EC, devido ao fato de serem sistemas mais estabilizados, que estão instalados há vários anos (Tabela 3.1). Não há manejo que abale este equilíbrio e, conseqüentemente, ocorre um maior acúmulo de matéria orgânica. Exceto na profundidade de 0-5 cm, do sistema PC, este efeito pode ser devido ao grau de degradação em que a pastagem se encontrava. Foram observados vários sítios de encrostamento superficial, erosão laminar, plantas invasoras e pragas. Na profundidade de 5-20 cm, o teor de CO se iguala estatisticamente com o teor do CN, o que pode ser devido à alta densidade do sistema radicular.

Observa-se uma queda brusca do CO quando se passa do CN para o sistema agrossilvopastoril. Mesmo não apresentando diferença estatística, houve uma tendência de aumentar o teor de CO com o passar dos anos no sistema agrossilvopastoril (EA, ES, EP e EPG).

Os menores valores de CO nos sistemas EA, ES, EP e EPG são resultado do revolvimento que o solo sofre para a introdução das culturas e da pastagem. Houve uma tendência de redução do CO do sistema EP para o EPG, porque, com a introdução do gado, houve uma diminuição de matéria verde e, conseqüentemente, de matéria orgânica.

3.3.2 Estoque de carbono

O estoque de carbono para os diferentes sistemas de manejo nas três profundidades é apresentado na Tabela 3.2. Houve interação significativa ($P \leq 0,05$) entre sistemas de manejo e profundidades sobre os teores de estoque de carbono (Tabela 1. B).

Para o cálculo do estoque de carbono é levada em consideração a espessura da camada em estudo. Por isso, não será avaliado o valor em relação as diferentes profundidades, já que as mesmas possuem diferentes espessuras. Assim, serão avaliados os valores de estoque de carbono em relação aos sistemas.

TABELA 3.2 Estoque de carbono em Latossolo-Vermelho-Escuro para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	-----Est C (Mg ha ⁻¹)-----		
CN	10,5 a	24,6 a	27,3 a
EA	6,8 b	18,2 c	17,0 d
ES	7,3 b	17,7 c	16,1 d
EP	7,6 b	21,7 b	18,6 c
EPG	8,7 b	17,9 c	18,8 c
PC	8,4 b	21,6 b	22,2 b
EC	11,6 a	22,9 b	25,5 a
CV sistema	(%)	11,84	
CV geral	(%)	8,03	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de estoque de carbono foram encontrados no CN e EC, onde se observa uma maior porcentagem de cobertura de matéria orgânica (liteira) e onde acontece o depósito de maiores quantidades de resíduos vegetais.

Este parâmetro permite avaliar se o solo está armazenando ou emitindo C-CO₂ para atmosfera. Assim observou-se neste estudo, que o CN está desempenhando um papel de sequestrador (armazenador) de carbono, pois o CN apresentou valores de estoque de carbono superior aos demais sistemas. O mesmo não aconteceu em estudo realizado por D'Andréa (2001), em que nenhum dos sistemas avaliados apresentaram diferenças significativas quando comparados com o sistema em equilíbrio (cerrado nativo). Freitas et al. (2000), em estudo sob Latossolo Vermelho-Escuro no centro-sul de Goiás, encontraram pequeno efeito (20% menor) nos teores de estoque de carbono nas camadas superficiais (0-10) com a introdução de culturas ou pastagens no cerrado natural.

Os sistemas que apresentaram um menor valor de estoque de carbono foram o EA e ES, que são os sistemas mais jovens, onde a taxa de adição de resíduos orgânicos é baixa. Analisando-se as variações do estoque de carbono nos sistemas em relação ao CN (Figura 3.1), verificou-se que todos os sistemas tenderam a apresentar variações negativas. Isso é, os sistemas estão desempenhando um papel de emissores de C-CO₂ quando comparados com o CN. Com isso, se torna necessário um cuidado no manejo dos sistemas, em que os vários revolvimentos para o preparo do solo estão acelerando o processo de oxidação e perda de carbono orgânico. Pois, já é conhecido que a entrada de cultivo em solos tropicais acarreta, normalmente, uma forte redução nos estoques de carbono orgânico e degradação do conjunto de propriedades edáficas que são associadas (Resk et al., 1991). Em todas as profundidades foi observada uma tendência em diminuir a variação do estoque do carbono com a estabilização do sistema (Figura 3.1 e Tabela 2. B).

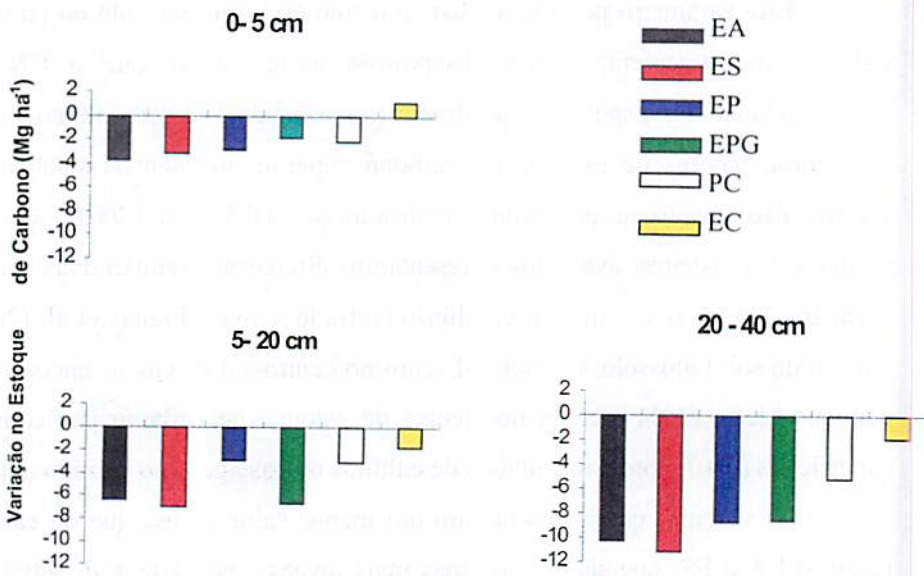


FIGURA 3.1 Variação do estoque de carbono nos sistemas em relação ao cerrado nativo (CN) em Latossolo Vermelho Distrófico Típico

3.3.3 Carbono da biomassa microbiana

Os resultados do carbono da biomassa microbiana (C-BM) para os diferentes sistemas de manejo nas três profundidades são apresentados na Tabela 3.3. Houve interação significativa ($P \leq 0,05$) entre sistemas de manejo e profundidades sobre os teores de carbono da biomassa microbiana do solo (Tabela 1. B).

TABELA 3.3 Carbono da Biomassa Microbiana em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	----- C-BM ($\mu\text{g g}^{-1}$) -----		
CN	1495,6 a A	1083,0 a B	683,4 a C
EA	494,0 b A	677,7 b A	437,8 a A
ES	775,4 b B	1142,1 a A	805,6 a B
EP	800,1 b B	1175,7a A	723,0 a B
EPG	763,5 b A	963,9 a A	735,5 a A
PC	1211,8 a A	768,7 b B	923,8 a B
EC	1272,4 a A	1037,1 a A	662,0 a B
CV sistema	(%)	27,32	
CV geral	(%)	23,28	

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

Os valores de carbono da biomassa microbiana foram significativos em relação às profundidades estudadas. Foram observados valores maiores nas camadas superiores em relação à camada inferior, devido às condições na

camada inferior, que é menos favorável ao desenvolvimento dos microrganismos em função de uma menor aeração e pela menor disponibilidade de matéria orgânica. As diferenças mais expressivas foram encontradas nos sistemas de CN, PC e EC, que são sistemas mais estáveis. Já nos sistemas EA, ES, EP e EPG foram encontrados os maiores valores de C-BM na profundidade de 5-20 cm. Isso pode ser devido à falta de cobertura na superfície, já que são sistemas mais novos e também pelo efeito radicular, que aumentou o teor do C-BM nesta profundidade.

Em estudo de sistema convencional e plantio direto na região de cerrado no Sul de Goiás, D'Andréa (2001) encontrou apenas redução do C-BM em profundidade somente no cerrado nativo. O mesmo resultado foi obtido por Silva (2001), em estudo na região dos Campos das Vertentes em Minas Gerais.

Observa-se uma queda significativa do C-BM quando se passa do CN para os sistemas de cultivos. Mesmo não apresentando diferença estatística, houve uma tendência de aumentar o teor do C-BM com o passar dos anos nos sistemas EA, ES, EP e EPG. Segundo Mendes et al. (1999), à medida que os solos sob cerrado são incorporados aos processos agrícolas, principalmente aos convencionais, ocorre uma queda acentuada nos níveis da biomassa ao longo dos anos. Tudo isso, se dá em função da crescente demanda energética da população microbiana em adaptação às novas condições e à redução nas adições de matéria orgânica. Depois de cessado o efeito inicial promovido pelo desmatamento e a capacidade de deposição for aumentando, pelo crescimento da cultura ou por técnicas culturais, novo equilíbrio, com teores mais elevados de biomassa microbiana tende a ocorrer.

3.3.4 Quociente metabólico do carbono ($q\text{CO}_2$) e respiração basal

O $q\text{CO}_2$ é um atributo relevante na avaliação das condições ambientais sobre a biomassa microbiana do solo. É expresso em quantidade de CO por grama de biomassa por certo tempo. A respiração representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo, portanto, utilizam oxigênio (O_2) e até, gás carbônico (CO_2).

Os resultados do $q\text{CO}_2$ e da respiração basal para os diferentes sistemas de manejo nas três profundidades estão apresentados na Tabela 3.4. Não houve diferença significativa para estes parâmetros nos sistemas de manejo e nas profundidades ($P \leq 0,05$) (Tabela 1. B).

TABELA 3.4 Quociente metabólico e respiração basal em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades

Sistema	Respiração basal	$q\text{CO}_2$
	($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g} \cdot \text{C-CBM}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
CN	0,49	$5,1 \times 10^{-3}$
EA	0,43	$9,8 \times 10^{-3}$
ES	0,47	$5,6 \times 10^{-3}$
EP	0,48	$6,5 \times 10^{-3}$
EPG	0,44	$5,6 \times 10^{-3}$
PC	0,44	$5,0 \times 10^{-3}$
EC	0,46	$5,1 \times 10^{-3}$
CV sistema (%)	10,22	62,54
CV geral (%)	8,96	39,52

Em manejos com pouco revolvimento do solo, existem melhores condições para o desenvolvimento das populações microbianas do que nos sistemas convencionais, na camada superficial do solo (Doran, 1980). Neste

trabalho, não foi observada diferença entre os sistemas de manejo e o cerrado nativo quanto ao qCO_2 e à respiração microbiana. O mesmo foi observado por D'Andréa (2001), que também não encontrou diferença destes parâmetros em sistema de plantio direto e plantio convencional quando comparados com o cerrado nativo.

O valor do coeficiente de variação do atributo quociente metabólico para os sistemas de manejo foi muito elevado (62,54%). Isso pode estar indicando a necessidade de maior número de amostragens para se reduzir à variabilidade dos resultados. E pode também induzir à necessidade de melhor armazenamento das amostras e/ou redução no tempo de armazenamento, já que se está trabalhando com microrganismos sensíveis a qualquer variação ambiental.

Mesmo com um coeficiente de variação baixo, a respiração não apresentou valores significativos em relação aos sistemas estudados.

3.4 CONCLUSÕES

O carbono orgânico, o carbono da biomassa microbiana e o estoque de carbono apresentaram valores mais elevados e expressivos na camada superficial (0-5cm) em todos os sistemas.

O carbono orgânico apresentou grande alteração em relação às profundidades e os sistemas estudados. Pode então, ser bom indicador da qualidade do solo em relação às modificações impostas pelo manejo.

O estoque de carbono mostrou ser um bom atributo para avaliação da qualidade do solo. Do cerrado nativo para o eucalipto+arroz, o estoque de carbono sofreu uma considerável redução. Entretanto, com a evolução do sistema agrossilvopastoril houve uma tendência de recuperação do estoque de carbono original.

O teor do carbono da biomassa microbiana foi reduzido em todos sistemas estudados em relação ao cerrado nativo, em função da ação antrópica. Com a evolução do sistema agrossilvopastoril houve uma tendência de recuperação do carbono da biomassa microbiana.

O carbono orgânico, o estoque de carbono e o carbono da biomassa microbiana apresentaram uma boa performance como indicadores da qualidade do solo.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.) **Methods in applied soils microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576 p.

ALEXANDER, M. **Intoduction to soil microbiology**. 2. ed. New York: John Wiley, 1977. 467 p.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Radio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 3, p. 471-479, 1989.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quocient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, Mar. 1993.

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soil Soils**, Berlin, v. 19, n. 4, p. 269-279, Mar. 1995.

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

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

DORAN, J. W. Soil microbial and biochemical changes associated eith reduced tillage. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 4, p. 765-771, July/Aug. 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. n.p.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob

diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 57-170, jan. 2000.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 631-365, out./dez. 1997.

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, 1995.

JENKINSON, D. D.; LADD, L. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. v. 5, p.415-471.

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. Brasília: MBRAPA-CPAC, 1999. n. 4, 3 p.

RESK, D. V. S.; PEREIRA, J.; SILVA, J. E. Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1991. 21 p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 36).

ROCHA, M. T. Aquecimento e o sequestro de carbono em projetos agroflorestais. **Revista Ecologia**, Rio de Janeiro, n. 151, 2000.

SAWADA, Y. Indices of microbial biomass and activity indices to asses mine-site rehabilitation. (submetido)

SILVA, R. R. Qualidade do solo em função de diferentes sistemas de manejo na região Campos das Vertentes, Bacia Alto Rio Grande-MG. Lavras: UFLA, 2001. 87 p.

SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, L. S. 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.

VETORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7)

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degetjareff 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./June 1934.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors with influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. Biology Review, New York, v. 67, n. 3, p. 321-358, Aug. 1992.

ANEXOS

ANEXO A		Página
TABELA 1.A	Características granulométricas de Latossolo Vermelho Distrófico Típico, nas três profundidades e submetido a sete sistemas.	80
TABELA 2.A	Densidade de partículas do Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades.	81
TABELA 3.A	Resumo da ANAVA para atributos físicos do solo em sete sistemas e três profundidades.	81
TABELA 4.A	Classes de estabilidade de agregados	83
TABELA 5.A	Classes de permeabilidade do solo a água	83
TABELA 6.A	Resistência à penetração em Latossolo Vermelho Distrófico Típico sob diferente sistemas	84
TABELA 7.A	Classes de resistência à penetração	84
ANEXO B		
TABELA 1.B	Resumo da ANAVA para atributos químicos e bioquímicos do solo em sete sistemas e três profundidades.	85
TABELA 2.B	Variação no estoque de carbono orgânico em relação ao CN em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades.	86
ANEXO C		
TABELA 1.C	Atributos mineralógicos e teores de óxidos em Latossolo Vermelho Distrófico Típico	86
TABELA 2.C	Atributos químicos em Latossolo Vermelho Distrófico Típico, em diferentes profundidades e sistemas de manejo.	87

TABELA 1.A. Características granulométricas de Latossolo Vermelho Distrófico Típico, nas três profundidades e submetido a sete sistemas.

Sistema	Areia	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----		
	0-5 cm		
CN	177	141	681
EA	145	151	704
ES	89	201	710
EP	116	121	762
EPG	209	160	630
PC	72	168	759
EC	191	74	733
	5-20 cm		
CN	162	176	661
EA	140	172	687
ES	109	172	718
EP	121	157	721
EPG	200	137	662
PC	70	202	707
EC	197	114	688
	20-40 cm		
CN	152	133	715
EA	126	128	727
ES	93	129	777
EP	94	105	802
EPG	188	143	668
PC	64	220	716
EC	184	112	704

TABELA 2.A. Densidade de partículas do Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	----- Dp (kg dm ⁻³) -----		
CN	2,29	2,34	2,40
EA	2,29	2,35	2,37
ES	2,34	2,31	2,36
EP	2,28	2,38	2,41
EPG	2,35	2,42	2,51
PC	2,43	2,47	2,52
EC	2,33	2,40	2,46
Médias	2,33 C	2,38 B	2,43 A
CV sistema	(%)	3,11	
CV geral	(%)	2,46	

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

TABELA 3.A Resumo da ANAVA para atributos físicos do solo em sete sistemas e três profundidades.

Atributos	G.L.	Valor F	P> Fc
Densidade de partícula			
Sistema (S)	6	4,443	0,0101
Profundidade (P)	2	15,556	0,0000
SxP	12	0,538	0,871 ns
Densidade do solo			
Sistema (S)	6	8,471	0,0005
Profundidade (P)	2	4,689	0,0175
SxP	12	7,050	0,0000

DMG			
Sistema (S)	6	8,430	0,0005
Profundidade (P)	2	1,306	0,2868
SxP	12	4,344	0,0007
> 2mm			
Sistema (S)	6	7,658	0,0009
Profundidade (P)	2	1,693	0,2022
SxP	12	2,659	0,0162
< 0,25 mm			
Sistema (S)	6	6,403	0,0021
Profundidade (P)	2	2,096	0,1418
SxP	12	1,729	0,1135 ns
VTP			
Sistema (S)	6	5,978	0,0028
Profundidade (P)	2	7,898	0,0019
SxP	12	5,818	0,0001
Macroporosidade			
Sistema (S)	6	5,501	0,0041
Profundidade (P)	2	3,170	0,0574
SxP	12	1,864	0,0854 ns
Microporosidade			
Sistema (S)	6	5,271	0,0049
Profundidade (P)	2	2,448	0,1047
SxP	12	5,637	0,001
Ks			
Sistema (S)	6	5,479	0,0042
Profundidade (P)	2	5,533	0,0094
SxP	12	1,853	0,0874 ns
ADA			
Sistema (S)	6	3,465	0,0259
Profundidade (P)	2	13,806	0,001
SxP	12	0,684	0,7527 ns

IF			
Sistema (S)	6	5,167	0,0054
Profundidade (P)	2	12,376	0,0001
SxP	12	0,651	0,7812 ns
UA			
Sistema (S)	6	10,524	0,0002
Profundidade (P)	2	68,147	0,0000
SxP	12	12,559	0,0000

TABELA 4.A Classes de estabilidade de agregados.

Classe	DMG	> 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

Silva (2001) – síntese de pesquisa bibliográfica – DCS/UFLA.

TABELA 5.A Classes de permeabilidade do solo à água.

Classe	Permeabilidade
	-----mm h ⁻¹ -----
Rápida	> 254,00
Moderada a rápida	254,00 – 127,00
Moderada	127,00 – 63,50
Lenta a moderada	63,50 – 20,00
Lenta	20,00 – 5,00
Muito lenta	< 5,00

Adaptadas de Soil Surves Staff, (1993).

TABELA 6. A Resistência à penetração em Latossolo Vermelho Distrófico
Típico sob diferentes sistemas

Prof. (cm)	Resistência à penetração (MPa)						
	CN	EA	ES	EP	EPG	PC	EC
0-5	1,57	1,21	1,56	2,59	4,11	4,21	3,67
5-10	1,76	1,31	1,98	3,92	5,75	6,13	4,18
10-15	3,36	2,30	4,38	5,61	6,44	6,08	4,66
15-20	3,92	3,57	6,31	6,41	6,66	5,28	5,36
20-25	4,59	4,49	6,55	6,52	6,25	5,35	6,18
25-30	4,95	4,88	5,90	5,94	5,75	5,13	6,77
30-35	5,03	4,44	5,27	5,60	4,49	4,96	6,32
35-40	5,07	4,17	4,71	5,19	4,24	4,67	6,10
40-45	5,11	3,75	3,99	4,69	3,47	4,09	5,69
45-50	5,02	3,67	3,68	4,37	3,18	3,84	5,44
50-55	4,40	3,00	3,41	4,07	2,69	3,46	5,03
55-60	4,29	2,84	3,30	3,90	2,73	3,59	4,72

TABELA 7. A Classes de resistência à penetração.

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

Adaptadas de Soil Surves Staff, (1993).

Citadas por Arshad, Lowery, Grossman (1996).

TABELA 1.B Resumo da ANAVA para atributos químicos e bioquímicos do Latossolo Vermelho Distrófico Típico em sete sistemas e três profundidade.

Atributos	G.L.	Valor F	P> Fc
Carbono Orgânico Total			
Sistema (S)	6	20.876	0.0000
Profundidade (P)	2	300.673	0.0000
SxP	12	6.786	0.0000
Estoque de carbono			
Sistema (S)	6	18.141	0.0000
Profundidade (P)	2	561.342	0.0000
SxP	12	4.510	0.0005
Carbono BM			
Sistema (S)	6	4.732	0.0078
Profundidade (P)	2	11.609	0.0002
SxP	12	3.244	0.0050
Quociente metabólico			
Sistema (S)	6	1.778	0.1756
Profundidade (P)	2	3.665	0.0386
SxP	12	1.429	0.2109 ns
Respiração basal			
Sistema (S)	6	2.178	0.1080
Profundidade (P)	2	0.499	0.6127
SxP	12	1.767	0.1048 ns

TABELA 2. B Variação no estoque de carbono orgânico em relação ao CN em Latossolo Vermelho Distrófico Típico para sete sistemas em três profundidades.

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-5	5-20	20-40
	----- Variação no estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)-----		
EA	-3,7	-6,4	-10,3
ES	-3,2	-6,9	-11,2
EP	-2,9	-2,9	-8,7
EPG	-1,8	-6,7	-8,5
PC	-2,1	-3,0	-5,1
EC	+1,1	-1,7	-1,8

TABELA 1. C Atributos mineralógicos e teores de óxidos em Latossolo Vermelho Distrófico Típico.

Prof. (cm)	Ct	Gb	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr
	----- (g kg ⁻¹)-----								
0-20	260	480	175	252	72	6,3	0,7	1,18	1,00
20-40	280	580	181	265	67	6,3	0,6	1,16	1,00
40-80	320	330	203	285	75	6,8	0,6	1,21	1,04

TABELA 2. C Atributos químicos em Latossolo Vermelho Distrófico Típico, em diferentes profundidades e sistemas de manejo.

Sistema	prof.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	SB	V	m	P rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
		--(mg dm ⁻³)--			------(cmol _c dm ⁻³)-----				------(%)-----		(mg L ⁻¹)	------(mg dm ⁻³)-----					
CN	00-05	4,8	1,00	76,67	0,57	0,17	1,50	0,93	11,30	62,00	10,40	0,30	94,00	22,33	1,47	0,23	2,80
	05-20	4,9	0,53	53,00	0,40	0,17	1,33	0,70	9,77	65,33	10,23	0,57	85,00	11,50	1,77	0,23	5,27
	20-40	4,7	1,40	41,67	0,43	0,20	1,27	0,73	12,40	62,33	8,87	0,10	60,33	6,33	1,57	0,30	4,83
EA	00-05	5,2	0,37	40,67	1,40	1,33	0,20	2,83	44,77	8,00	10,57	1,50	49,33	19,50	1,47	0,40	10,50
	05-20	4,9	0,30	24,67	0,77	0,23	0,50	1,10	20,53	33,33	7,87	0,10	36,00	6,00	1,17	0,30	9,87
	20-40	4,9	0,10	16,33	0,43	0,17	0,47	0,63	15,20	42,33	5,60	0,10	26,33	2,97	1,03	0,30	3,27
ES	00-05	5,7	0,73	52,33	2,57	2,43	0,00	5,13	67,77	0,00	10,77	6,13	53,67	25,87	1,37	0,43	24,67
	05-20	5,0	0,47	30,33	0,67	0,20	0,77	0,97	18,53	44,67	7,27	0,10	36,00	6,10	1,13	0,23	8,37
	20-40	4,9	0,27	23,00	0,43	0,17	0,53	0,63	15,90	45,33	3,70	0,10	25,67	3,97	0,83	0,27	4,27
EP	00-05	5,2	4,83	40,67	1,47	1,30	0,33	2,87	41,37	11,33	13,43	6,13	42,00	16,40	1,33	0,37	12,27
	05-20	5,2	1,93	23,67	0,87	0,47	0,87	1,43	22,90	40,33	10,07	1,80	41,00	5,70	1,23	0,30	36,77
	20-40	5,1	0,30	18,00	0,43	0,20	1,07	0,67	12,73	61,00	6,17	0,10	29,33	2,03	0,90	0,17	13,00
EPG	00-05	5,5	0,60	42,33	1,47	1,40	0,17	3,00	46,13	5,33	14,83	19,27	33,33	23,97	1,53	0,37	7,20
	05-20	5,2	0,20	17,00	0,77	0,20	0,73	1,00	20,10	41,00	9,53	0,17	32,00	6,70	1,13	0,30	38,43
	20-40	5,1	0,20	14,67	0,53	0,17	0,73	0,70	15,97	50,67	9,00	0,10	29,00	5,20	0,97	0,17	42,03
PC	00-05	5,5	0,80	157,67	1,03	0,80	0,30	2,23	36,60	12,00	9,30	2,87	33,00	16,93	1,73	0,20	12,37
	05-20	5,8	0,37	41,33	0,73	0,27	0,67	1,13	20,53	38,00	6,13	1,63	31,33	9,57	1,60	0,20	8,73
	20-40	5,7	0,20	22,33	0,50	0,17	0,67	0,77	14,80	47,00	4,67	0,10	30,33	6,83	1,30	0,23	5,80
EC	00-05	4,9	2,10	62,33	0,77	0,20	1,40	1,13	14,30	55,33	11,60	0,13	43,67	17,93	1,43	0,30	3,17
	05-20	5,0	1,10	29,33	0,50	0,20	1,43	0,80	11,77	65,00	8,07	0,10	39,33	7,43	1,57	0,27	4,50
	20-40	5,0	0,60	23,67	0,40	0,20	1,33	0,70	12,40	67,00	7,53	0,10	38,67	4,57	1,43	0,23	3,20