



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**ATRIBUTOS INDICADORES DA
QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE
MANEJO NO SUL DE GOIÁS**

ALEXANDRE FONSECA D'ANDRÉA

2001

51668

MGU. 36481

ALEXANDRE FONSECA D'ANDRÉA

**ATRIBUTOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO
EM SISTEMAS DE MANEJO NO SUL DE GOIÁS**

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
2001



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

d'Andréa, Alexandre Fonseca

Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de
Goiás / Alexandre Fonseca d'Andréa. -- Lavras: UFLA, 2001.
106 p. : il.

Orientador: Marx Leandro Naves Silva
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Sustentabilidade. 2. Cerrado. 3. Latossolo. 4. Plantio convencional. 5. Plantio
direto. 6. Estoque de carbono. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.45
-631.58

ALEXANDRE FONSECA D'ANDRÉA

**ATRIBUTOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO
EM SISTEMAS DE MANEJO NO SUL DE GOIÁS**

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 07 de março de 2001

Prof. Nilton Curi - UFLA

Prof. Mozart Martins Ferreira - UFLA

Prof. Luiz Roberto Guimarães Guilherme - UFLA

Prof. Marx Leandro Naves Silva - UFLA

Orientador

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

A meus pais, Iracema e Ronaldo,
pela sabedoria em priorizar a
educação em minha vida.

A minha esposa Rosicléa pelo
amor.

OFEREÇO

A Renato Félix dos Santos
(*in memoriam*), com quem
reaprendi o significado da
palavra liberdade.

DEDICO

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	1
1.2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
1.2.1 Conceitos de qualidade do solo	4
1.2.2 O carbono no ecossistema e a qualidade do solo	6
1.2.3 Ocupação agrícola do Cerrado	9
1.2.4 Uso do solo no sul de Goiás	11
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS GERAIS	15
1.3.1 Local	15
1.3.2 Solo e clima	16
1.3.3 Amostragem e sistemas de manejo	16
1.3.4 Análise estatística	18
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CAPÍTULO 2: Atributos físicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás	25
RESUMO	25
ABSTRACT	26
2.1 INTRODUÇÃO	27
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	31
2.2.1 Local, solo, tratamentos e análise estatística	31
2.2.2 Análises de laboratório	31
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
2.3.1 Densidade do solo	36

2.3.2 Porosidade	38
2.3.3 Condutividade hidráulica do solo saturado.....	42
2.3.4 Resistência à penetração	45
2.3.5 Agregação do solo e carbono orgânico total	49
2.3.6 Correlações entre carbono orgânico total e índices de agregação	58
2.4 CONCLUSÕES	60
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
CAPÍTULO 3: Atributos químicos e bioquímicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás.....	68
RESUMO	68
ABSTRACT	69
3.1 INTRODUÇÃO	70
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	74
3.2.1 Local, solo, tratamentos e análise estatística	74
3.2.2 Análises de laboratório	74
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
3.3.1 Carbono orgânico total	76
3.3.2 Carbono da biomassa microbiana	81
3.3.3 Respiração basal e quociente metabólico (qCO_2)	83
3.3.4 Estoque de carbono	85
3.4 CONCLUSÕES	90
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
3.6 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	92
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXO	100

RESUMO

D'ANDRÉA, A.F. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás. Lavras: UFLA, 2001. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)¹.

Os solos sob Cerrado têm sido intensivamente incorporados ao processo produtivo agrícola, mas são escassos estudos de qualidade do solo nesse ambiente. O objetivo deste trabalho foi verificar alterações em atributos físicos, químicos e bioquímicos indicadores da qualidade do solo e no estoque de carbono, em decorrência da adoção de sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo, e selecionar os atributos com melhor performance em indicar tais alterações. Foram coletadas amostras nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, em Latossolo Vermelho-Escuro, nos municípios de Morrinhos e Caldas Novas - GO. Foram avaliados: densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica do solo saturado, resistência à penetração, estabilidade de agregados, índice de floculação, carbono orgânico total, expresso com base na massa total de solo (CO) e no conteúdo de argila + silte (COa,s), carbono da biomassa microbiana (Cmic), atividade microbiana e estoque de carbono. Os sistemas de manejo consistiram de: (1) cerrado nativo; (2) pastagem; (3) plantio direto irrigado; (4) plantio direto irrigado com histórico de gradagem superficial; (5) plantio direto de sequeiro; (6) plantio convencional irrigado; (7) plantio convencional irrigado recente após pastagem; (8) plantio convencional de sequeiro. Os sistemas plantio direto irrigado, pastagem e plantio convencional recente após pastagem não alteraram os atributos físicos em relação ao cerrado nativo, exceto a resistência à penetração no sistema pastagem. Os sistemas convencionais de longa duração reduziram a estabilidade dos agregados e o COa,s, em relação ao cerrado. Todos os sistemas reduziram o Cmic. Não houve diferença significativa no estoque de carbono dos sistemas avaliados em relação à situação de equilíbrio. O diâmetro médio geométrico, a porcentagem de agregados > 2 mm, o COa,s e o Cmic, por apresentarem boa performance em indicar alterações, e o CO, pela correlação com os índices de estabilidade de agregados ($r > 0,94^{**}$), são sugeridos como componentes potenciais de um índice de qualidade do solo a ser desenvolvido para a região.

¹ Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva – UFLA (Orientador), Nilton Curi – UFLA, Mozart Martins Ferreira – UFLA e Luiz Roberto Guimarães Guilherme – UFLA.

ABSTRACT

D'ANDRÉA, A.F. Soil quality indicators in cropping systems in Southern Goiás State, Brazil. Lavras: UFLA, 2001. (Dissertation – Master's Degree in Soil Science and Plant Nutrition)¹.

The soils from the Cerrado region have been intensively incorporated into agricultural production in Brazil. However, few studies on soil quality have been conducted in this ecosystem. The objectives of this research was: i) to assess alterations in physical, chemical, and biochemical soil quality indicators and in the organic carbon storage due to the adoption of different management systems as opposed to the native Cerrado, and ii) to select attributes with a better performance in indicating such alterations. Samples from different layers (0-10, 10-20, and 20-40 cm) of Dark-Red Latosols from Morrinhos and Caldas Novas (GO) were collected for evaluation of the following soil attributes: soil density; porosity; saturated hydraulic conductivity; penetration resistance; aggregate stability; flocculation index; total organic carbon, expressed on a total soil mass (TOC) and on a clay+silt content basis (TOCc,s); microbial biomass carbon (Cmic); microbial activity, and carbon storage. The management systems consisted of: (1) native Cerrado; (2) pasture; (3) irrigated no-till; (4) irrigated no-till with report of surface plowing; (5) no-till; (6) long term irrigated conventional tillage; (7) recently irrigated conventional tillage after pasture; (8) long term conventional tillage. The irrigated no-till systems, as well as the pasture and the recently irrigated conventional tillage after pasture did not alter the physical attributes when compared with the native Cerrado, except for the penetration resistance in the pasture. Long-term conventional systems reduced the aggregate stability and the TOCc,s, when compared with the native Cerrado. All the systems reduced the Cmic. There was no significant difference in the organic carbon storage among the systems. Due to their good performance in indicating alterations, geometric mean diameter, percentage of aggregates > 2 mm, TOCc,s, and Cmic are suggested as potential components of a soil quality index for the area. In addition, because of its good correlation with aggregate stability indexes ($r > 0,94^{**}$), TOC is suggested as a prospective indicator of soil quality as well.

¹ Guidance Committee: Marx Leandro Naves Silva – UFLA (Adviser), Nilton Curi – UFLA, Mozart Martins Ferreira – UFLA and Luiz Roberto Guimarães Guilherme – UFLA.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Os conceitos de qualidade do solo recentemente formulados são úteis na avaliação de interferências humanas sobre o ambiente, uma vez que consideram a relação entre o solo e os demais componentes do ecossistema. Dentre as funções básicas exercidas pelo solo, encontram-se aquelas relacionadas à produtividade vegetal e animal, qualidade ambiental e saúde humana. Normalmente, as duas últimas têm sido negligenciadas pelo homem nas atividades de uso da terra.

Na passagem de sistemas naturais para agrícolas, têm sido verificadas alterações em muitos atributos do solo, alguns dos quais, mais sensíveis às interferências humanas e diretamente relacionados às funções que o solo desempenha, indicam de maneira precoce mudanças na qualidade do solo. Trabalhos que envolvam a quantificação de tais atributos fornecem subsídios importantes na escolha de sistemas de manejo agrícola que tornem o solo menos predisposto à perda da capacidade produtiva e/ou à degradação ambiental.

Estudos sobre a emissão de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa para a atmosfera têm merecido destaque tanto em regiões de clima temperado como nos trópicos. O comportamento do solo no seqüestro do carbono atmosférico pode ser influenciado pelas práticas de manejo agrícola, devido à influência das mesmas sobre o conteúdo de carbono orgânico do solo. A ampliação do banco de dados sobre o carbono orgânico é necessária para auxiliar a seleção de sistemas agrícolas que mantenham ou ampliem os teores de carbono em relação a condições de equilíbrio.

No Brasil, o domínio conhecido como Cerrado possui grande importância na produção agrícola nacional, sendo responsável por considerável

participação na produção de grãos e exploração da pecuária. Os atributos físicos favoráveis na maior parte dos solos deste ambiente, notadamente nos latossolos mais intemperizados, contribuíram para que a região fosse procurada por produtores de outras partes do território nacional, principalmente após os anos 70, em busca de sucesso nos empreendimentos agrícolas na fronteira em expansão.

A região sul do estado de Goiás, onde estão inseridos os municípios de Morrinhos e Caldas Novas, acompanhou o mesmo padrão de desenvolvimento agrícola do Cerrado, tendo nos dias atuais a agricultura como base de sua economia. Dentre as atividades predominantes nos estabelecimentos agrícolas, destaca-se o uso do solo com pastagens e a produção de grãos em lavouras anuais, sendo pequenas as áreas destinadas a reservas de proteção ambiental. A necessidade de exploração dos recursos naturais numa perspectiva sustentável orientou a implantação de programas de desenvolvimento em microbacias hidrográficas, estando em Morrinhos a microbacia representativa do estado. Resultados obtidos no estudo desta unidade são passíveis de extrapolação para municípios afins, em especial aqueles localizados no sul de Goiás.

O monitoramento do solo nas áreas de Cerrado pode ser realizado através da avaliação periódica de atributos indicadores sensíveis a alterações decorrentes do manejo. Estudos dessa natureza, envolvendo atributos físicos, químicos e bioquímicos do solo, são escassos nesse ambiente. A importância do acompanhamento das atividades agrícolas no Cerrado não se justifica apenas com relação às glebas agricultáveis, mas também pela existência de pequenas áreas adjacentes aos campos de produção, como as matas de galeria, áreas sob vegetação original, e veredas, fundamentais na regulação do ciclo hidrológico e equilíbrio geral do ecossistema.

Diante da necessidade de promover a continuidade do diagnóstico levantado na microbacia piloto de Morrinhos, com ampliação do banco de dados

gerado, e considerando a escassez de trabalhos desenvolvidos dentro do contexto de qualidade do solo no ambiente Cerrado, realizou-se um estudo envolvendo sistemas de manejo em propriedades localizadas nos municípios de Morrinhos e Caldas Novas - GO. As seguintes hipóteses gerais de trabalho foram formuladas: (a) diferentes sistemas de manejo agrícola, adotados no sul de Goiás, alteram alguns atributos indicadores da qualidade do solo em relação à situação de cerrado nativo; (b) a intensidade dessas alterações varia em função do tempo de adoção e das características de cada sistema de manejo; (c) certos atributos apresentam melhor performance em indicar alterações decorrentes da adoção de sistemas de manejo distintos e podem ser sugeridos como componentes potenciais de índices de qualidade do solo a serem desenvolvidos para a região em estudo; (d) diferentes sistemas de manejo alteram o estoque de carbono orgânico do solo, contribuindo para o acúmulo ou perda de carbono em relação à condição de equilíbrio representada pelo cerrado nativo.

Desse modo, os objetivos gerais do presente estudo foram:

- a) verificar alterações em alguns atributos indicadores da qualidade do solo, em decorrência da adoção de sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo;
- b) selecionar os atributos com melhor performance em indicar tais alterações;
- c) avaliar o estoque de carbono orgânico do solo submetido a diferentes sistemas de manejo.

1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1 Conceitos de qualidade do solo

O manejo da terra é considerado sustentável apenas quando mantém ou melhora a qualidade dos recursos naturais, entre os quais o ar e o solo (Doran e Parkin, 1994). A relação do solo com os vários componentes do ecossistema tem sido objeto de estudo em diversos trabalhos. Para Harris, Karlen e Mulla (1996), o solo encontra-se conectado por vias diversas ao ar, às águas (superficiais e subterrâneas) e aos seres vivos, em associações similares às inter-relações presentes no tetraedro ecológico (formado por solo, clima, organismos e aspectos sócio-econômicos) proposto por Resende, Curi, Rezende et al. (1999). Em ambos os casos, os autores destacam a complexidade das relações existentes, motivando sua análise como um todo e evitando o risco de afirmativas simplistas e unilaterais.

O solo desempenha importante papel no ambiente global, uma vez que participa da regulação do fluxo dos chamados gases de efeito estufa para a atmosfera através do seqüestro de carbono, e interfere na qualidade da água tanto direta (devido à erodibilidade, material de origem, conteúdo de matéria orgânica) quanto indiretamente (em decorrência de cultivo, adições de fertilizantes, operações de drenagem) (Bezdicek, Papendick e Lal, 1996). As atividades agrícolas no solo são destacadas como fonte potencial de poluição dos mananciais de água, interferindo na sua qualidade e quantidade (Resende, Ker e Bahia Filho, 1996).

A degradação do solo ocorre em geral a partir da interferência antrópica sobre este recurso. A erosão, a lixiviação, a compactação do solo e a perda de matéria orgânica são exemplos de processos degradativos em sistemas agrícolas (Bezdicek, Papendick e Lal, 1996). Sob intervenção humana, os atributos químicos do solo são em geral melhorados com as práticas agrícolas através do

manejo de fertilizantes, enquanto os físicos decrescem em qualidade com o avanço do tempo, segundo Resende, Ker e Bahia Filho (1996). Para os autores, o manejo adequado do solo é caminho obrigatório na busca da sustentabilidade agroecológica da exploração agrícola e de uma nova condição de equilíbrio.

Existem, na literatura, diversas definições de qualidade do solo, algumas das quais ressaltam seu aspecto funcional, como a proposta por Doran e Parkin (1994). Segundo os autores, qualidade do solo é a capacidade do solo de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais. De modo semelhante, Harris e Bezdicek (1994) afirmam que a qualidade do solo reflete sua adaptabilidade para, dentro dos limites climáticos, da paisagem e do uso da terra, proteger a qualidade da água e do ar, sustentar a produtividade vegetal e animal e promover saúde humana.

Várias aproximações têm sido desenvolvidas através da pesquisa para avaliar a qualidade do solo. Larson e Pierce (1994) propuseram, a partir de um conjunto mínimo de dados contendo atributos indicadores, o Índice de Produtividade (IP). Este índice considera apenas a função do solo relacionada à produtividade, não levando em conta aquelas pertinentes à qualidade ambiental e promoção da saúde humana. Doran e Parkin (1994) desenvolveram outro modelo funcional, denominado Índice de Qualidade do Solo (IQS), constituído de uma equação contendo seis elementos de qualidade (produção de alimentos e fibras; erosão; qualidade da água subterrânea; qualidade da água superficial; qualidade do ar; qualidade dos alimentos), cada qual ponderado com coeficientes proporcionais à sua importância e que podem variar de acordo com as especificidades de cada região estudada. Outros modelos são apresentados em revisão feita por Harris, Karlen e Mulla (1996), como aproximações analíticas de avaliação da qualidade do solo.

Os atributos indicadores da qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade do solo na produção das culturas ou no desempenho de funções ambientais (Acton e Padbury, 1993, citados por Doran e Parkin, 1996). Estes atributos indicam alterações na qualidade do solo, devendo apresentar as seguintes características: (a) se correlacionar bem com processos dentro do ecossistema; (b) serem aplicados de modo relativamente fácil sob condições de campo e serem avaliados tanto por especialistas como por produtores; (c) serem sensíveis a variações no manejo e no clima, refletindo mudanças na qualidade do solo, sem serem influenciados por alterações fortuitas; (d) serem componentes de bancos de dados já existentes, tanto quanto possível (Doran e Parkin, 1996).

Atualmente, têm sido desenvolvidas alternativas para se obter rápida avaliação da qualidade do solo no campo, além de projetos envolvendo o Índice de Qualidade do Solo para quantificação precisa dos atributos indicadores e sua resposta ao manejo (Norfleet, 1999). Em todos os estudos apresentados sobre avaliação da qualidade do solo, os autores consideram a existência de dificuldades na escolha de padrões de referência e valores críticos para a tomada de decisões a respeito dos atributos avaliados. O aperfeiçoamento dos bancos de dados e informações sobre solos e sistemas de manejo numa dada região pode contribuir para o estabelecimento de patamares a partir dos quais serão apreciados os indicadores selecionados na avaliação da qualidade do solo.

1.2.2 O carbono no ecossistema e a qualidade do solo

O equilíbrio do elemento carbono no ecossistema depende da interação entre alguns reservatórios, representados pelos oceanos, atmosfera e sistemas terrestres, através de transferências mediadas por processos químicos e biológicos, das quais não participa o reservatório geológico por ser um depósito permanente de carbono, com exceção da pequena fração constituída pelos

combustíveis fósseis (Eswaran, Berg e Reich, 1993). Na ausência de atividades antrópicas, existe um equilíbrio dinâmico entre os reservatórios, uma vez que o carbono liberado para a atmosfera através da respiração, atividades vulcânicas e difusão gasosa nos oceanos é compensado pela fotossíntese de organismos marinhos (fitoplâncton) e terrestres, resultando num balanço líquido nulo (Leggett, 1990). Contudo, a liberação de CO₂ para a atmosfera tem aumentado em decorrência de interferências humanas, principalmente a partir do desenvolvimento industrial, causando alterações neste balanço.

A principal fonte de aumentos na concentração de CO₂ atmosférico são as emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis em âmbito mundial (Watson, Meira Filho, Sanhueza et al., 1992). Em regiões tropicais, a causa dominante são as mudanças no uso da terra (conversão de áreas sob vegetação natural em ecossistemas agrícolas), com perdas de CO₂ do solo e da biomassa das plantas para a atmosfera (Scholes e Breemen, 1997). No ciclo do carbono, o CO₂ contribui com 50% do efeito estufa antropogênico, sendo o restante devido a gases como metano, N₂O e CFCs (Scharpenseel, 1997). A partir dos valores pré-industriais (anteriores à Revolução Industrial) de 270 ppmv (em volume) de CO₂ atmosférico (Scholes e Breemen, 1997), pode-se alcançar 450 ppmv por volta do ano 2050, caso as taxas de emissão de CO₂ permaneçam as mesmas dos anos 90 (Houghton, Jenkins e Ephraums, 1990), resultando em aumentos na temperatura global e no nível estático dos oceanos (Scharpenseel, 1997). Algumas incertezas envolvem estudos do fluxo de carbono no ciclo global, uma vez que os cálculos efetuados não conseguem explicar o destino de aproximadamente um sexto das emissões antropogênicas anuais, o que sugere a existência de um sumidouro oculto de carbono (Scholes e Breemen, 1997).

Os reservatórios de carbono no planeta têm sido objeto de pesquisas recentes, na tentativa de uma quantificação confiável do estoque do elemento em cada um deles (Tabela 1.1). Os oceanos armazenam cerca de 39.000 Pg de

carbono (1 Pg = 10^{15} g), principalmente na forma inorgânica de íons bicarbonato (Leggett, 1990). No compartimento terrestre, o carbono da matéria orgânica do solo (C-MOS) é o segundo maior reservatório de carbono orgânico (depois do carbono fóssil geológico), estimado em cerca de 1.576 Pg em 12,8 bilhões de hectares nos solos continentais (Eswaran, Berg e Reich, 1993).

A maior parte do carbono armazenado no solo (787 Pg) está presente sob vegetação de florestas (Dixon, Brown, Houghton et al., 1994), em seguida nas áreas com gramíneas (500 Pg em mais de 3,0 bilhões de hectares) e terras cultivadas (140 Pg em 1,4 bilhões de hectares) (Scharpenseel, 1997). Os solos tropicais possuem cerca de 32% do carbono orgânico dos solos do mundo, o que corresponde a 506 Pg (Eswaran, Berg e Reich, 1993). Estima-se que reduções de 20 a 50% do carbono armazenado nos trópicos possam decorrer do desmatamento de áreas sob vegetação natural (Brown e Lugo, 1984).

TABELA 1.1 Estoque de carbono em vários compartimentos do globo terrestre.

Compartimento	Estoque de C (Pg)
Oceânico	39.000 ^a
Geológico	65.000.000 ^b
Carbono fóssil	4.000 ^c
Terrestre	
Solo (C-MOS)	1.576 ^c
Florestas	787 ^d
Gramíneas	500 ^e
Culturas	140 ^e
Biomassa	550 ^e
Atmosférico	750 ^e

^a Leggett (1990);

^b Kempe (1979), citado por Eswaran, Berg e Reich (1993);

^c Eswaran, Berg e Reich (1993);

^d Dixon, Brown, Houghton et al. (1994);

^e Scharpenseel (1997)

Dentre as práticas de manejo sugeridas para conservar e seqüestrar carbono atmosférico, estão a manutenção dos reservatórios existentes através de reduções no desmatamento, a expansão dos sumidouros de carbono com manejo adequado, a criação de novos depósitos de carbono por meio da expansão de áreas sob cobertura florestal e a substituição de combustíveis fósseis por carvão de fontes renováveis (Dixon, Brown, Houghton et al., 1994). Em diversos países do mundo, estudos a respeito da dinâmica de carbono no ecossistema e do comportamento dos solos enquanto fonte ou depósito de carbono têm se intensificado, mantendo em pauta discussões sobre a importância da utilização racional dos recursos naturais para a produção agrícola sustentável e manejo do carbono orgânico nos solos (Taolin e Zhongpei, 1999; Nagaraja, Srinivasamurthy, Viswanatha et al., 1999).

Em áreas tropicais de expansão agrícola, como o Cerrado brasileiro, o surgimento de modelos de desenvolvimento tecnificado intensificou a ocupação de regiões consideradas marginais para a agricultura, impulsionando a migração de agricultores em busca de sucesso nos empreendimentos agrícolas (Macedo, 1996; Alvarenga e Davide, 1999). Verifica-se, atualmente, que em diversos locais a maioria da cobertura vegetal original encontra-se completamente devastada, tendo sido retirada para dar lugar a lavouras de grãos e pastagens (Carvalho Filho, Motta, Chagas et al., 1998). Nestas áreas, torna-se importante a realização de estudos de qualidade do solo que permitam estimar as quantidades de carbono seqüestradas da atmosfera ou liberadas do solo, sendo possível discriminar, dentre os diferentes sistemas de manejo, aqueles que contribuam para a manutenção ou aumento dos teores de carbono orgânico do solo.

1.2.3 Ocupação agrícola do Cerrado

O domínio morfoclimático do Cerrado abrange 206,467 milhões de hectares (Embrapa, 1981), em sua maior parte dentro do tipo climático Aw da

classificação de Köppen (tropical estacional de savana), com verão chuvoso e inverno seco e temperatura do mês mais frio superior a 18° C. Neste ambiente, a distribuição irregular das chuvas e a existência de veranicos (períodos de estiagem durante a época chuvosa) constituem séria limitação para a exploração agrícola na ausência de irrigação (Lopes, 1984).

O desenvolvimento agrícola do Cerrado pode ser sintetizado em três fases: a primeira, na qual predominam atividades de caça, pesca e coleta realizadas pelos índios; a segunda, com o crescimento da pecuária extensiva em áreas de pastagem natural; a terceira, com a modernização e o uso de agricultura tecnificada (Resende, Ker e Bahia Filho, 1996). A partir da década de 70, a ocupação agrícola do Cerrado foi intensificada, motivando o desenvolvimento de tecnologias adaptadas para subsidiar o melhor aproveitamento do potencial produtivo da região, como melhoramento genético, adubação, correção da acidez e inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio (Macedo, 1996).

Atualmente, o Cerrado ocupa posição de destaque na agricultura nacional. Através do uso da irrigação, é possível a obtenção de duas ou mais safras agrícolas no mesmo ano (Carvalho Júnior, Fontes e Costa, 1998). A região é responsável por um terço da produção de grãos no país e por 40% do rebanho bovino nacional (Resende, Ker e Bahia Filho, 1996), sendo ainda passíveis de serem incorporados à produção agrícola 2/3 da área total do Cerrado, o que corresponde a 136 milhões de hectares (Macedo, 1996).

A facilidade de mecanização no Cerrado (especialmente nas áreas de latossolos) e a situação geográfica favorável incentivaram a adoção do modelo agroquímico de desenvolvimento, com uso intensivo de capital (Alvarenga e Davide, 1999). Os latossolos formam os grandes chapadões do Planalto Central, geralmente em formas de relevo suave (Resende, Curi e Santana, 1988), ocupando 99,3 milhões de hectares (48,8%) do bioma Cerrado (Macedo, 1996),

com predominância de Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Roxo (LR).

O sistema de manejo predominante no Cerrado é o preparo convencional, caracterizado pelo alto revolvimento do solo nas operações que antecedem ao plantio (Resck, 1998). As grades pesadas são implementos de discos que cortam o material à superfície, com incorporação moderada, sendo amplamente usadas por causa do alto rendimento de trabalho por unidade de área. O uso excessivo de grades pesadas tem causado a degradação estrutural do solo, principalmente pela pulverização excessiva e diminuição da resistência dos agregados à ação da erosão (Silva, Blancaneaux, Curi et al., 1998). Sistemas com menor movimentação de solo têm sido adotados como alternativas ao plantio convencional. Em 1981, o sistema de plantio direto foi introduzido no Cerrado no município de Rio Verde – GO; no ano seguinte, em Santa Helena de Goiás – GO; e em 1983, no município de Morrinhos - GO (Landers, 1995). Atualmente, o sistema de plantio direto é adotado em cerca de 30% da área de lavouras no Cerrado (Sousa e Lobato, 2000).

A preocupação com problemas ambientais decorrentes da ocupação do Cerrado não deve ser restrita apenas às glebas mais aptas ao cultivo intensivo, mas também a pequenas e frágeis áreas adjacentes às terras sob cultivo, que possuem importância fundamental no ecossistema. É o caso das matas de galeria e veredas, que possuem papel relevante na regulação da temperatura das águas, abrigo e fornecimento de alimentos para a fauna terrestre e aquática, controle do fluxo de água do ecossistema e ação filtrante de poluentes agrícolas oriundos de áreas manejadas (Resende, Ker e Bahia Filho, 1996; Ramos, 2000).

1.2.4 Uso do solo no sul de Goiás

A avaliação do impacto de atividades agrícolas sobre os recursos naturais, o que inclui os estudos de qualidade do solo, deve ser feita dentro de

um enfoque que exceda os limites de propriedades agrícolas isoladas. Abordagens mais amplas, no contexto de microbacias hidrográficas, tornam possível a articulação de ações integradas para serem colocadas em prática no maior número de estabelecimentos rurais, uma vez que os benefícios se estendem a áreas maiores e podem ser úteis no planejamento agrícola regional.

No estado de Goiás, a microbacia piloto do Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (Brasil, 1987) foi escolhida no município de Morrinhos (Blancaneaux, Freitas e Lima, 1998). A classe de solo dominante é o Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, ocorrendo em relevo plano a suave ondulado e sob vegetação original de cerrado *strictu sensu* (Carvalho Filho, Motta, Chagas et al., 1998), sendo o solo de maior potencial de aproveitamento agrícola. Dentre as características agronômicas favoráveis dos Latossolos Vermelho-Escuros estão a grande espessura, boa drenagem interna e ocorrência em relevo pouco movimentado (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992).

A ocupação agrícola no sul de Goiás seguiu o mesmo padrão ocorrido no Cerrado. Morrinhos surgiu no século XVIII como parada de boiadeiros partindo da Bahia, sendo levada a cultura agrícola para a região a partir dos anos 70 (Blancaneaux, Freitas e Lima, 1998). Desde então, a intervenção antrópica ao longo de décadas tem modificado a distribuição da vegetação primária, chegando a uma condição tal que o cerrado original encontra-se quase completamente devastado, principalmente nas chapadas, tendo cedido lugar para lavouras anuais e pastagem (Carvalho Filho, Motta, Chagas et al., 1998). Da área total dos estabelecimentos agrícolas de Morrinhos, a maior parte encontra-se sob pastagens (50,2%) ou culturas agrícolas (39,6%), das quais as mais expressivas são o milho, a soja e o arroz, com apenas 10,2% destinados a áreas de reserva e preservação (Teixeira, Milhomem, Freitas et al., 1998).

O uso atual dos solos na região sul de Goiás pode ser visualizado a partir do mapa da microbacia piloto em Morrinhos (Figura 1.1).

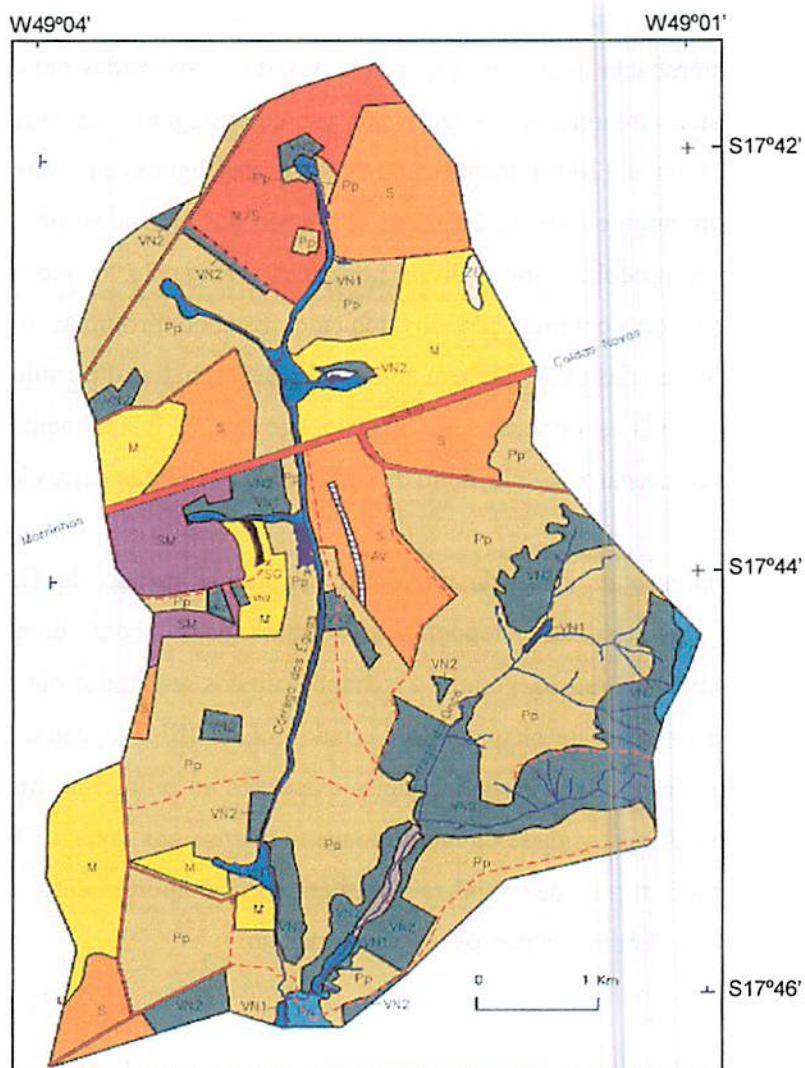


FIGURA 1.1 Mapa de uso atual dos solos da microbacia piloto do estado de Goiás (adaptado de Motta, Chagas, Carvalho Filho et al., 1998).

Observa-se, na Figura 1.1, que as áreas de ocorrência de vegetação natural na microbacia piloto, em especial as veredas, localizadas em ambientes hidrófilos, estão circundadas por terras sob uso de pastagens e lavouras anuais. Estudos de Ramos (2000) identificaram o uso das águas das veredas, que constituem importante rede de drenagem da região dos Cerrados, para lavagem de maquinário agrícola e aplicação de pesticidas e irrigação, o que representa potencial risco de contaminação do ambiente. Estando próximas a lavouras comerciais, as veredas estão também sujeitas a receber material de solo erodido, decorrente das várias operações de manejo agrícola, principalmente aquelas relacionadas ao preparo do solo, além de resíduos de pesticidas carregados pelo ar ou pelas águas.

A representatividade da microbacia piloto do estado de Goiás com relação às características topográficas, hidrológicas, edafo-climáticas e sócio-econômicas da região, permite a extrapolação dos resultados obtidos nessa unidade para os solos de chapada do Cerrado goiano (Blancaneaux, Carvalho Junior, Chagas et al., 1998), como aqueles existentes no município limítrofe de Caldas Novas. A necessidade de monitoramento intenso nas áreas de Cerrado é destacada como forma de viabilizar o estudo do comportamento dos solos submetidos a determinados padrões de uso e manejo.

1.3 MATERIAIS E MÉTODOS GERAIS

1.3.1 Local

O trabalho foi desenvolvido em propriedades agrícolas nos municípios de Morrinhos e Caldas Novas, no sul do estado de Goiás, situados na unidade geomorfológica do Planalto Central Goiano, sub-unidade Planalto Rebaixado de Goiânia. A localização geográfica da região é apresentada na Figura 1.2.

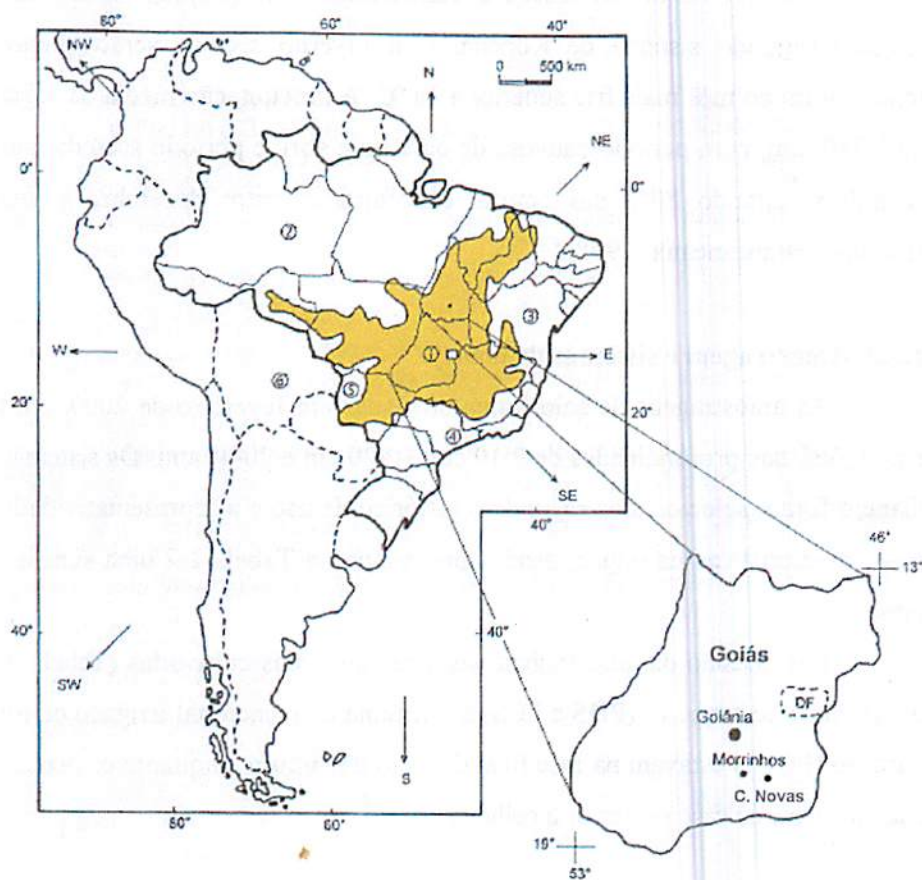


FIGURA 1.2 Localização geográfica da região em estudo, no sul do estado de Goiás (adaptado de Blancaneaux, Freitas e Lima, 1998)

1.3.2 Solo e clima

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro, desenvolvido a partir de cobertura detrito-laterítica Pleistocênica sobre micaxistos do grupo Araxá do Proterozóico Inferior (Projeto RadamBrasil, 1983), sendo atualmente classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (Embrapa, 1999). A classificação textural do solo foi feita com base nos resultados de análise granulométrica realizada na profundidade de 80-100 cm (Tabela 4A).

O clima da região recebe a classificação Aw (tropical estacional de savana) segundo sistema de Köppen, com inverno seco e verão quente, e temperatura do mês mais frio superior a 18 °C. A precipitação média da região é de 1.380 mm, com período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro, estando 80% das chuvas concentradas entre dezembro e março (Freitas e Blancaneaux, 1998).

1.3.3 Amostragem e sistemas de manejo

As amostragens de solo foram efetuadas em fevereiro de 2000, em três repetições, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm. Os sistemas de manejo foram selecionados segundo o histórico de uso e a representatividade de suas características na região, sendo apresentada na Tabela 1.2 uma síntese dos mesmos.

Por ocasião da amostragem nas áreas agrícolas cultivadas (Tabela 1.2), os sistemas de sequeiro (PDS e PCS) e o sistema convencional irrigado de longa duração (PCI 1) estavam na fase final do ciclo da cultura, enquanto os demais se encontravam na fase posterior à colheita.

TABELA 1.2 Características dos sistemas de manejo estudados em Latossolo Vermelho-Escuro no sul de Goiás

Sistema	Símbolo	Histórico
Cerrado nativo	CER	Vegetação típica de cerrado 'strictu sensu', sem histórico de interferência humana em uso agrícola
Pastagem	PAS	Pastagem plantada de <i>Brachiaria decumbens</i> de longo uso, sem manejo de fertilidade nos últimos 10 anos e sob pastejo contínuo de gado bovino em regime extensivo
Plantio direto irrigado	PDI 1	Sistema de plantio direto sob pivot central desde o ano agrícola 1995/96, com cultivo principal de milho semente em rotação com feijão na época seca, tendo sido, em 1998, sub-solado para incorporação de termofosfato a 15 cm de profundidade, após o que continuou a ser cultivado sob plantio direto
Plantio direto irrigado	PDI 2	Sistema de plantio direto sob pivot central desde o ano agrícola 1995/96, com cultivo de milho, feijão e arroz e uma safra de tomate industrial com gradagem superficial a 10 cm em 1998
Plantio direto de sequeiro	PDS	Sistema de plantio direto de sequeiro após longo tempo sob sistema convencional (monocultura de soja desde 1988), desde o ano agrícola 1994/95, com cultivo de soja sobre palha de milho
Plantio convencional irrigado	PCI 1	Sistema convencional, com uso de grade pesada, irrigado sob pivot central desde o ano agrícola 1998/99, com cultivo de milho após mais de 15 anos de sucessão soja-milho na condição de sequeiro
Plantio convencional irrigado	PCI 2	Sistema convencional irrigado recente, com uso de grade pesada, sob pivot central desde o ano agrícola 1998/99, contendo histórico de rotação de culturas com abóbora/feijão/milho-doce, após mais de 10 anos sob pastagem de <i>Brachiaria decumbens</i>
Plantio convencional de sequeiro	PCS	Sistema convencional de sequeiro, com uso de grade pesada para o preparo de solo e sucessão soja-milho por longo tempo (mais de 15 anos)

1.3.4 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com estrutura em faixas devido às profundidades de amostragem. Para a verificação dos pressupostos da análise de variância (aditividade do modelo e normalidade de distribuição dos erros) foi usado o pacote estatístico SAS (SAS Institute, 1985), através dos procedimentos “Univariate” e “General Linear Models” (GLM). Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo o efeito da profundidade, dos sistemas de manejo e da interação sistema x profundidade comparado através do teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2000). O modelo usado no delineamento foi:

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

Onde Y_{ij} : valor de cada observação;

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

S_i : efeito do sistema i ;

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

P_j : efeito da profundidade j ;

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

Erro (Geral): resíduo geral.

As correlações entre atributos foram feitas com o uso do programa estatístico SAEG (Euclides, 1983).

1.4 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.
- BEZDICEK, D.F.; PAPENDICK, R.I.; LAL, R. Introduction: importance of soil quality to health and sustainable land management. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.1-8. (SSSA Special Publication, 49).
- BLANCANEUX, Ph.; CARVALHO JUNIOR, W. de; CHAGAS, C. da S.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO FILHO, A. de; KER, J.C.; FREITAS, P.L. de. Conclusões e recomendações. In: BLANCANEUX, Ph. (ed.) *Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil*. Brasília: EMBRAPA- SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. cap.10, p.313-331.
- BLANCANEUX, Ph.; FREITAS, P.L. de; LIMA, E.M.B. Interações ambientais no Cerrado - microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil. In: BLANCANEUX, Ph. (ed.) *Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil*. Brasília: Embrapa - SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. cap.1, p.13-30.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Programa nacional de microbacias hidrográficas. Manual operativo. Brasília: Coordenação Nacional do PNMH, 1987. 60p.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. Biomass of tropical forests. A new estimate based on forest volumes. *Science*, Washington, v.223, n.4642, p.1290-1293, Mar. 1984.
- CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P.E.F. da; CHAGAS, C. da S.; KER, J.C.; BLANCANEUX, Ph.; CARVALHO Jr., W. de; AMABILE, R.F.; COSTA, L.D. da; PEREIRA, N.R. A cobertura pedológica e as interações com as rochas, o relevo e a cobertura vegetal. In: BLANCANEUX, Ph. (ed.). *Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos,*

estado de Goiás, Brasil. Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. cap.4, p.69-143.

CARVALHO JUNIOR, I.A.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.3, p.505-514, jul./set. 1998.

DIXON, R.K.; BROWN, S.; HOUGHTON, A.M.; TREXLER, M.C.; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, Washington, v.263, n.5144, p.185-190, Jan. 1994.

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

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.25-37. (SSSA Special Publication, 49).

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. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Mapa de solos do Brasil, 1:5.000.000*. Rio de Janeiro, 1981.

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

EUCLYDES, R.F. *Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para análises estatísticas e genética)*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1983. 59p.

- 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.255-258.
- FREITAS, P.L. de; BLANCANEUX, Ph.** Avaliação sobre os aspectos climatológicos e hidrológicos da microbacia piloto de Goiás, Morrinhos. In.: **BLANCANEUX, Ph. (ed.). Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil.** Brasília: EMBRAPA- SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. cap.2, p.31-52.
- HARRIS, R.F; BEZDICEK, D.F.** Descriptive aspects of soil quality/health. In: **DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds). Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.23-35. (SSSA Special Publication, 35).
- HARRIS, R.F.; KARLEN, D.L.; MULLA, D.J.** A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: **DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds.) Methods for assessing soil quality.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 61-82. (SSSA Special Publication, 49).
- HOUGHTON, J.T.; JENKINS, G.J.; EPHARAUMS, J.J. (eds).** Climate change: the IPCC scientific assessment. Cambridge: University Press, 1990.
- LANDERS, J.N. (ed).** Fascículo de experiências de plantio direto no Cerrado. Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1995. 263p.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J.** The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: **DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds). Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.37-51. (SSSA Special Publication, 35).
- LEGGETT, J.** The nature of the greenhouse threat. In: **LEGGETT, J. Global warming: the Greenpeace report.** Oxford: Oxford University Press, 1990. 554p. chapter 1, p.15-43.

- LOPES, A.S. Solos sob "cerrado": Características, propriedades e manejo.** 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
- MACEDO, J. Os Solos da região dos Cerrados.** In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa, MG: SBCS/UFV/DPS, 1996. p.135-155.
- MOTTA, P.E.F. da; CHAGAS, C. da S.; CARVALHO FILHO, A.; BLANCANEUX, Ph.; AMABILE, R.F.; CARVALHO JUNIOR, W. de; PEREIRA, N.R. Avaliação de aptidão agrícola das terras da microbacia piloto do estado de Goiás, Morrinhos.** In: BLANCANEUX, Ph. (ed.). **Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil.** Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. cap.6, p.205-233.
- NAGARAJA, M.S.; SRINIVASAMURTHY, C.A.; VISWANATHA, N.R.; SIDDARAMAPPA, R. An ecological approach in soil quality assessment for sustainability evaluation.** In: **INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION CONFERENCE, 10., 1999, West Lafayette, Indiana. Abstracts ... West Lafayette, Indiana: USA, 1999. p.23.**
- NORFLEET, M.L. USDA NRCS Soil Quality Institute.** In: **INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION CONFERENCE, 10., 1999, West Lafayette. Abstracts ... West Lafayette, Indiana: USA. 1999. p.29.**
- OLIVEIRA, J.B. de; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento.** Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- PROJETO RADAMBRASIL. Folha SE. 22. Goiânia: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 1983. 768p.
- RAMOS, M.V.V. Veredas do Triângulo Mineiro: solos, água e uso.** Lavras: UFLA, 2000. 127p. (Dissertação de Mestrado).

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

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. de.; CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 3.ed. Viçosa: NEPUT, 1999. 338p.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D.P. *Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações*. Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESAL; Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81p.

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

SAS INSTITUTE. *SAS User's guide: statistics*. 5.ed. Cary, N.C., 1985. 956p.

SCHARPENSEEL, H.W. Preface to workshop 'Management of carbon in tropical soils under global change: science, practice and policy'. *Geoderma*, Amsterdam, v.79, n.1, p.1-8, Sept. 1997.

SCHOLES, R.J.; BREEMEN, N. van. The effects of global change on tropical ecosystems. *Geoderma*, Amsterdam, v.79, n.1, p.9-24, Sept. 1997.

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

SOUSA, D.M.G de; LOBATO, E. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3.; FERTBIO 2000, Santa Maria. Anais... Santa Maria, 2000. 1 CD-ROM.

TAOLIN, Z.; ZHONGPEI, L. Dynamics of soil organic carbon and the potential of carbon sequestration in the soils of southern China. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION CONFERENCE, 10., 1999, West Lafayette. Abstracts ... West Lafayette, Indiana. USA.1999. p.15.

TEIXEIRA, S.M.; MILHOMEM, A.; FREITAS, P.L. de; BLANCANEUX, Ph. Microbacias hidrográficas e desenvolvimento rural. Uma abordagem socioeconômica. In: BLANCANEUX, Ph. (ed.) Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil. Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. cap.8. p.261-282.

WATSON, R.T.; MEIRA FILHO, L.G.; SANHUEZA, E.; JANETOS, A. Sources and sinks. In: HOUGHTON, J.T.; CALLENDAR, B.A.; VARNEY, S.K. (eds). Climate change 1992: the supplementary report to the IPCC scientific assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. p.22-46.

CAPÍTULO 2

ATRIBUTOS FÍSICOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO NO SUL DE GOIÁS

RESUMO

Os latossolos sob Cerrado têm sido intensivamente incorporados ao processo produtivo agrícola, apresentando, em geral, propriedades físicas favoráveis à agricultura. No entanto, são escassos estudos de qualidade do solo nesse ambiente. O presente trabalho teve por objetivo verificar alterações em atributos físicos indicadores da qualidade do solo, em decorrência da adoção de sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo, e selecionar os atributos com melhor performance em indicar tais alterações. Foram coletadas amostras nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, em Latossolo Vermelho-Escuro, nos municípios de Morrinhos e Caldas Novas - GO. Os atributos avaliados foram: densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica do solo saturado, estabilidade de agregados, índice de floculação e carbono orgânico total, tendo sido realizado teste de resistência à penetração até 60 cm de profundidade. Os sistemas de manejo consistiram de: (1) cerrado nativo; (2) pastagem; (3) plantio direto irrigado; (4) plantio direto irrigado com histórico de gradagem superficial; (5) plantio direto de sequeiro; (6) plantio convencional irrigado; (7) plantio convencional irrigado recente após pastagem; (8) plantio convencional de sequeiro. Os sistemas plantio direto irrigado, pastagem e plantio convencional recente após pastagem não alteraram os atributos físicos em relação ao cerrado nativo, com exceção da resistência à penetração no sistema pastagem. Os sistemas convencionais de longa duração reduziram a estabilidade de agregados em água, com decréscimo na qualidade do solo. O diâmetro médio geométrico e a porcentagem de agregados maiores que 2 mm, por apresentarem boa performance em indicar alterações em relação ao cerrado nativo, e o teor de carbono orgânico total, pela correlação significativa apresentada com estes atributos ($r > 0,94^{**}$), são sugeridos como componentes potenciais de um índice de qualidade do solo a ser desenvolvido para a região.

ABSTRACT

The Latosols from the Cerrado region, which usually possess favorable physical properties for agriculture, have been intensively incorporate into agricultural production in Brazil. However, few studies on soil quality have been conducted in this ecosystem. The objectives of this research was: i) to assess alterations in physical soil quality indicators due to the adoption of different management systems as opposed to the native Cerrado, and ii) to select attributes with a better performance in indicating such alterations. Samples from different layers (0-10, 10-20, and 20-40 cm) of Dark-Red Latosols from Morrinhos and Caldas Novas (GO) were collected for evaluation of the following soil attributes: soil density; porosity; saturated hydraulic conductivity; aggregate stability; flocculation index; total organic carbon (TOC), and penetration resistance down to 60 cm of depth. The management systems consisted of: (1) native Cerrado; (2) pasture; (3) irrigated no-till; (4) irrigated no-till with report of surface plowing; (5) no-till; (6) long term irrigated conventional tillage; (7) recently irrigated conventional tillage after pasture; (8) long term conventional tillage. The irrigated no-till systems, as well as the pasture and the recently irrigated conventional tillage after pasture did not alter the physical attributes when compared with the native Cerrado, except for the penetration resistance in the pasture. Long-term conventional systems reduced the aggregate stability, causing a decrease in soil quality. Due to their good performance in indicating alterations of the native Cerrado conditions, the geometric mean diameter and the percentage of aggregates > 2 mm are suggested as potential components of a soil quality index for the area. In addition, because of its good correlation with aggregate stability indexes ($r > 0,94^{**}$), TOC is suggested as a potential indicator of soil quality as well.

2.1 INTRODUÇÃO

Recentes estudos desenvolvidos no contexto da qualidade do solo têm destacado as relações existentes entre o mesmo e os demais componentes do ecossistema. Ao solo são atribuídas as funções de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover saúde humana, animal e vegetal (Doran e Parkin, 1994). Na avaliação da qualidade do solo, os atributos selecionados como indicadores de mudanças devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo adequada à verificação de suas alterações. De acordo com Islam e Weil (2000), tais atributos devem estar numa posição intermediária entre aqueles considerados permanentes (como textura e mineralogia) e efêmeros (como conteúdo de água, temperatura e pH). Os atributos físicos do solo devem ser periodicamente monitorados devido à sua importância para a produtividade das culturas (Resende, Ker e Bahia Filho, 1996) e resistência do solo à degradação ambiental (Karlen e Stott, 1994).

Muitos atributos físicos têm sido usados como indicadores de alterações na qualidade do solo. A densidade do solo faz parte de um conjunto mínimo de dados indicadores, sendo usada na estimativa da estrutura do solo com relação ao potencial de lixiviação, produtividade e aspectos erosivos (Larson e Pierce, 1994; Doran e Parkin, 1994), constituindo um dos principais atributos em estudos sobre erosão no modelo EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator) (Manrique e Jones, 1991). A densidade do solo é afetada por vários fatores, como sistema de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos à superfície e teor de matéria orgânica do solo (Da Ros, Secco, Fiorin et al., 1997; Carvalho Júnior, Fontes e Costa, 1998; Tormena, Roloff e Sá, 1998; Cavenage, Moraes, Alves et al., 1999; Corsini e Ferraudo, 1999; Silva, Reinert e Reichert, 2000, Alcântara e Ferreira, 2000). Aumentos na densidade do solo podem ser relacionados à compactação pelo tráfego de máquinas (Tormena, Roloff e Sá,

1998) e uso de implementos, com efeitos em superfície (Carvalho, Figueiredo e Costa, 1999) ou em sub-superfície (Cavenage, Moraes, Alves et al., 1999).

Valores críticos de densidade do solo são relacionados na literatura a condições restritivas ao crescimento radicular e infiltração de água. Em Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso, tal restrição ocorre acima de valores da ordem de 1,25-1,35 kg dm⁻³ (Alvarenga, Costa, Moura Filho et al., 1996); em Latossolo Roxo argiloso, acima de 1,57 kg dm⁻³ na camada superficial (0-6 cm) e 1,40 kg dm⁻³ na sub-superficial (20-26 cm) (Corsini e Ferraudo, 1999); e em Latossolo Vermelho-Escuro textura média, acima de 1,60 kg dm⁻³ (Carvalho Júnior, Fontes e Costa, 1998). O limite de 1,40 kg dm⁻³ é aceito de modo geral para solos argilosos, sendo que os valores críticos aumentam com o decréscimo do teor de argila do solo (Arshad, Lowery e Grossman, 1996).

Com relação à porosidade do solo, estudos indicam que, em sistemas convencionais de preparo do solo, o revolvimento causa aumento especialmente dos macroporos (Da Ros, Secco, Fiorin et al., 1997; Carvalho, Figueiredo e Costa, 1999). Este efeito, no entanto, ocorre por curto período de tempo, uma vez que desaparece durante o próprio ciclo da cultura (Corsini e Ferraudo, 1999). O uso continuado de implementos no preparo do solo pode causar redução no volume de macroporos abaixo da camada superficial, de acordo com Cavenage, Moraes, Alves et al. (1999).

O comportamento do sistema radicular das plantas pode ser inferido a partir dos estudos de resistência à penetração. O crescimento radicular de culturas anuais sofre restrição em valores de resistência à penetração acima de 1,5 a 3,0 MPa, segundo Grant e Lanfond (1993), ou acima de 2,0 MPa, segundo Arshad, Lowery e Grossman (1996). No sistema de plantio direto, foi verificado que as raízes suportam valores mais altos de resistência à penetração, devido à existência de canais contínuos deixados por minhocas e raízes decompostas. Estudos verificaram que, enquanto o crescimento do sistema radicular foi

limitado a partir de 3,6 MPa em cultivo convencional, o valor crítico correspondente no plantio direto foi de 5,0 MPa (Ehlers, Kopke, Hesse et al., 1983). Isto é possível porque a pressão exercida por um penetrômetro no aprofundamento do solo é maior do que a exercida pelas raízes, uma vez que o aparelho não desvia de obstáculos como agregados resistentes, ao contrário do sistema radicular, de acordo com Arshad, Lowery e Grossman (1996). Para os autores, a resistência à penetração é afetada fortemente pelo conteúdo de água do solo, verificando-se aumento de seus valores com o decréscimo da umidade, o que é atribuído por Beltrame, Gondim e Taylor (1981) a uma maior coesão entre as partículas do solo. Assim, os testes de resistência à penetração são mais bem interpretados se a umidade do solo no momento da realização das medidas for conhecida (Bradford, 1986; Arshad, Lowery e Grossman, 1996).

Um índice conceitual de qualidade do solo formulado por Karlen e Stott (1994) incluiu os atributos condutividade hidráulica, porosidade total, macroporosidade, densidade do solo (relacionados à função de transferência e absorção de água) e estabilidade de agregados (relacionado à função de resistência à degradação). A resistência à penetração é integrante de um conjunto de dados proposto para monitoramento da qualidade do solo (Larson e Pierce, 1994), assim como a densidade do solo, argila dispersa em água e estabilidade de agregados (Papendick, 1991, citado por Karlen e Stott, 1994). No Brasil, estudos de avaliação de atributos indicadores no Cerrado têm envolvido a densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica do solo saturado, resistência à penetração e estabilidade de agregados (Amado, Reinert, Reichert et al., 1999; Silva, Curi, Beutler et al., 1999; Beutler, Silva, Curi et al., 2001a,b).

A agregação do solo pode indicar mudanças decorrentes do manejo tanto com relação ao tamanho e estabilidade dos agregados (Silva, Blancaneaux, Curi et al., 1998; Alcântara e Ferreira, 2000; Beutler, Silva, Curi et al., 2001b) como à concentração dos mesmos em determinada classe de tamanho, em latossolos

(Da Ros, Secco, Fiorin et al., 1997; Castro Filho, Muzilli e Podanoschi, 1998; Beutler, Silva, Curi et al., 2001b) ou solos menos intemperizados (Palmeira, Pauletto, Teixeira et al., 1999). A estabilidade de agregados está relacionada com o teor de carbono orgânico em lavouras anuais (Silva e Mielniczuk, 1997b e 1998; Castro Filho, Muzilli e Podanoschi, 1998) ou perenes (Alcântara e Ferreira, 2000), sendo reduzida com o cultivo intensivo pelo aumento da taxa de oxidação da matéria orgânica (Oades, 1984).

O tipo de cobertura vegetal exerce influência na estrutura do solo, uma vez que as gramíneas causam efeito benéfico na agregação (Allison, 1973; Goss e Reid, 1979). Diferenças na estabilidade de agregados foram encontradas em áreas de gramíneas perenes (Silva e Mielniczuk, 1997a,b; Silva e Mielniczuk, 1998), gramíneas como plantas de inverno antecedendo o plantio direto (Campos, Reinert, Nicolodi et al., 1999) e gramíneas usadas na adubação verde (Silva, Blancaneaux, Curi et al., 1998), com relação a outros sistemas.

Diante do exposto, as seguintes hipóteses de trabalho foram formuladas: (a) diferentes sistemas de manejo adotados no sul de Goiás alteram alguns atributos físicos indicadores da qualidade do solo em relação ao cerrado nativo; (b) a intensidade dessas alterações varia em função do tempo de adoção e das características de cada sistema de manejo; (c) alguns atributos apresentam melhor performance em indicar alterações decorrentes da adoção de sistemas de manejo distintos, podendo ser sugeridos como componentes potenciais de um índice de qualidade do solo a ser desenvolvido para a região em estudo.

O objetivo deste trabalho foi verificar alterações em alguns atributos físicos indicadores da qualidade do solo (densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica do solo saturado, resistência à penetração e estabilidade de agregados), em decorrência da adoção de sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo, e selecionar os atributos com melhor performance em indicar tais alterações, num Latossolo Vermelho-Escuro do sul de Goiás.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local, solo, tratamentos e análise estatística

Os locais de amostragem, a classe de solo estudada, o histórico das áreas selecionadas e a análise estatística aplicada no experimento estão descritos no item 1.3 (Materiais e Métodos Gerais – Capítulo 1).

2.2.2 Análises de laboratório

Foram coletadas amostras indeformadas com o uso do amostrador de Uhland, em cilindros com dimensões médias de 8,25 cm de altura por 6,96 cm de diâmetro interno, tendo-se determinado a densidade do solo de acordo com Blake e Hartge (1986a) e o volume total de poros segundo expressão preconizada por Danielson e 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 separação de macro e microporos. O volume da 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) 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. A argila dispersa em água foi determinada sem o uso de dispersante químico, determinando-se o índice de floculação de acordo com Embrapa (1997). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (Blake e Hartge, 1986b). A cor úmida do solo foi determinada na profundidade de 80-100 cm com base na carta de Munsell (Munsell soil color charts, 1994). O carbono orgânico total foi avaliado por oxidação a quente com dicromato de

potássio, sendo determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley e Black, 1934).

A quantificação de caulinita e gibbsita foi feita por meio de análise térmica diferencial (ATD) na fração argila desferrificada, obtida no resíduo do tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra e Jackson, 1960). Os óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5) foram determinados segundo Embrapa (1997).

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

$$\text{DMG} = \exp \left[\frac{\sum (w_i \cdot \ln x_m)}{\sum w_i} \right],$$

onde DMG: diâmetro médio geométrico (mm);

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

$\ln x_m$: logaritmo natural do diâmetro médio de cada classe de tamanho;

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

A porcentagem de agregados maiores que 2 mm e menores que 0,25 mm foi calculada pelas expressões:

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

$$\% < 0,25 = 100 \cdot [(w_{<0,25}) / \sum w_i],$$

onde % > 2: porcentagem de agregados maiores que 2 mm;
w_{>2}: massa de agregados com diâmetro maior que 2 mm;
% < 0,25: porcentagem de agregados menores que 0,25 mm;
w_{<0,25}: massa de agregados com diâmetro menor que 0,25 mm.

A condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) foi determinada por meio de permeâmetro de carga constante, seguindo metodologia descrita por Lima, Curi, Resende et al. (1990), com o 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:

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

onde K: condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹);

Q: volume de água coletada no intervalo de tempo t (cm³);

L: altura do cilindro (cm);

A: área da seção transversal do cilindro (cm²);

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, através da relação:


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

onde K_s: condutividade hidráulica do solo saturado a 20 °C (mm h⁻¹);

K: condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹);

μ_t: viscosidade da água à temperatura da determinação das leituras;

μ₂₀: viscosidade da água a 20 °C.



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

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade de partículas e as características granulométricas do Latossolo Vermelho-Escuro estudado são apresentadas na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 Densidade de partículas e características granulométricas de Latossolo Vermelho-Escuro submetido a oito sistemas de manejo

Sistema	Dp (kg dm ⁻³)	Areia			Silte			Argila		
		0-10 cm			10-20 cm			20-40 cm		
CER	2,52	467	198	335	390	219	391	390	203	440
PAS	2,54	319	248	433	317	286	397	300	309	391
PDI 1	2,42	300	257	443	290	303	407	293	267	440
PDI 2	2,51	388	249	363	360	300	340	329	243	428
PDS	2,57	494	236	270	511	189	300	480	210	310
PCI 1	2,56	374	295	331	360	238	402	400	190	410
PCI 2	2,48	508	167	325	509	135	356	487	158	355
PCS	2,68	580	150	270	573	150	277	594	104	302

Com relação à classificação textural, todos os sistemas de manejo referem-se a solos de textura argilosa, exceto os sistemas de sequeiro, tanto sob plantio direto (PDS) como convencional (PCS), nos quais o solo apresenta textura média (Tabela 4A). Uma vez que os latossolos das áreas amostradas desenvolveram-se a partir de coberturas detrito-lateríticas colúvio-aluviais (Projeto Radambrasil, 1983), as diferenças na textura ocorrem em função de variações nos sedimentos de cobertura ao longo da própria paisagem, que determinam maior ou menor contribuição de fragmentos grosseiros, como pode ser notado nos estudos de Blancaneaux, Ker, Silva Chagas et al. (1998). Assim, para a verificação das alterações em atributos do solo a partir da condição de cerrado nativo, as comparações entre os solos argilosos serão enfatizadas, sendo feitas, quando pertinentes, considerações baseadas na textura.

2.3.1 Densidade do solo

Houve efeito significativo do sistema de manejo e da profundidade sobre a densidade do solo (Tabela 2A).

Os valores de densidade do solo obtidos são apresentados na Tabela 2.2. Independentemente do sistema de manejo, a densidade do solo foi maior nas camadas de 0-10 cm e 20-40 cm. Valores mais altos de densidade do solo à superfície concordam com resultados obtidos em trabalhos anteriores, estando relacionados ao pisoteio animal no sistema pastagem (Carvalho Júnior, Fontes e Costa, 1998; Cavenage, Moraes, Alves et al., 1999), à acomodação do solo associada ao tráfego de máquinas no plantio direto (Tormena, Roloff e Sá, 1998) e à desagregação e empacotamento de partículas pela movimentação excessiva do solo nos sistemas convencionais (Carvalho, Figueiredo e Costa, 1999). Os valores de densidade do solo na camada de 0-10 cm foram da ordem de 1,22 kg dm⁻³ para o cerrado nativo, 1,24 kg dm⁻³ para a pastagem, de 1,24 a 1,29 kg dm⁻³ para o plantio direto e de 1,31 a 1,43 kg dm⁻³ para os sistemas convencionais.

Entre os sistemas de manejo, não foram verificadas diferenças significativas na densidade do solo em relação ao cerrado nativo (Tabela 2.2). O maior valor médio de densidade do solo foi observado no plantio convencional de sequeiro (PCS), atingindo $1,41 \text{ kg dm}^{-3}$, o que não é considerado crítico, uma vez que o solo submetido a este sistema apresenta uma constituição menos argilosa. Com relação aos demais sistemas, os menores valores de densidade do solo foram observados, em média, na pastagem (PAS), nos dois sistemas de plantio direto irrigado (PDI 1 e PDI 2) e no convencional irrigado de longa duração (PCI 1). A densidade do solo no cerrado (CER), plantio direto de sequeiro (PDS) e plantio convencional irrigado recente após pastagem (PCI 2) apresentou valores intermediários, não diferindo estatisticamente dos extremos.

TABELA 2.2 Densidade do solo em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-40	
	Densidade do solo (kg dm^{-3})			
CER	1,22	1,27	1,36	1,29 ab
PAS	1,24	1,14	1,19	1,19 b
PDI 1	1,25	1,21	1,23	1,23 b
PDI 2	1,24	1,18	1,23	1,22 b
PDS	1,29	1,31	1,33	1,31 ab
PCI 1	1,32	1,19	1,20	1,24 b
PCI 2	1,31	1,36	1,36	1,32 ab
PCS	1,43	1,35	1,44	1,41 a
Média	1,29 A	1,24 B	1,29 A	
C.V. Sistema	(%)	6,6		
C.V. Geral	(%)	4,1		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Os valores de densidade do solo no sistema cerrado (Tabela 2.2) são maiores do que os reportados na mesma condição de vegetação por Beutler, Silva, Curi et al (2001a), respectivamente $0,85 \text{ kg dm}^{-3}$, $0,83 \text{ kg dm}^{-3}$ e $0,88 \text{ kg dm}^{-3}$ para as camadas de 0-5 cm, 5-20 cm e 20-30 cm, e por Cavenage, Moraes, Alves et al. (1999), respectivamente $1,19 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,32 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$ para as camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, em ambos os casos. A densidade do solo obtida no presente estudo para o cerrado está, no entanto, fora da faixa de restrição ao crescimento radicular apontada por Arshad, Lowery e Grossman (1996). Não foi observado aumento na densidade do solo no plantio direto em relação a sistemas convencionais, discordando dos resultados obtidos por Silva, Reinert e Reichert (2000).

2.3.2 Porosidade

Os resultados das determinações do volume total de poros são apresentados na Tabela 2.3.

Independentemente do sistema de manejo, o volume total de poros (VTP) foi menor na camada superficial (0-10 cm) em relação à camada subjacente (10-20 cm). Variações no VTP com a profundidade foram observadas por Beutler, Silva, Curi et al. (2001a) apenas em sistemas de plantio direto, apresentando a mesma tendência do presente trabalho, com menores valores de porosidade total obtidos à superfície.

Entre os sistemas de manejo, não foram observadas diferenças significativas no volume total de poros (VTP) em relação ao cerrado nativo (Tabela 2.3). As maiores médias de VTP foram obtidas nos sistemas pastagem (PAS), plantio direto com histórico de gradagem superficial (PDI 2) e sistema convencional irrigado de longa duração (PCI 1), variando de $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o que está relacionado aos baixos valores de densidade do solo nestes

sistemas. Os menores valores de VTP foram encontrados em dois sistemas convencionais, PCI 2 e PCS, sendo da ordem de $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ em ambos os casos.

Os valores de VTP encontrados no presente trabalho foram menores que aqueles obtidos por Beutler, Silva, Curi et al. (2001a), tanto nos sistemas de plantio direto ($0,54$ a $0,64 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) como nos convencionais ($0,58$ a $0,64 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e cerrado nativo ($0,66$ a $0,68 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), e maiores do que os obtidos por Cavenage, Moraes, Alves et al. (1999) em áreas sob pastagem ($0,40$ a $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sistema convencional ($0,38$ a $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e cerrado nativo ($0,47$ a $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Estes estudos foram conduzidos sobre Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa, no primeiro caso, e Latossolo Vermelho-Escuro de textura média a argilosa, no segundo.

TABELA 2.3 Volume total de poros em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-40	
Volume total de poros ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)				
CER	0,52	0,52	0,50	0,51 ab
PAS	0,51	0,56	0,56	0,54 a
PDI 1	0,48	0,51	0,51	0,50 ab
PDI 2	0,53	0,56	0,54	0,55 a
PDS	0,50	0,49	0,49	0,49 ab
PCI 1	0,51	0,56	0,56	0,54 a
PCI 2	0,47	0,50	0,46	0,48 b
PCS	0,48	0,50	0,48	0,48 b
Média	0,50 B	0,52 A	0,51 AB	
C.V. Sistema (%)	(%)	6,8		
C.V. Geral (%)	(%)	4,3		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Com relação à microporosidade, houve efeito significativo da profundidade, com valores mais altos na camada de 0-10 cm em relação às demais (Tabela 2.4). Não se verificou efeito de profundidade sobre a microporosidade em trabalhos anteriores, na comparação de áreas sob vegetação natural, pastagem e sistemas cultivados (Beutler, Silva, Curi et al., 2001a; Cavenage, Moraes, Alves et al., 1999).

Dentre os sistemas de manejo, a menor microporosidade foi observada no plantio convencional de sequeiro (PCS) em relação a todos os outros, o que pode estar relacionado à constituição menos argilosa deste solo. No entanto, os valores de microporosidade no solo sob plantio direto de sequeiro (PDS), também de textura média, não diferiram estatisticamente daqueles observados nos demais sistemas, incluindo o cerrado nativo.

TABELA 2.4 Microporosidade em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-40	
	Microporosidade (m ³ m ⁻³)			
CER	0,35	0,34	0,40	0,36 a
PAS	0,37	0,35	0,35	0,36 a
PDI 1	0,37	0,34	0,34	0,35 a
PDI 2	0,41	0,35	0,37	0,38 a
PDS	0,36	0,32	0,34	0,34 a
PCI 1	0,39	0,33	0,33	0,35 a
PCI 2	0,36	0,37	0,36	0,37 a
PCS	0,32	0,27	0,29	0,29 b
Média	0,37 A	0,33 B	0,35 B	
C.V. Sistema	(%)	8,2		
C.V. Geral	(%)	6,4		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Para a macroporosidade, houve interação significativa entre sistemas de manejo e profundidade (Tabela 2A). Os resultados de macroporosidade são apresentados na Tabela 2.5.

O efeito de profundidade sobre a macroporosidade (Tabela 2.5) foi significativo apenas para os sistemas CER, PDI 2 e PCI 1. No CER, observou-se reduzida macroporosidade na camada de 20-40 cm, em média $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, significativamente menor do que na camada de 10-20 cm. Nos sistemas PDI 2 e PCI 1, houve tendência diferente, com aumento significativo dos valores de macroporosidade da camada superficial (0-10 cm) para a subjacente (10-20 cm). Todos os demais sistemas apresentaram valores de macroporosidade uniformes em profundidade.

TABELA 2.5 Macroporosidade em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		
CER	0,17 a AB	0,19 ab A	0,10 b B
PAS	0,14 a A	0,21 ab A	0,21 a A
PDI 1	0,10 a A	0,17 ab A	0,17 ab A
PDI 2	0,12 a B	0,21 ab A	0,17 ab AB
PDS	0,14 a A	0,17 ab A	0,15 ab A
PCI 1	0,11 a B	0,23 a A	0,23 a A
PCI 2	0,09 a A	0,13 b A	0,10 b A
PCS	0,16 a A	0,23 a A	0,19 ab A
C.V. Sistema	(%)	31,0	
C.V. Geral	(%)	19,2	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Com relação ao efeito dos sistemas de manejo sobre a macroporosidade dentro de cada profundidade, não foram verificadas diferenças significativas na camada de 0-10 cm (Tabela 2.5). Observa-se, no entanto, que os valores extremos de macroporosidade observados nessa camada são bastante contrastantes ($0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no PCI 2 e $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no CER). Este fato, associado a um coeficiente de variação relativamente elevado para sistemas de manejo (31,0%), pode ser indicativo da necessidade de um maior número de repetições, a fim de reduzir a variabilidade encontrada nessa determinação de porosidade.

Na camada de 10-20 cm, não foram observadas diferenças significativas de macroporosidade em relação ao cerrado. Os valores mais altos foram observados nos sistemas convencionais de longa duração (PCI 1 e PCS) e o mais baixo, no convencional recente após pastagem (PCI 2). Todos os demais sistemas apresentaram valores intermediários que não diferiram dos extremos. Na camada mais profunda (20-40 cm), os sistemas PCI 1 e PAS apresentaram a maior macroporosidade, sendo os menores valores observados no cerrado (CER) e no plantio convencional recente após longo uso com pastagens (PCI 2).

2.3.3 Condutividade hidráulica do solo saturado

Os valores de condutividade hidráulica do solo saturado obtidos para os oito sistemas de manejo em três profundidades são apresentados na Tabela 2.6. De modo semelhante à macroporosidade, houve interação significativa entre os sistemas de manejo e a profundidade (Tabela 2A).

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) foi afetada pela profundidade apenas no sistema de plantio convencional irrigado de longa duração (PCI 1), no qual o valor observado na camada de 0-10 cm foi menor do que nas camadas subjacentes. Em todos os demais sistemas, a K_s não apresentou diferenças significativas entre as camadas estudadas. No caso do PCI 1, o reduzido valor de K_s , da ordem de $2,6 \text{ mm h}^{-1}$, está relacionado à classe de

permeabilidade muito lenta, segundo classificação de Soil Survey Staff (1993). Através de observações de campo, foi possível notar, neste sistema, a presença de sulcos rasos ao longo do declive, indício de escoamento superficial concentrado, em consonância com o reduzido valor de Ks determinado.

Não houve diferença significativa na condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) em relação ao cerrado nativo nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Na camada superficial, entretanto, o sistema pastagem (PAS) apresentou a maior Ks, e o convencional irrigado de longa duração (PCI 1), a menor. A elevada Ks observada no sistema PAS na profundidade de 0-10 cm se manteve ao longo do perfil, nas camadas subjacentes. Na camada mais profunda, os sistemas CER e PCI 2 apresentaram os menores valores de Ks, que, no entanto, diferiram estatisticamente apenas daquele observado na pastagem.

TABELA 2.6 Condutividade hidráulica do solo saturado em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹)		
CER	140,9 ab A	174,5 ab A	55,3 b A
PAS	244,9 a A	340,8 a A	255,2 a A
PDI 1	149,0 ab A	65,1 b A	177,9 ab A
PDI 2	50,7 ab A	145,1 ab A	120,9 ab A
PDS	120,0 ab A	76,3 b A	68,5 ab A
PCI 1	2,6 b B	253,6 ab A	192,8 ab A
PCI 2	65,7 ab A	114,8 ab A	55,2 b A
PCS	133,2 ab A	159,9 ab A	102,8 ab A
C.V. Sistema	(%)	59,2	
C.V. Geral	(%)	54,6	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Observa-se que, na camada de 0-10 cm, os dois solos com os menores valores de condutividade hidráulica do solo saturado (PCI 1: 2,6 mm h⁻¹ e PDI 2: 50,7 mm h⁻¹) foram os que apresentaram os maiores valores de microporosidade (PCI 1: 0,39 m³ m⁻³ e PDI 2: 0,41 m³ m⁻³), sendo que, para ambos os sistemas, verificou-se redução da macroporosidade na camada superficial em relação às subjacentes (Tabelas 2.4 e 2.5). Neste caso, é possível que a condutividade hidráulica do solo saturado esteja relacionada não apenas aos valores absolutos de porosidade, mas também à distribuição dos poros ao longo das camadas avaliadas, especialmente os poros maiores, importantes na drenagem de água sob a influência da gravidade (Karlen e Stott, 1994).

Analisando a condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) ao longo do perfil (Tabela 2.6), e levando-se em conta que o fluxo de água no solo saturado é limitado pelo menor valor de condutividade hidráulica dentre as camadas amostradas, observam-se algumas situações distintas dentre os sistemas de manejo: no plantio convencional irrigado de longa duração (PCI 1), o fluxo de água no solo saturado é limitado pelo reduzido valor de 2,6 mm h⁻¹, relativo à camada superficial; no sistema pastagem (PAS), o fluxo de água no solo saturado é bastante elevado em todas as camadas, uma vez que o menor valor de Ks ao longo do perfil é da ordem de 244,9 mm h⁻¹; nos demais sistemas, o fluxo de água é limitado por valores intermediários de Ks, entre 50,7 e 102,8 mm h⁻¹.

Assim como observado no caso da macroporosidade, o coeficiente de variação foi bastante alto na análise da condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) (Tabela 2.6). Esta elevada variabilidade nas medições da Ks foi reportada por José (2000) em estudos envolvendo sistemas de manejo e atributos físicos do solo e, conforme discutido anteriormente, pode indicar a necessidade de um número maior de repetições na coleta das amostras indeformadas.

2.3.4 Resistência à penetração

A umidade gravimétrica do solo no momento do teste de resistência à penetração é apresentada na Tabela 2.7. Para todas as profundidades, os sistemas de sequeiro apresentaram os menores teores de água no solo. Segundo Arshad, Lowery e Grossman (1996), a umidade em medições de resistência à penetração a fim de avaliar limitações ao sistema radicular deve estar próxima à da capacidade de campo. No entanto, para Klein (1998), este grau de umidade não é boa referência para a detecção de camadas compactadas quando se comparam efeitos de sistemas de manejo. Visto que as condições de campo em que o teste de resistência à penetração foi realizado não permitiram a uniformização da umidade do solo, os resultados serão interpretados com esta ressalva.

A resistência à penetração até a profundidade de 60 cm para os oito sistemas de manejo estudados está representada na Figura 2.1.

TABELA 2.7 Umidade gravimétrica no momento do teste de resistência à penetração para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	Umidade gravimétrica (%)		
CER	0,26 bc	0,25 a	0,26 a
PAS	0,27 abc	0,26 a	0,27 a
PDI 1	0,31 a	0,28 a	0,26 a
PDI 2	0,29 ab	0,26 a	0,26 a
PDS	0,17 d	0,18 b	0,20 bc
PCI 1	0,26 bc	0,26 a	0,24 ab
PCI 2	0,24 c	0,24 a	0,23 ab
PCS	0,15 d	0,17 b	0,16 c
C.V. Sistema (%)	9,3		

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

Resistência à Penetração (MPa)

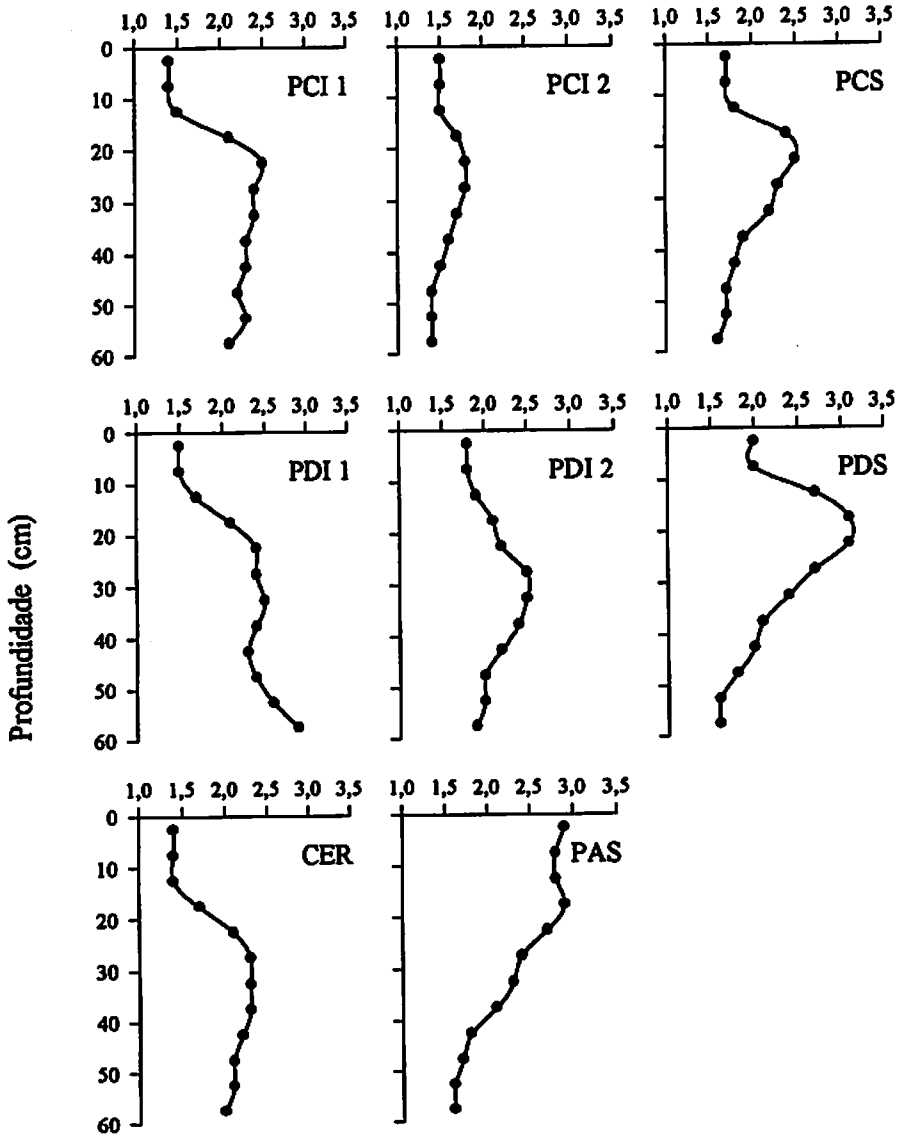


FIGURA 2.1 Resistência à penetração para oito sistemas de manejo em Latossolo Vermelho-Escuro até a profundidade de 60 cm

Os valores de resistência à penetração variaram de 1,4 MPa a 3,1 MPa (Tabela 5A). No sistema cerrado (CER), a resistência à penetração se mantém em torno de 1,4 MPa até a profundidade de 15 cm, a partir da qual existe um aumento dos valores, chegando a 2,1 MPa aos 20 cm e 2,3 MPa aos 30 cm (Figura 2.1), permanecendo nessa faixa até a profundidade de 60 cm. Desse modo, verifica-se que valores altos de resistência à penetração (segundo classificação constante na Tabela 2.8) ocorrem na situação de cerrado nativo, a partir dos 20 cm de profundidade, o que caracteriza uma condição de adensamento natural do solo. Comportamento semelhante quanto à resistência à penetração foi observado nos sistemas PCI 1, PCS, PDI 1, e PDI 2, sendo que, neste caso, o limite de 2,0 MPa é ultrapassado mais próximo à superfície, em média aos 15 cm de profundidade (Figura 2.1). Ressalta-se, com isso, a importância de se efetuarem determinações num sistema de referência, como o cerrado nativo, sem as quais, a existência de tal camada adensada poderia ser atribuída unicamente à influência do manejo do solo.

As maiores diferenças nos valores de resistência à penetração em relação ao cerrado foram verificadas nos sistemas PAS, PCI 2 e PDS. Na pastagem, valores da ordem de 2,9 MPa são observados desde a superfície do solo, decrescendo progressivamente até a profundidade de 40 cm, em que se mantém abaixo de 2,0 MPa (Figura 2.1). Esta alta resistência à penetração pode ser atribuída ao efeito do pisoteio de animais sob pastejo, o que é atenuado a profundidades maiores. No caso do PCI 2, os valores de resistência à penetração foram os menores dentre todos os sistemas, estando compreendidos na classe moderada (Tabela 2.8). Considerando que este sistema é um plantio convencional recente após longo tempo de uso sob pastagens, verifica-se que as operações de revolvimento do solo contribuíram para diminuir a resistência à penetração na faixa de trabalho dos implementos, eliminando a camada de alta resistência observada no sistema PAS. O sistema PDS, por sua vez, apresentou,

até os 10 cm de profundidade, valores de resistência à penetração de 2,0 MPa, limite entre as classes moderada e alta (Tabela 2.8). A partir desta camada, os valores aumentaram até atingir 3,1 MPa aos 15 cm, havendo progressivo decréscimo a partir dos 20 cm até os 40 cm de profundidade, quando retornaram a 2,0 MPa. Essa tendência de aumento da resistência à penetração foi observada em plantio direto de longa duração por Silva, Curi e Blancaneaux (2000), com valores da ordem de 2,6 MPa na camada de 5-20 cm. A alta resistência à penetração observada no PDS até os 45 cm de profundidade poderia constituir um problema de restrição ao aprofundamento das raízes, o que se torna bastante relevante, considerando que este é um sistema de sequeiro. No entanto, as plantas em sistemas de plantio direto suportam valores mais altos de resistência à penetração, uma vez que o sistema radicular aproveita canais deixados por raízes decompostas e minhocas, conforme observado por Ehlers, Kopke, Hesse et al. (1983). No presente estudo, os valores de resistência à penetração no PDS não se aproximaram do limite de 5 MPa verificado por aqueles autores para sistemas sem movimentação de solo.

TABELA 2.8 Classes de resistência do solo 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

FONTE: Soil Survey Staff (1993), citado por Arshad, Lowery e Grossman (1996)

Verifica-se, neste trabalho, que nem sempre os valores de resistência à penetração estiveram relacionados com os de densidade do solo, uma vez que o sistema pastagem (PAS), apesar dos maiores valores de resistência à penetração na camada superficial (0-10 cm), não apresentou a maior densidade do solo nessa faixa de profundidade (Tabela 2.2). O mesmo comportamento foi observado com relação ao plantio direto de sequeiro (PDS), nas camadas de 10-20 cm e 20-40 cm. Cavenage, Moraes, Alves et al. (1999) verificaram menores valores de resistência à penetração para um sistema de plantio convencional, em relação ao cerrado nativo, para todas as profundidades estudadas, mesmo com maior densidade do solo no sistema convencional na camada de 10-40 cm, em trabalho conduzido num Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa a média. Outros autores, ao contrário, observaram que os valores de resistência à penetração foram diretamente proporcionais aos de densidade do solo (Rosolem, Fernandez, Andreotti et al., 1999).

2.3.5 Agregação do solo e carbono orgânico total

Os teores de carbono orgânico total para os sistemas de manejo em estudo são apresentados na Tabela 2.9, sendo interpretados com relação à sua influência no processo de agregação do solo.

Para todos os sistemas, os maiores teores de carbono orgânico foram observados na camada superficial (0-10 cm), exceto para os sistemas convencionais de longa duração (PCS e PCI 1), que mantiveram valores baixos distribuídos de maneira uniforme ao longo do perfil do solo. Dentre os sistemas de manejo, houve diferença significativa apenas na camada de 0-10 cm, na qual os menores teores de carbono orgânico foram relativos ao sistema convencional de sequeiro (PCS), e os maiores, ao cerrado nativo, pastagem e sistemas de plantio direto irrigado. Nas demais camadas, não foram verificadas diferenças significativas entre os sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico total.

TABELA 2.9 Carbono orgânico total em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	CO (g kg⁻¹)		
CER	18,5 a A	12,0 a B	8,5 a B
PAS	18,8 a A	15,3 a AB	12,3 a B
PDI 1	19,8 a A	12,8 a B	8,5 a B
PDI 2	19,0 a A	14,3 a AB	11,5 a B
PDS	16,5 ab A	13,3 a AB	10,8 a B
PCI 1	14,5 ab A	12,5 a A	10,3 a A
PCI 2	16,5 ab A	11,8 a AB	9,0 a B
PCS	9,8 b A	8,8 a A	8,5 a A
C.V. Sistema	(%)	27,6	
C.V. Geral	(%)	15,0	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Os resultados obtidos para o diâmetro médio geométrico (DMG) são apresentados na Tabela 2.10. Os valores de DMG variaram de 2,63 mm para o plantio convencional de sequeiro (PCS), nas profundidades de 10-20 cm e 20-40 cm, até 4,65 mm para o sistema pastagem (PAS), na camada de 0-10 cm. Sobre o DMG, houve efeito significativo tanto do sistema de manejo como da profundidade (Tabela 2A).

Independentemente do sistema, os maiores valores de diâmetro médio geométrico foram observados na camada de 0-10 cm, e os menores, na de 20-40 cm (Tabela 2.10), guardando relação com os teores mais elevados de matéria orgânica, observados, em geral, na camada superficial (Tabela 2.9), e seu efeito benéfico na agregação do solo, conforme verificado em trabalhos conduzidos

anteriormente (Silva e Mielniczuk, 1997a; Silva, Blancaneaux, Curi et al., 1998; Castro Filho, Muzilli e Podanoschi, 1998; Beutler, Silva, Curi et al., 2001b).

Dentre os sistemas de manejo, o cerrado nativo (CER) apresentou, em média, o maior diâmetro médio geométrico (DMG), correspondendo a 4,55 mm, e o plantio convencional de sequeiro (PCS), o menor, com o valor de 2,71 mm (Tabela 2.10). Os valores de DMG nos sistemas pastagem (PAS), plantio direto irrigado (PDI 1 e PDI 2) e convencional irrigado recente (PCI 2) variaram entre 4,19 e 4,52 mm, não diferindo estatisticamente do cerrado nativo. Em Latossolo Vermelho-Escuro, foram encontrados valores de DMG para solos sob vegetação de cerrado e pastagem de *Brachiaria sp* equivalentes a 4,38 mm e 3,30 mm, respectivamente em trabalho de Silva, Blancaneaux, Curi et al. (1998).

TABELA 2.10 Diâmetro médio geométrico em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-40	
	DMG (mm)			
CER	4,64	4,62	4,39	4,55 a
PAS	4,65	4,42	4,48	4,52 ab
PDI 1	4,36	4,38	3,84	4,19 ab
PDI 2	4,54	4,38	3,85	4,25 ab
PDS	4,21	3,67	3,36	3,75 bc
PCI 1	3,42	3,15	3,04	3,20 cd
PCI 2	4,25	4,56	4,41	4,41 ab
PCS	2,86	2,63	2,63	2,71 d
Média	4,12 A	3,98 AB	3,75 B	
C.V. Sistema	(%)	12,2		
C.V. Geral	(%)	9,3		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Os valores elevados de DMG nas áreas sob cerrado nativo e plantio direto irrigado estão relacionados aos teores elevados de carbono orgânico total e, na pastagem, ao efeito do sistema radicular das gramíneas na agregação do solo, que também contribui para maiores teores de carbono orgânico (Tabela 2.9). Estas considerações corroboram resultados obtidos anteriormente (Silva e Mielniczuk, 1997a,b, 1998; Castro Filho, Muzilli e Podanoschi, 1998; Silva, Blancaneaux, Curi et al., 1998; Campos, Reinert, Nicolodi et al., 1999).

O menor diâmetro médio geométrico (DMG) encontrado no plantio convencional de sequeiro (PCS) decorre da pulverização do solo e do aumento da taxa de oxidação da matéria orgânica, pelo uso excessivo de implementos no preparo do solo (Silva, Curi e Blancaneaux, 2000; Beutler, Silva, Curi et al., 2001b), o que está de acordo com os baixos teores de carbono orgânico neste sistema (Tabela 2.9). Ainda que a textura menos argilosa no PCS (Tabela 2.1) possa contribuir para a manutenção de teores mais baixos de carbono orgânico no solo, uma vez que existe uma proteção física da matéria orgânica do solo pelas partículas da fração argila (Noordwijk, Cerri, Woormer et al., 1997), a composição granulométrica não pode ser considerada o único fator envolvido na estabilidade de agregados, já que o solo sob plantio direto de sequeiro (PDS), também de textura média, apresentou um valor intermediário de DMG, significativamente menor apenas que o observado no sistema cerrado (CER), indicando a influência do manejo na estabilidade de agregados.

O DMG observado para um dos sistemas convencionais (PCI 2) foi muito elevado, não diferindo daquele relativo ao cerrado nativo (CER), o maior dentre todos os sistemas. O histórico de uso do PCI 2 reflete um plantio convencional recente, com apenas 3 cultivos agrícolas após longo uso com pastagem de *Brachiaria sp* (Tabela 1.2). Os resultados sugerem que o tempo de cultivo sob sistema convencional não tenha sido suficiente para alterar o efeito estável de agregação obtido pela ação contínua do sistema radicular da gramínea

Dentre os sistemas de manejo, o cerrado nativo (CER) apresentou o maior valor de % agregados > 2 mm, do qual não diferiram os valores dos sistemas pastagem (PAS), plantio direto (PDI 1, PDI 2 e PDS) e plantio convencional recente após longo uso com pastagens (PCI 2) (Tabela 2.11). O menor valor para a % agregados > 2 mm foi observado no plantio convencional de sequeiro (PCS), o que encontra relação com a quebra dos agregados maiores em frações menores durante as operações de movimentação de solo, com conseqüente redução de sua estabilidade (Da Ros, Secco, Fiorin et al., 1997; Silva, Curi e Blancaneaux, 2000; Beutler, Silva, Curi et al., 2001b).

Os resultados obtidos para a porcentagem de agregados menores que 0,25 mm são apresentados na Tabela 2.12. Não foi verificado efeito significativo da profundidade sobre este atributo (Tabela 2A), sendo observados, independentemente do sistema de manejo, valores uniformes ao longo das camadas estudadas.

Com relação ao efeito do manejo, os sistemas convencionais de longa duração (PCI 1 e PCS) apresentaram os maiores valores da % agregados < 0,25 mm, da ordem de 6,4 a 7,0%, em média (Tabela 2.12), indicando concentração de agregados nas classes de menor tamanho, o que concorda com resultados obtidos em trabalhos anteriores (Castro Filho, Muzilli e Podanoschi, 1998; Palmeira, Pauletto, Teixeira et al., 1999). Os menores valores de % agregados < 0,25 mm foram observados nos sistemas cerrado nativo (CER), pastagem (PAS) e plantio convencional recente após pastagem (PCI 2), variando de 0,9 a 1,6%, dos quais não diferiram os relativos ao plantio direto irrigado (PDI 1 e PDI 2), que foram da ordem de 1,9% de agregados menores que 0,25 mm. O plantio direto de sequeiro (PDS) apresentou valor de 3,6% para a porcentagem de agregados < 0,25 mm, estando numa situação intermediária, estatisticamente diferente dos valores extremos.

(Silva, Blancaneaux, Curi et al., 1998), uma vez que o elevado DMG no PCI 2 contrasta com os observados nas áreas convencionais de longa duração (PCI 1 e PCS), que foram os menores dentre os sistemas.

Os resultados obtidos para a porcentagem de agregados maiores que 2 mm (% agregados > 2 mm) são apresentados na Tabela 2.11. Foi observado efeito significativo de sistema e profundidade sobre a % agregados > 2 mm (Tabela 2A).

Com relação ao efeito de profundidade, a % agregados > 2 mm foi influenciada de modo semelhante ao diâmetro médio geométrico (DMG), com valores maiores à superfície (0-10 cm e 10-20 cm) em decorrência da maior agregação nas camadas superiores. Os motivos relacionados a este comportamento foram anteriormente discutidos.

TABELA 2.11 Porcentagem de agregados maiores que 2 mm para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-40	
	> 2 mm (%)			
CER	97,5	96,4	93,8	95,9 a
PAS	97,3	94,2	94,7	95,4 ab
PDI 1	94,1	94,8	89,1	92,7 ab
PDI 2	96,7	94,8	88,4	93,3 ab
PDS	93,8	86,7	81,9	87,5 ab
PCI 1	85,1	84,4	78,8	82,8 bc
PCI 2	93,3	96,8	95,3	95,1 ab
PCS	76,9	71,8	71,2	73,3 c
Média	91,8 A	90,0 A	86,7 B	
C.V. Sistema	(%)	8,8		
C.V. Geral	(%)	5,2		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

TABELA 2.12 Porcentagem de agregados menores que 0,25 mm para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-40	
	< 0,25 mm (%)			
CER	1,0	0,6	1,1	0,9 c
PAS	0,8	0,9	0,9	0,9 c
PDI 1	1,4	1,5	3,0	1,9 bc
PDI 2	1,4	1,6	2,6	1,9 bc
PDS	2,7	3,4	4,9	3,6 b
PCI 1	5,2	8,4	5,9	6,4 a
PCI 2	2,0	1,2	1,6	1,6 c
PCS	7,3	7,6	6,2	7,0 a
C.V. Sistema	(%)	22,9		
C.V. Geral	(%)	25,0		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Apesar de terem sido verificadas diferenças significativas entre os sistemas de manejo no que diz respeito à porcentagem de agregados menores que 0,25 mm, deve-se considerar que, em se tratando de solos com avançado estado de intemperismo, como os latossolos do Planalto Central brasileiro, os valores deste índice são bastante baixos (o maior valor foi de apenas 7,0%, em média, para o sistema convencional de sequeiro), a partir dos quais se torna mais conveniente utilizar o diâmetro médio geométrico e a porcentagem de agregados maiores que 2 mm na expressão da estabilidade de agregados, nestas condições. No presente estudo, a elevada agregação do solo, observada através dos valores apresentados nas Tabelas 2.10 e 2.11, pode ser associada aos aspectos mineralógicos do solo, conforme proposição de Ferreira, Fernandes e Curi (1999). De acordo com os autores, os óxidos de alumínio desempenham

importante papel no comportamento dos atributos físicos associados à estrutura dos latossolos brasileiros. Apesar dos valores de K_i e K_r indicarem um aspecto caulínítico-sesquioxídico para o Latossolo Vermelho-Escuro estudado (segundo Resende e Santana, 1988), existe predominância de gibbsita sobre caulinita (Tabela 3A), o que pode ajudar a explicar a elevada estabilidade de agregados deste solo. Esta condição está sendo negativamente alterada, conforme discutido anteriormente, com a adoção de sistemas de manejo de longa duração com intensa movimentação de solo (PCS e PCI 1).

Nota-se a existência de três situações distintas no que se refere à estabilidade de agregados: o grupo de solos composto pelo cerrado nativo (CER), pastagem (PAS) e sistemas de plantio direto irrigado (PDI 1 e PDI 2) apresentou os melhores índices de estabilidade de agregados em água. Neste grupo se inclui uma área sob sistema convencional com histórico de uso com pastagem por longo tempo em anos anteriores (PCI 2), sugerindo efeito mais duradouro da ação benéfica da gramínea na agregação do solo, concordando com resultados de Silva, Blancaneaux, Curi et al. (1998). No extremo oposto, localizam-se os sistemas de plantio convencional de longa duração, na condição irrigada (PCI 1) e de sequeiro (PCS). Este último não apresentou boas condições de agregação, o que está de acordo com resultados anteriores sobre sistemas convencionais (Campos, Reinert, Nicolodi et al., 1995; Castro Filho, Muzilli e Podanoschi, 1998; Beutler, Silva, Curi et al., 2001b). Entre estes dois grupos, está a área sob plantio direto de sequeiro (PDS) que, apesar de não apresentar os mesmos níveis de agregação dos sistemas sob cerrado nativo, pastagem e plantio direto irrigado, é superior ao plantio convencional de sequeiro.

Uma vez que o diâmetro médio geométrico e a porcentagem de agregados maiores que 2,00 mm apresentaram boa performance em indicar alterações decorrentes da adoção de sistemas de manejo distintos em relação à condição de equilíbrio representada pelo cerrado nativo, sugere-se que os

mesmos sejam potenciais componentes físicos de um índice de qualidade do solo para a região.

Os resultados obtidos na determinação do índice de floculação do solo são apresentados na Tabela 2.13. Não foi verificado efeito significativo da profundidade sobre o índice de floculação, apenas dos sistemas de manejo (Tabela 2A).

O índice de floculação (IF) foi maior nos sistemas de plantio direto PDS e PDI 2 em relação ao plantio convencional de sequeiro (PCS), com valores da ordem de 86 a 88% para os primeiros e 65% para o último. O IF dos demais sistemas de manejo não diferiu estatisticamente destes extremos, tendo variado entre 79 e 82%. O baixo IF do solo sob o sistema PCS está associado à menor agregação deste solo, observada através dos valores apresentados de DMG e porcentagem de agregados maiores que 2 mm (Tabelas 2.10 e 2.11).

TABELA 2.13 Índice de floculação para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)			Média
	0-10	10-20	20-40	
	IF (%)			
CER	72	82	88	81 ab
PAS	80	88	79	82 ab
PDI 1	76	83	76	79 ab
PDI 2	88	89	82	86 a
PDS	84	86	93	88 a
PCI 1	76	78	86	80 ab
PCI 2	85	85	75	82 ab
PCS	64	71	59	65 b
C.V. Sistema	(%)	15,3		
C.V. Geral	(%)	11,0		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

2.3.6 Correlações entre carbono orgânico total e índices de agregação

Os trabalhos de avaliação da qualidade do solo desenvolvidos na região do Cerrado têm verificado relações entre o teor de carbono orgânico do solo e atributos físicos usados como indicadores (Amado, Reinert, Reichert et al., 1999; Silva, Curi, Beutler et al., 1999; Alcântara e Ferreira, 2000; Beutler, Silva, Curi et al., 2001b). Buscando verificar o grau de dependência entre o carbono orgânico total e os índices de agregação avaliados, procedeu-se à análise de correlação entre os mesmos. Os resultados são apresentados na Tabela 2.14.

Na camada de 0-10 cm, o carbono orgânico total apresentou coeficiente de correlação positivo e altamente significativo com o diâmetro médio geométrico (DMG) e a porcentagem de agregados maiores que 2 mm, e negativo e altamente significativo com a porcentagem de agregados menores que 0,25 mm, concordando com resultados obtidos por Alcântara e Ferreira (2000), que destacaram a importância da matéria orgânica na estabilidade dos agregados, em estudos de qualidade do solo.

TABELA 2.14 Coeficientes de correlação entre o carbono orgânico total e índices de agregação para Latossolo Vermelho-Escuro submetido a oito sistemas de manejo em três profundidades

Atributo	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
CO DMG	0,947 ***	0,606 ns	0,169 ns
CO % > 2 mm	0,949 ***	0,671 *	0,165 ns
CO % < 0,25 mm	-0,963 ***	-0,570 ns	-0,146 ns

ns: não significativo;

* significativo a 5 % pelo teste t;

** significativo a 1 % pelo teste t;

*** significativo a 0,1 % pelo teste t

Na profundidade de 10-20 cm, o teor de carbono orgânico apresentou coeficiente de correlação significativo apenas com a porcentagem de agregados maiores que 2 mm; na camada de 20-40 cm, não houve correlações significativas entre os índices de estabilidade de agregados e o carbono orgânico, concordando com as afirmativas de alguns autores de que nem sempre essas relações se estabelecem (Silva e Mielniczuk, 1997a; Campos, Reinert, Nicolodi et al., 1999). Os resultados tornam evidente a importância da matéria orgânica para a agregação nas camadas superficiais do solo.

Desse modo, verifica-se que coeficientes de correlação altamente significativos foram observados entre o carbono orgânico total e os atributos físicos que apresentaram a melhor performance em indicar alterações decorrentes da adoção de sistemas de manejo distintos em relação ao cerrado nativo (os índices de estabilidade de agregados, conforme discussão apresentada anteriormente). Considerando esta situação e a facilidade de determinação do carbono orgânico total em laboratório, pode-se sugerir que este atributo seja usado concomitante ou alternativamente (na impossibilidade de determinação destes) aos índices de estabilidade de agregados, em estudos de qualidade do solo, e que, do mesmo modo, seja incluído como componente potencial de um índice de qualidade do solo a ser desenvolvido para a região em estudo.

2.4 CONCLUSÕES

- 1. Os sistemas plantio direto irrigado, pastagem e plantio convencional recente após pastagem não causaram alterações significativas nos atributos físicos do solo em relação ao cerrado nativo, com exceção da resistência à penetração no sistema pastagem;**
- 2. Os sistemas convencionais de longa duração reduziram a estabilidade de agregados em relação ao cerrado nativo, com decréscimo na qualidade do solo;**
- 3. O diâmetro médio geométrico, a porcentagem de agregados maiores que 2 mm e a porcentagem de agregados menores que 0,25 mm foram os atributos físicos com melhor performance em indicar alterações decorrentes da adoção de sistemas de manejo distintos em relação ao cerrado nativo;**
- 4. O diâmetro médio geométrico, a porcentagem de agregados maiores que 2 mm e o carbono orgânico total são sugeridos como componentes potenciais de um índice de qualidade do solo para a região em estudo.**

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, E.N.; FERREIRA, M.M. Efeitos de métodos de controlo de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.4, p.711-721, out./dez. 2000.
- ALLISON, F.E. Soil organic matter and its role in crop production. Amsterdam: Elsevier, 1973. p.315-345.
- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, n.2, p.319-326, maio/ago. 1996.
- AMADO, T.J.C.; REINERT, J.M.; REICHERT, M.; AITA, C. Soil quality of very fragile sandy soils from South Brazil. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION CONFERENCE, 10., 1999, West Lafayette. Abstracts ... West Lafayette, Indiana: USA, 1999. p.56.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, R. Physical Tests for Monitoring Soil Quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science society of America, 1996. (SSSA Special Publication, 49).
- BELTRAME, L.F.S.; GONDIM, L.A.P.; TAYLOR, F.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.5, n.3, p.145-149, set./dez. 1981.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.1, p.167-177, jan./mar. 2001a.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; CRUZ, J.C. Agregação de Latossolo Vermelho Distrófico Típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.1, p.129-136, 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.** Particle density. In: **KLUTE, A. (ed.).** *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.377-382.
- BLANCANEUX, Ph.; KER, J.C.; SILVA CHAGAS, C. da; CARVALHO FILHO, A. de; CARVALHO, A. M.; FREITAS, P. L. de; AMABILE, R. F.; CARVALHO Jr., W. de; MOTTA, P.E.F. da; DARK DA COSTA, L.; PEREIRA, N.R.; LIMA, E.M.B.** Organização e funcionamento da cobertura pedológica. In: **BLANCANEUX, P. (ed.)** *Interações ambientais no cerrado – Microbacia Piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil*. Brasília : EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro : EMBRAPA- CNPS, 1998. cap.5, p.145-204.
- BRADFORD, J.M.** Penetrability. In: **KLUTE, A.** *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.463-478.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C.** Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.2, p.383-391, abr./jun. 1999.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.** Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, n.1, p.121-126, jan./abr. 1995.
- CARVALHO, E.J.M.; FIGUEIREDO, M. de S.; COSTA, L.M. da.** Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.2, p.257-265, fev. 1999.
- CARVALHO JÚNIOR, I.A.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M.** Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas, e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região do Cerrado.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.3, p.505-514, jul./set.1998.

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, jul./set.1998.

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

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.2, p.289-298, fev. 1999.

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.

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

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.

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

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. Soil Tillage Research, Amsterdam, v.3, p.261-275, 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212p.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, n.3, p.515-524, jul./set. 1999.

GOSS, M.J.; REID, J.B. Influence of perennial ryegrass roots on aggregate stability. Agriculture Research Council Letcombe Laboratory Annual Report, p. 24-25, 1979.

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

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, v.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, 2000.


JOSÉ, M.R. Atributos físicos de Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo na região de Lavras-MG. Lavras: UFLA, 2000. 58p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (SSSA Special Publication, 35).

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

KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Piracicaba: ESALQ, 1998. 150p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. cap.3, p.37-51. (SSSA Special Publication, 35).
- LIMA, J.M.; CURI, 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.
- MANRIQUE, L.A.; JONES, C.A. Bulk density of 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.
- MEHRA, O.P. JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v.3, p.317-327, 1960.
- MUNSELL soil color charts. Rev. ed. New Windsor: Kollmorgen Instruments - Macbeth Division, 1994. Não paginado.
- NOORDWIJK, M. van; CERRI, C.; WOOMER, P.L.; NUGROHO, K.; BERNOUX, M. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n.1/4, p.187-225, Sept. 1997.
- 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; CURI, N.; FREIRE, J.C. Influência do cultivo na agregação de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.317-322, set./dez.1983.
- PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Agregação de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.189-195, abr./jun. 1999.
- PROJETO RADAMBRASIL. Folha SE. 22. Goiânia: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 768p.



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

RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação dos latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS/SBCS, 1988. p.225-232.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, maio 1999.

SILVA, I. de F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.113-117, jan./mar. 1997a.

SILVA, I. de F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.313-319, abr./jun. 1997b.

SILVA, I. de F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p.311-317, abr./jun. 1998.

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

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BEUTLER, A.N.; PEREIRA FILHO, I.A. Physical indicators of soil quality on management systems from Cerrado Region in Minas Gerais State, Brazil. In: **INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION CONFERENCE**, 10., 1999, West Lafayette. **Abstracts ...** West Lafayette, Indiana: USA, 1999. p.57.

- SILVA, M.L.N.; CURI, 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, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.** Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.1, p.191-199, jan./mar. 2000.
- 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. 8p. (Série penetrômetro de impacto – Boletim, 1).
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M.** Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.2, p.301-309, abr./jun. 1998.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A.** An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, Baltimore, v.37, p.29-38, Jan./June 1934.

CAPÍTULO 3

ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO NO SUL DE GOIÁS

RESUMO

No ambiente do Cerrado, estudos de qualidade do solo envolvendo sistemas de manejo e aspectos microbiológicos são escassos. O presente trabalho teve por objetivo verificar alterações em atributos químicos e bioquímicos indicadores da qualidade do solo e no estoque de carbono, em decorrência da adoção de sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo, e selecionar os atributos com melhor performance em indicar tais alterações. Foram coletadas amostras nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, num Latossolo Vermelho-Escuro, em Morrinhos e Caldas Novas - GO. Foram avaliados: carbono orgânico total, expresso com base na massa total de solo (CO) e no conteúdo de argila + silte (CO_{a,s}), carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), atividade microbiana e estoque de carbono orgânico. Os sistemas de manejo consistiram de: (1) cerrado nativo; (2) pastagem; (3) plantio direto irrigado; (4) plantio direto irrigado com histórico de gradagem superficial; (5) plantio direto de sequeiro; (6) plantio convencional irrigado; (7) plantio convencional irrigado recente após pastagem; (8) plantio convencional de sequeiro. As alterações mais expressivas nos atributos químicos e bioquímicos avaliados ocorreram na camada superficial do solo, na qual os sistemas convencionais de longa duração reduziram o CO_{a,s} e todos os sistemas reduziram o C_{mic}, em relação ao cerrado nativo. Dentre os sistemas com interferência humana, o C_{mic} foi maior na pastagem e menor no convencional irrigado de longa duração. Não houve diferença significativa no estoque de carbono dos sistemas avaliados em relação ao cerrado nativo. O maior estoque de carbono orgânico foi verificado nos sistemas plantio direto irrigado e pastagem, e o menor, no convencional de sequeiro de longa duração. O CO_{a,s} e o C_{mic} apresentaram boa performance em indicar alterações em relação ao cerrado nativo, sendo sugeridos como componentes potenciais de um índice de qualidade do solo para a região.

ABSTRACT

Soil quality studies involving management systems and microbial aspects are scarce in the Cerrado region, Brazil. The objectives of this research was: i) to assess alterations in chemical and biochemical soil quality indicators and in the organic carbon storage due to the adoption of different management systems as opposed to the native Cerrado, and ii) to select attributes with a better performance in indicating such alterations. Samples from different layers (0-10, 10-20, and 20-40 cm) of Dark-Red Latosols from Morrinhos and Caldas Novas (GO) were collected for evaluation of the following soil attributes: total organic carbon, expressed on a total soil mass (TOC) and on a clay+silt content basis (TOCc,s); microbial biomass carbon (Cmic); microbial activity, and carbon storage. The management systems consisted of: (1) native Cerrado; (2) pasture; (3) irrigated no-till; (4) irrigated no-till with report of surface plowing; (5) no-till; (6) long term irrigated conventional tillage; (7) recently irrigated conventional tillage after pasture; (8) long term conventional tillage. The most expressive alterations in the chemical and biochemical soil attributes occurred in the upper layer of the soil, with long-term conventional systems reducing the TOCc,s, whereas all management systems reduced the Cmic, when compared with the native Cerrado. Among the systems with human interference, Cmic was larger in the pasture and smaller in the long-term irrigated conventional system. There was no significant difference in the organic carbon storage in the evaluated systems, when compared with the native Cerrado. Nevertheless, the greatest organic carbon storage was verified in irrigated no-till systems and in the pasture and the smallest, in the long-term conventional tillage. Due to their good performance in indicating alterations, TOCc,s, and Cmic are suggested as potential components of a soil quality index for the area.

3.1 INTRODUÇÃO

A transformação de sistemas naturais em áreas agrícolas constitui, nas regiões tropicais, uma importante causa do aumento da concentração de CO₂ atmosférico, o que está relacionado a alterações climáticas globais (Scholes e Breemen, 1997). No Cerrado brasileiro, grande parte da vegetação original foi devastada, principalmente nas chapadas, para ceder lugar a áreas de pastagem ou culturas anuais. Estudos a respeito do carbono orgânico do solo e da quantidade e atividade da biomassa microbiana sob diferentes sistemas de manejo agrícola fornecem subsídios importantes para o planejamento de uso da terra.

O teor de carbono orgânico num solo em equilíbrio é função da relação entre o carbono adicionado e a sua taxa de decomposição, sendo que as adições são proporcionais à taxa de conversão da matéria orgânica fresca em carbono orgânico do solo (Siqueira e Franco, 1988). Em solos sob vegetação natural, o balanço entre as adições e perdas de carbono leva a um estado de equilíbrio dinâmico, no qual praticamente não existe variação no teor de carbono orgânico com o tempo (Bayer e Mielniczuk, 1999). No entanto, na conversão da vegetação natural em áreas agrícolas, verifica-se, em geral, nas regiões tropicais, uma rápida perda de carbono orgânico do solo, em decorrência da combinação entre calor e umidade, que facilitam a decomposição (Scholes e Breemen, 1997). Em áreas sob vegetação de cerrado, tem-se observado menor redução no teor de carbono orgânico a partir de intervenções antrópicas do que em solos sob mata (Tognon, Demattê e Mazza, 1997). Contudo, o comportamento do solo em relação ao carbono orgânico pode variar em função das características do sistema de manejo adotado.

Aumentos nos teores de carbono orgânico do solo em relação à vegetação de cerrado nativo têm sido verificados na implementação de sistemas de pastagens e plantio direto, que atuam como depósito de carbono atmosférico,

ao contrário de sistemas convencionais, caracterizados pelo revolvimento sistemático do solo (Corazza, Silva, Resck et al., 1999). Menores perdas totais de nutrientes e matéria orgânica têm sido verificadas no sistema de plantio direto pela sua eficácia no controle da erosão (Hernani, Kurihara e Silva, 1999). Estimativas das taxas de adição e decomposição de carbono orgânico mostram que os sistemas de plantio direto apresentam menor taxa de decomposição anual do que os convencionais, e que existe uma grande variação nas quantidades de carbono orgânico efetivamente adicionadas ao solo, em função da existência de diferentes esquemas de rotação e sucessão de culturas (Bayer, 1996). Em amplo estudo sobre o estoque de carbono orgânico, conduzido em solos do estado de São Paulo (Latosolo Roxo, principalmente) sob diversos tipos de vegetação natural (cerrado, cerradão e floresta) e cultivo agrícola, foi constatado que o conteúdo de carbono na camada superficial do solo (0-20 cm) está fortemente correlacionado com a soma das frações argila e silte (Lepsch, Menk e Oliveira, 1994). A fração argila foi apontada por Noordwijk, Cerri, Woormer et al. (1997) como um fator de proteção à matéria orgânica, afetando o conteúdo de carbono orgânico nas camadas superficiais do solo.

A parte viva da matéria orgânica do solo é composta pela biomassa microbiana, que representa de 2 a 4% do carbono orgânico total nos solos tropicais (Feigl, Sparling, Ross et al., 1995), e é responsável pela ciclagem de nutrientes e energia e pela regulação das transformações da matéria orgânica do solo (Turco, Kennedy e Jawson, 1994), em que adquire grande importância devido ao reduzido tempo médio de vida dos microrganismos que a compõem, em torno de 0,25 anos (Duxbury, Smith e Doran, 1989, citados por Mielniczuk, 1999). Determinações da biomassa microbiana permitem estimar o potencial microbiano do solo e avaliar substâncias relacionadas à quantidade de elementos essenciais para microrganismos e vegetais, sendo que estes conhecimentos são úteis para o entendimento das bases de funcionamento do sistema solo-planta

(Grisi, 1996). Por apresentar respostas rápidas a alterações no solo, a biomassa microbiana pode funcionar como identificador precoce de alterações na matéria orgânica do solo (Rice, Moorman e Beare, 1996).

Em sistemas agrícolas, valores mais elevados de carbono da biomassa microbiana têm sido verificados nos sistemas de plantio direto em relação aos convencionais (Balota, Colozzi-Filho, Andrade et al., 1998; Vargas e Scholles, 2000), uma vez que a biomassa microbiana imobiliza mais carbono quando resíduos vegetais são deixados à superfície (Vasconcellos, Campolina, Santos et al., 1999). Em sistemas florestais, o carbono da biomassa foi considerado indicador sensível da dinâmica de carbono no solo (Gama-Rodrigues, Gama-Rodrigues e Barros, 1997).

A respiração basal, estimada pela liberação de C-CO₂, representa a atividade heterotrófica do solo, sendo que as medições realizadas a partir de amostras em laboratório estão relacionadas ao potencial de liberação do carbono lábil ou prontamente metabolizável (Doran e Parkin, 1996). Valores elevados de respiração indicam aumento na atividade dos microrganismos, apesar de nem sempre refletirem aumento da biomassa microbiana total (Andrade, Colozzi-Filho, Pavan et al., 1995). A interpretação da atividade biológica deve ser feita com critério, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis, pois uma taxa elevada de respiração significa, a curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas, e a longo prazo, perda de carbono orgânico do solo (Parkin, Doran e Franco-Vizcaino, 1996). No plantio direto, aumentos na respiração têm sido justificados pelo acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis à superfície (Vargas e Scholles, 2000). O quociente metabólico ou $q\text{CO}_2$ (C-CO₂ produzido em uma hora por unidade de biomassa microbiana) é um importante componente na avaliação dos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a atividade microbiana no solo (Insam, Mitchell e Dormaar, 1991). Em solos sob uso florestal, o $q\text{CO}_2$ foi considerado um

indicador sensível para estimar o potencial de decomposição da matéria orgânica (Gama-Rodrigues, Gama-Rodrigues e Barros, 1997).

Considerando que são escassos estudos relacionando aspectos microbiológicos com alterações decorrentes do emprego de diferentes sistemas de manejo agrícola no ambiente do Cerrado, constata-se a necessidade de ampliação do banco de dados existente. Neste sentido, a avaliação de atributos indicadores da qualidade do solo pode constituir importante contribuição para o planejamento e monitoramento do solo em áreas modificadas pelo uso agrícola a partir da vegetação de cerrado nativo.

Com base nas considerações feitas, foram formuladas as seguintes hipóteses de trabalho: (a) diferentes sistemas de manejo adotados no sul de Goiás alteram alguns atributos químicos e bioquímicos indicadores da qualidade do solo em relação à situação de cerrado nativo; (b) a intensidade dessas alterações varia em função do tempo de adoção e das características de cada sistema de manejo; (c) alguns atributos apresentam melhor performance em indicar alterações decorrentes da adoção de sistemas de manejo distintos, podendo ser sugeridos como potenciais componentes de um índice de qualidade do solo; (d) diferentes sistemas de manejo alteram o estoque de carbono orgânico do solo, apresentando comportamento distinto no que se refere ao acúmulo ou perda de carbono em relação à condição de equilíbrio representada pelo cerrado nativo.

O objetivo deste estudo foi verificar alterações em alguns atributos químicos e bioquímicos indicadores da qualidade do solo (carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana e atividade da biomassa microbiana) e no estoque de carbono orgânico, em decorrência da adoção de diferentes sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo, e selecionar os atributos com melhor performance em indicar tais alterações, em Latossolo Vermelho-Escuro da região sul do estado de Goiás.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local, solo, tratamentos e análise estatística

Os locais de amostragem, o solo estudado, o histórico das áreas selecionadas e a análise estatística aplicada no experimento estão descritos no item 1.3 (Materiais e Métodos Gerais – Capítulo 1).

3.2.2 Análises de laboratório

As amostras de solo foram coletadas com uso de trado, secas ao ar e passadas na peneira de 2 mm para análises na terra fina. Avaliou-se o carbono orgânico total (CO) por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley e Black, 1934). Os teores de carbono orgânico total foram expressos também com base na soma do conteúdo das frações argila e silte, conforme correção proposta por Lepsch, Menk e Oliveira (1994), segundo a expressão:

$$CO_{a,s} = CO / (1 - \text{areia}),$$

onde $CO_{a,s}$: carbono orgânico total expresso com base no teor de argila + silte ($g\ kg^{-1}$ de argila + silte);

CO: carbono orgânico total ($g\ kg^{-1}$);

areia: teor da fração areia do solo ($g\ kg^{-1}$).

O carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) foi avaliado pelo método da fumigação-extração, após incubação no escuro por 24 h, extração com K_2SO_4 $0,5\ mol\ L^{-1}$, oxidação com $K_2Cr_2O_7$ $0,0667\ mol\ L^{-1}$ e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,0333\ mol\ L^{-1}$ (Vance, Brookes e Jenkinson, 1987).

A taxa de respiração microbiana (respiração basal) foi estimada pelo CO_2 evoluído a partir de 20 g de solo durante incubação por 72 h, com extração através de solução de NaOH $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e titulação com HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (Isermeyer, 1952 citado por Alef e Nannipieri, 1995).

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi calculado através da divisão entre os valores da taxa de respiração basal pela biomassa microbiana (Anderson e Domsch, 1993).

O estoque de carbono orgânico do solo em cada camada considerada no estudo foi calculado através da expressão:

$$\text{EstC} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e)/10,$$

onde EstC: estoque de carbono orgânico na camada estudada (Mg ha^{-1});

CO: teor de carbono orgânico total (g kg^{-1});

Ds: densidade do solo média de cada camada (kg dm^{-3}) (determinação descrita no item 2.2: Material e Métodos - Capítulo 2);

e: espessura da camada estudada (cm).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Carbono orgânico total

Os resultados das análises de carbono orgânico total para oito sistemas de manejo em três profundidades são apresentados na Tabela 3.1. Houve interação significativa entre sistemas de manejo e profundidade sobre os teores de carbono orgânico do solo (Tabela 1B).

Os teores de carbono orgânico total (CO) sofreram influência da profundidade em todos os sistemas de manejo, com exceção daqueles sob cultivo convencional de longa duração (PCI 1 e PCS), que apresentaram valores uniformes de CO em profundidade (Tabela 3.1).

TABELA 3.1 Carbono orgânico total em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	CO (g kg ⁻¹)		
CER	18,5 a A	12,0 a B	8,5 a B
PAS	18,8 a A	15,3 a AB	12,3 a B
PDI 1	19,8 a A	12,8 a B	8,5 a B
PDI 2	19,0 a A	14,3 a AB	11,5 a B
PDS	16,5 ab A	13,3 a AB	10,8 a B
PCI 1	14,5 ab A	12,5 a A	10,3 a A
PCI 2	16,5 ab A	11,8 a AB	9,0 a B
PCS	9,8 b A	8,8 a A	8,5 a A
C.V. Sistema	(%)	27,6	
C.V. Geral	(%)	15,0	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Nos sistemas cerrado (CER), pastagem (PAS), plantio direto (PDI 1, PDI 2 e PDS) e plantio convencional recente após longo uso com pastagem (PCI 2), os maiores teores de carbono orgânico total foram observados na camada de 0-10 cm (Tabela 3.1).

No sistema cerrado (CER), a adição de resíduos orgânicos, pela queda de folhas e material vegetal fresco à superfície, resulta em teores mais elevados de carbono orgânico total (CO) em relação às camadas mais profundas. A ausência de revolvimento contribui para a manutenção do CO neste sistema, uma vez que não há exposição da matéria orgânica protegida fisicamente da ação dos microrganismos (Cambardella e Elliott, 1993). Os teores de CO permanecem elevados pelo contínuo fornecimento de material orgânico na forma de galhos e folhas caídos à superfície, com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, uma vez que a vegetação de cerrado se caracteriza pela existência de vários estratos vegetais (arbóreo, arbustivo e graminóide), desde espécies de árvores com casca espessa a gramíneas rasteiras menos lignificadas (Ker, Blancaneaux, Chagas et al., 1998). Além disso, limitações de ordem nutricional podem contribuir para controlar a atividade de decomposição, apesar de condições mais estáveis de temperatura e umidade existentes no ambiente natural e a proteção da microbiota decorrente da ausência de revolvimento do solo favorecerem a atividade microbiana (Siqueira e Franco, 1988).

Nos três solos sob plantio direto, o maior teor de carbono orgânico total à superfície decorre do fornecimento de material orgânico proveniente de restos culturais e cobertura vegetal dessecada por ação de herbicidas. Além disso, o sistema radicular nos sistemas de plantio direto tende a se concentrar na camada superficial do solo (0-5 cm), na qual são mais intensos e ativos os processos biológicos de transformação da matéria orgânica (Silva, Reinert e Reichert, 2000).

Com relação ao sistema PAS, a alta densidade de raízes e a expressiva liberação de exsudatos radiculares pelas gramíneas (Allison, 1973; Goss e Reid, 1979) contribuem para os maiores teores de carbono orgânico à superfície, concordando com os resultados de Marchiori Júnior e Melo (1999). No caso dos sistemas convencionais, apenas o convencional recente após longo uso com pastagem (PCI 2) apresentou o mesmo comportamento dos sistemas com menor revolvimento, enquanto os convencionais de longa duração (PCI 1 e PCS) apresentaram valores uniformes de carbono orgânico em profundidade, de acordo com tendência apresentada para sistemas convencionais por Corazza, Silva, Resck et al. (1999).

Houve efeito significativo dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total (CO) apenas na camada de 0-10 cm (Tabela 3.1). Nesta profundidade, os menores teores de CO foram observados no plantio convencional de sequeiro (PCS), o que pode estar relacionado à textura menos argilosa do solo neste sistema, já que a fração argila constitui um fator de proteção ao carbono orgânico do solo (Noordwijk, Cerri, Woomer et al., 1997). No entanto, observa-se que o outro sistema em solo de textura média, o plantio direto de sequeiro (PDS), apresentou elevado teor de CO na mesma camada, que não diferiu estatisticamente dos maiores valores determinados, refletindo a influência do manejo sobre o carbono orgânico do solo.

As comparações entre os teores de carbono orgânico do solo podem ser mais bem estabelecidas se este atributo for expresso após ter sido descontada a participação da fração areia, conforme proposto por Lepsch, Menk e Oliveira (1994), devido à elevada correlação com o conteúdo de argila e silte. Os teores de carbono orgânico expressos com base na soma dos conteúdos de argila e silte (CO_{a,s}) são apresentados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 Carbono orgânico total expresso com base na soma dos conteúdos de argila e silte em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	CO_{a,s} (g kg⁻¹)		
CER	34,8 a A	19,7 a B	13,2 a B
PAS	27,5 ab A	22,4 a AB	17,5 a B
PDI 1	28,2 ab A	18,0 a B	12,0 a B
PDI 2	31,1 ab A	22,3 a B	17,2 a B
PDS	32,7 ab A	27,1 a AB	20,7 a B
PCI 1	23,2 b A	19,6 a A	17,1 a A
PCI 2	33,6 ab A	24,0 a B	17,6 a B
PCS	23,2 b A	20,5 a A	21,0 a A
C.V. Sistema	(%)	26,7	
C.V. Geral	(%)	14,2	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Com a expressão dos teores de carbono orgânico total com base na soma das frações argila e silte (CO_{a,s}) (Tabela 3.2), a influência das variações granulométricas dos solos sobre o carbono orgânico é contornada. Verifica-se que, à semelhança de quando o carbono orgânico é expresso com base na massa total de solo (Tabela 3.1), houve efeito significativo dos sistemas de manejo apenas na camada superficial (0-10 cm). Neste caso, porém, não só o sistema convencional de sequeiro (PCS), mas também o convencional irrigado de longa duração (PCI 1), apresentou os mais baixos teores de carbono orgânico (CO_{a,s}), significativamente menores do que os reportados para o cerrado nativo (CER). Com isso, reduções nos teores de carbono orgânico total são identificadas nos sistemas convencionais de longa duração, tanto na condição irrigada quanto na

de sequeiro, em relação à situação de equilíbrio, representada pelo cerrado nativo (CER). Os sistemas pastagem (PAS), plantio direto (PDI 1, PDI 2 e PDS) e convencional recente após longo uso com pastagem (PCI 2) apresentaram teores intermediários de CO₂, que não diferiram estatisticamente do CER.

O menor teor de carbono orgânico nos sistemas PCS e PCI 1 é resultado do excessivo revolvimento do solo por implementos de disco, ocasionando melhores condições de aeração e maior exposição dos resíduos orgânicos incorporados. Com isso, existe rápida oxidação pelos microrganismos do solo, reduzindo os teores de carbono orgânico total. A elevada taxa de decomposição nos solos cultivados, associada à remoção dos produtos pela colheita e perdas de matéria orgânica por erosão, esgotam rapidamente o carbono orgânico do solo (Siqueira e Franco, 1988), o que se torna crítico para os sistemas de sequeiro, uma vez que, no Cerrado, a ausência de irrigação significa impossibilidade de cultivo no inverno seco, com menor aporte de material orgânico ao solo.

No sistema pastagem (PAS), no qual a ação do sistema radicular favorece a atividade microbiana do solo, foram observados elevados teores de carbono orgânico total, que não diferiram dos valores relativos ao cerrado nativo (Tabela 3.2). Em áreas de gramíneas nativas, as adições de carbono são efetuadas principalmente pela queda da parte aérea e morte das raízes, sendo que compostos de elevada estabilidade química, como ácidos húmicos e humina, são lentamente acumulados na fração coloidal do solo (Siqueira e Franco, 1988). No caso do plantio convencional recente (PCI 2), que também apresentou elevado teor de carbono orgânico, é possível que os três cultivos sob manejo convencional a que foi submetido (Tabela 1.2) tenham sido suficientes para oxidar o carbono orgânico dos compostos mais simples e facilmente decomponíveis, mas não das frações intermediárias e mais recalcitrantes, formadas durante o longo tempo em que ficou sob pastagem.

Nos sistemas de plantio direto (PDI 1, PDI 2 e PDS), o maior aporte de resíduos orgânicos depositados à superfície contribui para o aumento dos teores de carbono orgânico do solo, que não diferiram dos valores do cerrado nativo (CER) (Tabela 3.2). A falta de revolvimento nas áreas sob plantio direto também explica este comportamento, uma vez que contribui para uma menor exposição da matéria orgânica à decomposição pelos microrganismos do solo.

3.3.2 Carbono da biomassa microbiana

Os resultados de carbono da biomassa microbiana (Cmic) para oito sistemas de manejo em três profundidades são apresentados na Tabela 3.3.

Houve interação significativa entre sistema de manejo e profundidade sobre os teores de Cmic (Tabela 1B).

TABELA 3.3 Carbono da biomassa microbiana em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	Cmic ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
CER	1309,7 a A	613,4 a B	595,9 a B
PAS	666,2 b A	449,4 a A	316,0 a A
PDI 1	533,9 bc A	318,6 a A	393,3 a A
PDI 2	323,0 bc A	318,0 a A	309,2 a A
PDS	358,8 bc A	282,0 a A	229,1 a A
PCI 1	213,4 c A	211,8 a A	160,8 a A
PCI 2	307,7 bc A	285,9 a A	394,7 a A
PCS	298,6 bc A	394,2 a A	439,7 a A
C.V. Sistema	(%)	46,4	
C.V. Geral	(%)	41,4	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Com relação ao efeito da profundidade, foram observadas diferenças apenas no cerrado nativo (CER), com maiores valores de carbono da biomassa microbiana (Cmic) na camada de 0-10 cm, em relação às subjacentes. Nos demais sistemas, não foram verificadas diferenças significativas nos teores de Cmic em profundidade.

Entre os sistemas de manejo, as diferenças nos valores de carbono da biomassa microbiana (Cmic) foram observadas apenas na camada superficial (Tabela 3.3). O sistema CER apresentou o maior teor de Cmic, atingindo cerca de $1.310 \mu\text{g g}^{-1}$ de solo, sendo superior a todos os sistemas manejados. Resultados semelhantes foram obtidos por Mendes, Carneiro, Carvalho et al. (1999) em Latossolo Vermelho-Amarelo dos Cerrados, textura argilosa, com teores mais elevados de Cmic no solo sob vegetação nativa do que em sistemas cultivados, o mesmo ocorrendo nos estudos de Venzke Filho (1999) em Latossolo Vermelho-Escuro no Paraná. Valores de Cmic mais baixos no sistema pastagem (PAS) em relação ao cerrado nativo (CER) seguem a mesma tendência dos resultados obtidos por Fernandes (1999) em solos da Amazônia. O autor verificou, após a retirada da vegetação nativa e implantação de pastagem, aumento nos teores de Cmic durante os 5 anos iniciais, mantendo-se num patamar de estabilidade até 20 anos, a partir dos quais observou reduções no Cmic, indicando condições de degradação da pastagem.

Nas comparações entre sistemas de manejo com interferência humana, o sistema pastagem (PAS) apresentou valores mais altos de carbono da biomassa microbiana (Cmic) do que o plantio convencional irrigado de longa duração (PCI 1) (Tabela 3.3), corroborando os resultados reportados por Marchiori Júnior e Melo (1999), uma vez que estes autores obtiveram maiores teores de Cmic em solo submetido a pastagens do que sob culturas anuais. Os valores elevados de Cmic no sistema PAS em relação ao PCI 1 estão relacionados a melhores condições oferecidas neste sistema para a atividade microbiana do

solo, pela grande quantidade de raízes superficiais, conforme discutido anteriormente.

Comparando sistemas agrícolas, Balota, Colozzi-Filho, Andrade et al. (1998) verificaram aumento nos teores de carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) no plantio direto em relação a sistemas convencionais, em experimento com 16 anos de duração, do mesmo modo que Carvalho (1997), em experimento de sete anos no sul do Brasil, o que não foi verificado no presente trabalho (Tabela 3.3). Todavia, Mendes, Carneiro, Carvalho et al. (1999) não observaram diferenças significativas no C_{mic} , em solos do Cerrado, entre um sistema de plantio direto com 2 anos de implantação e um convencional, o que está de acordo com os resultados obtidos no presente estudo, uma vez que são recentes (4 a 5 anos de implantação) os sistemas de plantio direto avaliados.

3.3.3 Respiração basal e quociente metabólico (qCO_2)

Os valores médios obtidos para respiração basal e quociente metabólico (qCO_2) são apresentados na Tabela 3.4.

Não foram verificadas diferenças significativas entre a respiração basal nos vários sistemas de manejo e nas três profundidades de amostragem, o mesmo ocorrendo com o quociente metabólico (qCO_2) (Tabela 1B). Entre sistemas agrícolas, Doran (1980) relata que, em condições de pouco revolvimento do solo, como no plantio direto, existem melhores condições para o desenvolvimento das populações microbianas do que nos sistemas convencionais, na camada superficial do solo. Estudos envolvendo o sistema plantio direto em Londrina (PR) mostraram menores valores do quociente metabólico (qCO_2) em relação a sistemas convencionais (Balota, Colozzi-Filho, Andrade et al., 1998), do mesmo modo que outros trabalhos desenvolvidos no sul do país (Silva-Filho e Vidor, 1984; Lima, Lima, Eduardo et al., 1994). No

presente estudo, este comportamento não foi verificado, uma vez que as diferenças entre o $q\text{CO}_2$ nos sistemas de plantio direto e convencional foram não significativas. No entanto, considerando que as áreas sob plantio direto envolvidas neste trabalho possuem implantação recente (4 a 5 anos), e dadas as diferenças climáticas entre o Cerrado e a região sul do país, o que influencia a dinâmica de carbono no ecossistema e o comportamento dos microrganismos, é possível que venha a ocorrer uma maior diferenciação entre os valores de $q\text{CO}_2$ de sistemas convencionais e plantio direto, ao longo do tempo.

Observa-se, tanto na análise dos valores da respiração basal como do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), que o coeficiente de variação foi elevado para sistemas de manejo (44,4 e 57,6%, respectivamente) (Tabela 3.4), o que pode ser indicativo da necessidade de um maior número de repetições nas amostragens para a quantificação desses atributos, com a finalidade de reduzir a variabilidade encontrada.

TABELA 3.4 Respiração basal e quociente metabólico em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo

Sistema	Respiração basal		$q\text{CO}_2$
		($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g C-Cmic}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
CER		28,1	$3,85 \times 10^{-2}$
PAS		16,5	$4,09 \times 10^{-2}$
PDI 1		15,8	$4,18 \times 10^{-2}$
PDI 2		25,7	$9,95 \times 10^{-2}$
PDS		27,0	$9,99 \times 10^{-2}$
PCI 1		22,7	$13,39 \times 10^{-2}$
PCI 2		35,0	$11,47 \times 10^{-2}$
PCS		18,7	$8,88 \times 10^{-2}$
C.V. Sistema	(%)	44,4	57,6
C.V. Geral	(%)	36,1	48,6

3.3.4 Estoque de carbono

O estoque de carbono orgânico do solo para oito sistemas de manejo, em três profundidades, é apresentado na Tabela 3.5. Houve efeito significativo da interação entre sistema e profundidade (Tabela 1B). No entanto, não serão estabelecidas comparações baseadas no efeito de profundidade, uma vez que a espessura da camada de 20-40 cm é o dobro das demais camadas analisadas, o que influencia diretamente o cálculo da quantidade de carbono orgânico estocado. Desse modo, apenas o efeito dos sistemas de manejo dentro de cada profundidade será comparado.

Dentre os sistemas de manejo, houve efeito significativo no estoque de carbono orgânico apenas na camada superficial (Tabela 3.5). Não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo avaliados em relação ao cerrado nativo (CER), concordando com os resultados obtidos por Lepsch, Menk e Oliveira (1994), na mesma condição de vegetação. Entretanto, na camada de 0-10 cm, o estoque de carbono foi maior nos solos sob pastagem (PAS) e sistemas de plantio direto irrigado (PDI 1 e PDI 2), com valores da ordem de 23,2 Mg ha⁻¹, 24,0 Mg ha⁻¹ e 23,5 Mg ha⁻¹ para os sistemas PAS, PDI 1 e PDI 2, respectivamente, e menor no sistema convencional de sequeiro (PCS), com 14,0 Mg ha⁻¹. A menor quantidade de carbono orgânico estocada no PCS pode estar relacionada ao menor teor de argila no solo sob este sistema (Tabela 2.1), conforme considerações de Noordwijk, Cerri, Woerner et al. (1997). No entanto, tal comportamento não foi observado no solo sob plantio direto de sequeiro (PDS), também de textura média, no qual o estoque de carbono não diferiu significativamente dos maiores valores observados, mas manteve-se numa posição intermediária, juntamente com os dois sistemas convencionais irrigados, um de longa duração (PCI 1) e outro recente após pastagem (PCI 2), refletindo a influência do manejo sobre o estoque de carbono orgânico do solo.

TABELA 3.5 Estoque de carbono em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	EstC (Mg ha⁻¹)		
CER	21,6 ab	15,0 a	22,6 a
PAS	23,2 a	17,2 a	28,7 a
PDI 1	24,0 a	15,4 a	20,4 a
PDI 2	23,5 a	16,5 a	27,7 a
PDS	21,3 ab	17,4 a	28,5 a
PCI 1	19,1 ab	14,8 a	24,5 a
PCI 2	21,5 ab	15,9 a	24,5 a
PCS	14,0 b	11,8 a	24,6 a
C.V. Sistema	(%)	8,8	
C.V. Geral	(%)	4,2	

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

Os valores do estoque de carbono calculados nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm foram somados e comparados com aqueles reportados por Corazza, Silva, Resck et al. (1999) na camada de 0-20 cm, em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, para os seguintes sistemas: cerrado, pastagem de *Brachiaria decumbens*, plantio direto e plantio convencional (grade pesada), todos estabelecidos por mais de 12 anos. Os resultados obtidos se aproximaram no que diz respeito aos sistemas cerrado (36,6 Mg ha⁻¹ no presente trabalho contra 39,8 Mg ha⁻¹), pastagem (40,4 Mg ha⁻¹ contra 42,2 Mg ha⁻¹, na mesma ordem) e convencionais com uso de grade pesada (média de 32,4 Mg ha⁻¹ contra 36,5 Mg ha⁻¹, na mesma ordem), tendo sido mais contrastantes para o plantio direto (média de 39,4 Mg ha⁻¹ no presente trabalho contra 47,4 Mg ha⁻¹).

Nenhum dos sistemas de manejo avaliados funcionou como depósito de carbono orgânico em relação à situação de cerrado nativo (CER), e nem como fonte para a atmosfera, uma vez que não foram observadas diferenças significativas nas comparações com o sistema em equilíbrio. No entanto, algumas considerações podem ser feitas a partir da análise das variações, em termos absolutos, do estoque de carbono em relação ao cerrado nativo, apresentadas na Figura 3.1. Verifica-se que tenderam a ocorrer variações positivas nos sistemas pastagem (PAS) e plantio direto irrigado (PDI 1 e PDI 2), e negativas nos sistemas convencionais de longa duração (PCI 1 e PCS), até a profundidade de 20 cm. No caso dos sistemas convencionais, esta camada corresponde à faixa de trabalho das grades pesadas, que são amplamente usadas na região em estudo nos sistemas com revolvimento de solo em área total. Estes valores justificam maiores atenções com relação à condução de sistemas caracterizados pela movimentação sistemática do solo no ambiente dos Cerrados, uma vez que, no presente estudo, as alterações mais significativas nos teores de carbono orgânico e no estoque de carbono, em decorrência do sistema de manejo empregado, foram observadas nas camadas superficiais do solo (Tabelas 3.1, 3.2 e 3.5).

Destaca-se o comportamento do solo com relação ao estoque de carbono nos sistemas de sequeiro, que são relacionados a menores taxas de adição de matéria orgânica ao solo, devido à existência de uma estação seca pronunciada no Cerrado. Nesta condição, foram observadas variações mais positivas do estoque de carbono (ou menos negativas, no caso da camada de 0-10 cm) no sistema de plantio direto em comparação ao sistema convencional, para todas as profundidades (Figura 3.1, Tabela 2B). Desse modo, o sistema de plantio direto passa a ser preferível ao sistema convencional, no caso de se desejar manter ou aumentar o estoque de carbono orgânico do solo, em sistemas sem suprimento artificial de água no Cerrado.

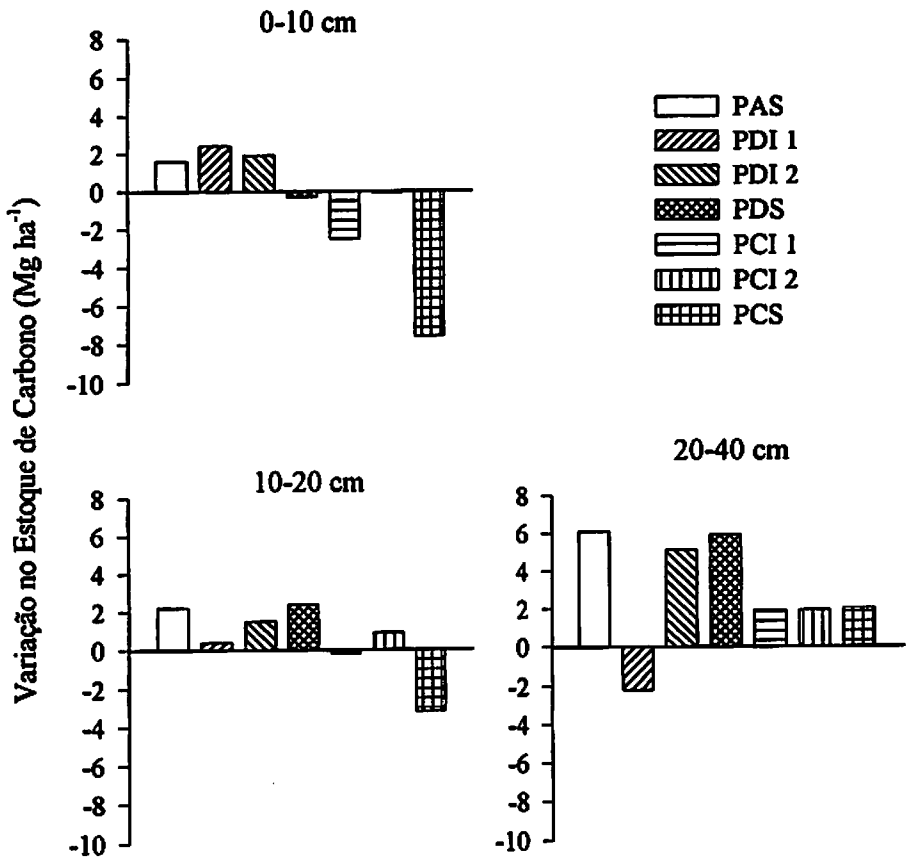


FIGURA 3.1 Variação do estoque de carbono do solo em relação ao cerrado nativo em Latossolo Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo no sul de Goiás, em três profundidades

Estudos sobre o comportamento do solo apresentado quando sistemas cultivados substituem a vegetação nativa em condições tropicais indicam, em geral, um decréscimo de carbono orgânico, o que está relacionado tanto à diminuição das adições de carbono, quanto à existência de condições que favorecem a decomposição da matéria orgânica (Woomer, Martin, Albrecht et al., 1994; Scholes e Breemen, 1997). Neste sentido, sistemas de manejo adotados no ambiente do Cerrado que possuam como característica o reduzido revolvimento do solo podem contribuir para a manutenção dos estoques de carbono orgânico, ou mesmo serem promissores para o sequestro de carbono atmosférico, conforme tendência indicada na Figura 3.1. Estas considerações estão de acordo com o resultado de trabalhos que apontam os sistemas de plantio direto e/ou pastagem como mantenedores de teores elevados de carbono orgânico nas camadas superficiais do solo, tanto pelo benefício às populações microbianas quanto pelo maior aporte de resíduos orgânicos e controle dos processos erosivos (Doran, 1980; Hernani, Kurihara e Silva, 1999; Corazza, Silva, Resck et al., 1999). No caso do bioma Cerrado, trabalhos recentes envolvendo a quantificação do estoque de carbono no solo indicam a necessidade de mais pesquisas sobre o tema, ponderando que existe grande variação nas características dos sistemas de manejo agrícola adotados, e mesmo nas características texturais dos solos, o que dificulta a extrapolação dos resultados obtidos (Corazza, Silva, Resck et al., 1999).

3.4 CONCLUSÕES

- 1. As alterações mais expressivas nos atributos químicos e bioquímicos avaliados, em decorrência da adoção de diferentes sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo, ocorreram na camada superficial (0-10 cm);**
- 2. Os sistemas convencionais de longa duração reduziram os teores de carbono orgânico total, expressos com base no conteúdo de argila + silte, em relação ao cerrado nativo, na camada superficial do solo;**
- 3. Todos os sistemas de manejo avaliados reduziram os teores de carbono da biomassa microbiana em relação ao cerrado, na camada superficial. Dentre os sistemas com interferência humana, o carbono da biomassa microbiana foi maior na pastagem, e menor no convencional irrigado de longa duração;**
- 4. Não houve diferença significativa no estoque de carbono dos sistemas de manejo avaliados em relação ao cerrado nativo. O maior estoque de carbono orgânico no solo foi verificado nos sistemas de plantio direto irrigado e pastagem, e o menor, no convencional de sequeiro de longa duração.**
- 5. O carbono orgânico total, expresso com base na soma dos conteúdos de argila e silte, e o carbono da biomassa microbiana apresentaram a melhor performance em indicar alterações em relação ao cerrado nativo, sendo sugeridos como componentes potenciais de um índice de qualidade do solo para a região.**

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas das necessidades de contribuições da pesquisa para estudos de qualidade do solo envolvem a avaliação de atributos físicos, químicos e biológicos, nos principais grupos de manejo do solo, e a determinação dos efeitos do cultivo e sistemas manejados sobre os teores de matéria orgânica (Doran e Parkin, 1994). Uma das aproximações propostas para estabelecer critérios de avaliação da qualidade do solo é a comparação realizada com as condições do solo no seu estado natural (Granatstein e Bezdicek, 1992). Neste sentido, buscou-se estabelecer, no presente estudo, o cerrado nativo como referência para a maior parte das comparações entre sistemas de manejo. Considerando que os atributos de qualidade do solo devem ter sensibilidade o suficiente para indicar alterações decorrentes do uso, foram selecionados alguns atributos, dentre os avaliados, com melhor performance para tal, sendo sugeridos como componentes potenciais de um índice de qualidade do solo a ser desenvolvido para fins de monitoramento das atividades agrícolas na região. São eles:

- a) Diâmetro médio geométrico e porcentagem de agregados maiores que 2 mm, relacionados à função do solo de resistência à erosão hídrica;
- b) Carbono orgânico total, expresso com base na soma dos conteúdos de argila e silte, e carbono da biomassa microbiana, relacionados às funções do solo de resistência à erosão hídrica e manutenção da qualidade ambiental;

Os atributos selecionados estão de acordo com aqueles citados como de grande importância em estudos da qualidade do solo. Os índices de agregação do

solo estão entre os indicadores que possuem participação fundamental nas funções críticas associadas à erosão hídrica, sendo sugerida a sua avaliação em estudos comparativos entre sistemas de manejo (Karlen e Stott, 1994; Islam e Weil, 2000). O carbono da biomassa microbiana, por sua vez, está entre os atributos selecionados por Islam e Weil (2000) como um dos mais promissores para potencial inclusão em um índice de qualidade do solo, por ser afetado de maneira diferenciada na maioria das comparações entre sistemas tidos como degradativos e conservacionistas.

O carbono orgânico do solo é freqüentemente apontado como condicionador de muitos atributos biológicos, físicos e químicos do solo (Doran e Parkin, 1994). Melhorias na qualidade do solo são diretamente correlacionadas com o aumento nos teores de matéria orgânica do solo (Alcântara e Ferreira, 2000). No presente estudo, o carbono orgânico total, expresso com base na massa total de solo, apresentou coeficiente de correlação altamente significativo com os índices de estabilidade de agregados, que obtiveram alta performance em indicar alterações na qualidade do solo. A facilidade de determinação do carbono orgânico em laboratório constitui justificativa para que este atributo seja utilizado de maneira complementar ou alternativa aos índices de estabilidade de agregados, na impossibilidade de determinação destes, em estudos de qualidade do solo.

3.6 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Alguns atributos avaliados apresentaram valores com elevado coeficiente de variação, como os atributos físicos determinados a partir de amostras indeformadas e os atributos bioquímicos. Amostragens no campo com um maior número de repetições podem contribuir para reduzir a variabilidade e

permitir que diferenças decorrentes da adoção de sistemas de manejo possam ser mais eficientemente detectadas nos testes de comparações múltiplas.

Devido à natureza dinâmica da biomassa microbiana, apenas uma medida deste atributo pode não indicar como a qualidade do solo está sendo alterada com o tempo, já que variações relativamente altas são esperadas em condições de campo (Rice, Moorman e Beare, 1996). De modo semelhante, variações na respiração do solo ocorrem ao longo do ciclo das culturas, influenciadas, entre outros fatores, pela disponibilidade de substrato (Vargas e Scholles, 2000). Quantificações com maior periodicidade no tempo e a padronização do estágio de desenvolvimento das culturas à época da coleta das amostras devem auxiliar de maneira mais detalhada o monitoramento da qualidade do solo com o uso dos atributos bioquímicos.

No presente estudo foram estabelecidas comparações entre o carbono orgânico do solo em diferentes sistemas de manejo, tendo como referência a situação de vegetação nativa. Neste sentido, a utilização da razão δC^{13} pode auxiliar o entendimento sobre as alterações nas frações estáveis da matéria orgânica do solo, uma vez que permite verificar seu estado de equilíbrio com a vegetação atual. O método δC^{13} é sugerido para estudo dos efeitos de alterações decorrentes de mudanças no uso da terra, especialmente quando da passagem de vegetações com dominância de espécies de ciclo fotossintético C_3 (como a maioria presente numa mata nativa) para espécies C_4 (como as gramíneas) (Woomer, Martin, Albrecht et al., 1994; Noordwijk, Cerri, Woomer et al., 1997).

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- ALCÂNTARA, E.N.; FERREIRA, M.M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.4, p.711-721, out./dez. 2000.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (eds). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, 1995. 576p.
- ALLISON, F.E. *Soil organic matter and its role in crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1973. 637p.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.25, n.3, p.393-395, Mar. 1993.
- ANDRADE, D.S.; COLOZZI-FILHO, A.; PAVAN, M.A.; BALOTA, E.L.; CHAVES, J.C.D. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, n.2, p.191-196, maio/ago. 1995.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.4, p.641-649, out./dez. 1998.
- BAYER, C. *Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos*. Porto Alegre: UFRGS. 241p. 1996. (Tese - Doutorado em Ciência do Solo).
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. cap 2, p.9-26.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.57, n.4, p.1071-1076, July/Aug. 1993.

- CARVALHO, Y. Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional na região de Carambeí – PR. Curitiba: UFPR, 1997. 108p. (Dissertação – Mestrado em Ciência do Solo).
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.2, p.425-432, abr./jun. 1999.
- DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.44, n.4, p.765-771, July/Aug. 1980.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. (SSSA Special Publication, 35).
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (ed.) *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. cap.2.p.25-37. (SSSA Special Publication, 49)
- FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J.; CERRI, C.C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v.27, n.11, p.1467-1472, Nov. 1995.
- FERNANDES, S.A.P. Propriedades do solo na conversão de floresta em pastagem fertilizada e não fertilizada com fósforo na Amazônia (Rondônia). Piracicaba: USP/CENA, 1999. 131p. (Dissertação – Mestrado em Microbiologia Agrícola).
- GAMA-RODRIGUES, E.F. da; GAMA-RODRIGUES, A.C. da; BARROS, N.F. de. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, n.3, p.361-365, jul./set. 1997.
- GOSS, M.J.; REID, J.B. Influence of perennial ryegrass roots on aggregate stability. *Agriculture Research Council Letcombe Laboratory Annual Report*, p. 24-25, 1979.

- GRANATSTEIN, D.; BEZDICEK, D.F.** The need for a soil quality index: local and regional perspectives. *American Journal Alternative Agriculture, Greenbelt*, v.7, p.12-16, 1992.
- GRISI, B.M.** Participação da microbiota na ciclagem de nutrientes. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4.**, 1996, Águas de Lindóia. *Anais...* Campinas: Software Gráfico Comércio e Serviços/Bicca Produções, 1996. CD-ROM.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M.** Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v.23, n.1, p.145-154, jan./mar. 1999.
- INSAM, H.; MITCHELL, C.C.; DORMAAR, J.F.** Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yields of three Ultisols. *Soil Biology Biochemistry, Oxford*, v.23, n.5, p.459-465, 1991.
- 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, 2000.
- KARLEN, D.L.; STOTT, D.E.** A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: **DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A.** *Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison: Soil Science Society of America, 1994. (SSSA Special Publication, 35).
- KER, J.C.; BLANCANEUX, Ph.; CHAGAS, C. da S.; CARVALHO Jr., W. de; CARVALHO FILHO, A. de; PEREIRA, N.R.; MOTTA, P.E.F. da; FREITAS, P.L. de; AMABILE, R.F.; COSTA, L.D. da.** A cobertura vegetal e as interações com a cobertura pedológica na microbacia piloto de Goiás, Morrinhos. In: **BLANCANEUX, Ph. (ed.)** *Interações ambientais no Cerrado: Microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil.* Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. cap.3, p.53-67.
- LEPSCH, I.F.; MENK, J.R.F.; OLIVEIRA, J.B.** Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São Paulo State, Brazil. *Soil Use and Management*, v.10, n.1, p.34-42, Mar. 1994.

- LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C.; EDUARDO, B.J.F.P.; CERRI, C.C. Conteúdo de carbono e biomassa microbiana em agrossistemas: comparação entre métodos de preparo do solo. *Agrárias, Curitiba*, v.13, n.1/2, p.297-302, 1994.
- MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v.23, n.2, p.257-263, abr./jun. 1999.
- MENDES, I. de C.; CARNEIRO, R.G.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.; VARGAS, M.A.T. Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional. *Pesquisa em andamento - Embrapa Cerrados, Planaltina*, n.5, p.1/5, dez. 1999.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. cap 1, p.1-8.
- NOORDWIJK, M. van; CERRI, C.; WOOMER, P.L.; NUGROHO, K.; BERNOUX, M. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma, Amsterdam*, v.79, n.1, p.187-225, Sept. 1997.
- PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds). *Methods for Assessing Soil Quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. (SSSA Special Publication, 49).
- RICE, C.W.; MOORMAN, T.B.; BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (ed.). *Methods for Assessing Soil Quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. (SSSA Special Publication, 49).
- SCHOLES, R.J.; BREEMEN, N. van. The effects of global change on tropical ecosystems. *Geoderma, Amsterdam*, v.79, n.1, p.9-24, Sept. 1997.
- SILVA-FILHO, G.N.; VIDOR, C. As práticas de manejo de solo na população microbiana. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v.8, n.3, p.291-296, set./dez. 1984.

- SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.1, p.191-199, jan./mar. 2000.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. *Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC/ABEAS; Lavras: ESAL/FAEPE, 1988. 236p.
- TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de Latossolos Roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, n.2, p.271-278, abr./jun. 1997.
- TURCO, R.F.; KENNEDY, A.C. ; JAWSON, M.D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. (SSSA Special Publication, 35.).
- 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, Apr./June 1987.
- VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.1, p.35-42, jan./mar. 2000.
- VASCONCELLOS, C.A.; CAMPOLINA, D.C.A.; SANTOS, F.G.; EXEL PITTA, G.V.; MARRIEL, I.E. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.1, p.69-77, jan./mar. 1999.
- VENZKE FILHO, S. de P. *Microbiota e sua atividade em uma cronossequência sob sistema plantio direto*. Piracicaba: ESALQ, 1999. 65p. (Dissertação – Mestrado em Microbiologia Agrícola).
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, Baltimore, v.37, n.1, p.29-38, 1934.



WOOMER, P.L.; MARTIN, A.; ALBRECHT, A.; RESCK, D.V.S.; SHARPENSEEL, H.W. The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (eds.). **The biological management of tropical soil fertility**. Wiley-Sayce, 1994. chapter 3, p.47-80.

ANEXO

	Página
ANEXO A	
TABELA 1A	Quadro de análise de variância considerando oito sistemas de manejo em três profundidades de amostragem
	101
TABELA 2A	Resumo da ANAVA para atributos físicos do solo em função de sistema de manejo e profundidade
	102
TABELA 3A	Características mineralógicas e teores de óxidos em Latossolo Vermelho-Escuro do sul de Goiás
	103
TABELA 4A	Cor úmida e características granulométricas na camada de 80-100 cm de Latossolo Vermelho-Escuro submetido a oito sistemas de manejo no sul de Goiás
	103
TABELA 5A	Resistência à penetração em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo até a profundidade de 60 cm
	104
ANEXO B	
TABELA 1B	Resumo da ANAVA para atributos químicos e bioquímicos do solo em função de sistema de manejo e profundidade.
	105
TABELA 2B	Variação no estoque de carbono orgânico em relação ao cerrado nativo em Latossolo Vermelho-Escuro para sete sistemas de manejo em três profundidades
	106

TABELA 1A Quadro de análise de variância considerando oito sistemas de manejo em três profundidades de amostragem

Fonte de Variação	Graus de Liberdade
Sistema	7
Erro (Sistema)	16
Profundidade	2
Sistema x Profundidade	14
Erro (Geral)	32
Total	71

TABELA 2A Resumo da ANAVA para atributos físicos do solo em função de sistema de manejo e profundidade

Atributo	G.L.	Valor F	P > Fc
Densidade do Solo			
Sistema (S)	7	6,37	0,001
Profundidade (P)	2	7,23	0,003
S x P	14	2,00	n.s.
VTP			
Sistema (S)	7	5,76	0,002
Profundidade (P)	2	8,00	0,002
S x P	14	1,44	n.s.
Microporosidade			
Sistema (S)	7	7,51	0,000
Profundidade (P)	2	15,70	0,000
S x P	14	1,88	n.s.
Macroporosidade			
Sistema (S)	7	3,03	0,031
Profundidade (P)	2	24,59	0,000
S x P	14	2,40	0,020
Ks			
Sistema (S)	7	5,48	0,002
Profundidade (P)	2	3,23	n.s.
S x P	14	2,04	0,047
DMG			
Sistema (S)	7	17,72	0,000
Profundidade (P)	2	6,10	0,006
S x P	14	0,79	n.s.
% Agregados > 2 mm			
Sistema (S)	7	9,23	0,000
Profundidade (P)	2	7,58	0,002
S x P	14	0,79	n.s.
% Agregados < 0,25 mm			
Sistema (S)	7	29,73	0,000
Profundidade (P)	2	1,27	n.s.
S x P	14	0,88	n.s.
Índice de Flocculação			
Sistema (S)	7	2,95	0,035
Profundidade (P)	2	1,72	n.s.
S x P	14	1,06	n.s.

TABELA 3A Características mineralógicas e teores de óxidos em Latossolo Vermelho-Escuro do sul de Goiás

Prof	Ct	Gb	Gb/ (Gb+Ct)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
(cm)	(g kg ⁻¹)			----- (g kg ⁻¹) -----							
0-20	188	335	0,64	123	174	140	13	1	1,20	0,80	1,96
20-40	192	457	0,70	128	208	153	21	1	1,05	0,71	2,14

TABELA 4A Cor úmida e características granulométricas na camada de 80-100 cm de Latossolo Vermelho-Escuro submetido a oito sistemas de manejo no sul de Goiás

Sistema	Cor úmida	Areia	Silte	Argila
		----- g kg ⁻¹ -----		
CER	2,5 YR 3/4	276	203	521
PAS	2,5 YR 3/4	230	296	474
PDI 1	2,5 YR 3/6	287	261	452
PDI 2	3,5 YR 3/6	307	268	425
PDS	2,5 YR 3/6	480	244	276
PCI 1	2,5 YR 3/6	337	286	377
PCI 2	2,5 YR 3/6	442	195	363
PCS	2,5 YR 3/4	549	152	299

TABELA 5A Resistência à penetração em Latossolo Vermelho-Escuro para oito sistemas de manejo até a profundidade de 60 cm

Prof (cm)	Resistência à Penetração (MPa)							
	CER	PAS	PDI 1	PDI 2	PDS	PCI 1	PCI 2	PCS
0-5	1,4	2,9	1,5	1,8	2,0	1,4	1,5	1,7
5-10	1,4	2,8	1,5	1,8	2,0	1,4	1,5	1,7
10-15	1,4	2,8	1,7	1,9	2,7	1,5	1,5	1,8
15-20	1,7	2,9	2,1	2,1	3,1	2,1	1,7	2,4
20-25	2,1	2,7	2,4	2,2	3,1	2,5	1,8	2,5
25-30	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,4	1,8	2,3
30-35	2,3	2,3	2,5	2,5	2,4	2,4	1,7	2,2
35-40	2,3	2,1	2,4	2,4	2,1	2,3	1,6	1,9
40-45	2,2	1,8	2,3	2,2	2,0	2,3	1,5	1,8
45-50	2,1	1,7	2,4	2,0	1,8	2,2	1,4	1,7
50-55	2,1	1,6	2,6	2,0	1,6	2,3	1,4	1,7
55-60	2,0	1,6	2,9	1,9	1,6	2,1	1,4	1,6

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

Atributo	G.L.	Valor F	P > Fc
Carbono orgânico (CO)			
Sistema (S)	7	2,65	n.s.
Profundidade (P)	2	72,73	0,000
S x P	14	2,05	0,046
Carbono orgânico (COa, s)			
Sistema (S)	7	1,51	n.s.
Profundidade (P)	2	88,23	0,000
S x P	14	2,90	0,006
Carbono biomassa microbiana			
Sistema (S)	7	9,97	0,000
Profundidade (P)	2	6,54	0,004
S x P	14	2,54	0,015
Respiração basal			
Sistema (S)	7	0,88	n.s.
Profundidade (P)	2	0,40	n.s.
S x P	14	0,57	n.s.
Quociente metabólico (qCO_2)			
Sistema (S)	7	1,61	n.s.
Profundidade (P)	2	0,94	n.s.
S x P	14	0,74	n.s.
Estoque de carbono			
Sistema (S)	7	1,62	n.s.
Profundidade (P)	2	91,72	0,000
S x P	14	2,18	0,034

TABELA 2B Variação no estoque de carbono orgânico em relação ao cerrado nativo em Latossolo Vermelho-Escuro para sete sistemas de manejo em três profundidades

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
Variação no EstC em relação ao cerrado nativo (Mg ha⁻¹)			
PAS	1,6	2,2	6,1
PDI 1	2,4	0,4	-2,2
PDI 2	1,9	1,5	5,1
PDS	-0,3	2,4	5,9
PCI 1	-2,5	-0,2	1,9
PCI 2	-0,1	0,9	1,9
PCS	-7,6	-3,2	2,0