

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE  
MANEJO EM LATOSSOLOS SOB CERRADO**

**DIEGO ANTONIO FRANÇA DE FREITAS**

**2010**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**DIEGO ANTONIO FRANÇA DE FREITAS**

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE  
MANEJO EM LATOSSOLOS SOB CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2010

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

Freitas, Diego Antônio França de.

Qualidade do solo em sistemas de manejo em Latossolos sob  
Cerrado / Diego Antônio França de Freitas. – Lavras : UFLA, 2010.  
104 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.  
Orientador: Marx Leandro Naves Silva.  
Bibliografia.

1. Atributos físicos. 2. Atributos químicos. 3. Fertilidade do solo.  
4. Matéria orgânica. 5. Sustentabilidade ambiental. I. Universidade  
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.4781

**DIEGO ANTONIO FRANÇA DE FREITAS**

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO EM  
LATOSSOLOS SOB CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2010

Dr. Mozart Martins Ferreira

UFLA

Dr. Elifas Nunes de Alcântara

EPAMIG

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

À minha mãe, Maria Trindade França,  
à minha irmã, Camila França  
e a minha sobrinha, Júlia,  
pelo amor incondicional, eterno incentivo e  
confiança em meu potencial.

Apesar da distância, vocês estão sempre em meu coração.

### **OFEREÇO**

À Carla Saraiva Gonçalves,  
a quem amo muito, por todo amor, apoio e compreensão.  
Você faz parte de minha vida.

### **DEDICO**

Vocês são as mulheres de minha vida, minhas preciosidades, para as  
quais o meu amor é incondicional e infinito.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela constante proteção à minha vida e de toda minha família, por ter concedido a realização deste sonho e por todas as oportunidades concedidas.

A minha família, pelos valores transmitidos de forma tão nobre, pela compreensão dos meus momentos de ausência, pelo amor acima de qualquer coisa, por permitir e incentivar meus estudos e pela segurança de hoje e sempre. A minha namorada, Carla Saraiva, que sempre desejou o melhor para mim, pelo amor, amizade, incentivo, paciência, compreensão e apoio. À Gláucia, D. Ilza, Carine, Toninho e toda a família de minha namorada, que sempre foram receptivos, agradáveis, amorosos e por permitirem que eu faça parte desta família.

Especial agradecimento ao meu orientador e amigo, Dr. Marx Leandro Naves Silva, pela orientação, convivência, confiança, disponibilidade e amizade ao longo destes anos.

Aos membros da banca, Dr. Mozart Martins Ferreira e Dr. Elifas Nunes de Alcântara pelas sugestões e disponibilidade.

Aos professores Nilton Curi, Geraldo de Oliveira, Mozart Martins Ferreira e ao pesquisador da Embrapa Pantanal, Evaldo Luis Cardoso, pelo convívio, incentivo, apoio e por sempre estarem dispostos a ajudar.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelos ensinamentos e bom convívio.

Aos amigos da Pós-graduação e do grupo de Conservação do Solo e da Água pela parceria e ajuda em todos os momentos: Anna, Bernardo, Diego, Dione, Fabrício, Gabriela, Guilherme, Hilário, Jerusa, Junior César, Mayesse, Nilmar, Piero, Plínio, Rodrigo e Walbert. E a todos os outros colegas do DCS pelo companheirismo.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização do curso e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos estudantes de pós-graduação que geraram os dados utilizados neste trabalho e às empresas Cenibra e Companhia Mineira de Metais (CMM) que cederam áreas para alguns estudos.

Enfim, a todos aqueles que colaboraram de alguma forma para o cumprimento desta etapa da minha vida.

***MUITO OBRIGADO!***

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO GERAL .....	i
GENERAL ABSTRACT .....	ii
CAPÍTULO 1 .....	01
1 Introdução Geral .....	01
2 Material e Métodos Gerais.....	07
2.1 Localizações das áreas de estudo .....	07
2.1.1 Campos das Vertentes, MG .....	10
2.1.2 Vale do Rio Doce, MG .....	10
2.1.3 Noroeste de Minas Gerais .....	12
2.1.4 Vale do Rio Doce, Belo Oriente, MG .....	13
2.1.5 Região Central de Minas Gerais .....	14
2.1.6 Sul de Goiás .....	15
3 Referências Bibliográficas .....	18
CAPÍTULO 2: Atributos físicos e químicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo para Latossolos sob Cerrado .....	21
1 Resumo .....	22
2 Abstract .....	23
3 Introdução .....	24
4 Material e Métodos .....	28
4.1 Localização, clima, solo e sistemas de manejo .....	28
4.2 Determinação de campo .....	28
4.3 Determinações de laboratório .....	28
5 Resultados e Discussão .....	32
5.1 Caracterização granulométrica dos solos .....	32
5.2 Propriedades mineralógicas .....	32
5.3 Atributos físicos .....	33

5.3.1 Densidade do solo .....	33
5.3.2 Porosidade total e distribuição de poros por tamanho .....	36
5.3.3 Permeabilidade do solo à água .....	39
5.3.4 Estabilidade dos agregados .....	41
5.3.5 Resistência do solo à penetração .....	43
5.4 Atributos químicos .....	49
5.4.1 Carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono no solo .....	58
6 Conclusões .....	68
7 Referências Bibliográficas .....	69
Anexo .....	77
CAPÍTULO 3: Índice de qualidade do solo em sistemas de manejo para Latossolos sob Cerrado .....	79
1 Resumo .....	80
2 Abstract .....	81
3 Introdução .....	82
4 Material e Métodos .....	85
4.1 Localização, clima, solo e sistemas de manejo .....	85
4.2 Análises de laboratório .....	85
5 Resultados e Discussão .....	93
6 Conclusões .....	102
7 Referências Bibliográficas .....	103

## RESUMO GERAL

FREITAS, Diego Antonio França de. **Qualidade do solo em sistemas de manejo para Latossolos sob Cerrado**. 2010. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*.

Nas últimas décadas o Cerrado sofreu diversas transformações no uso da terra. Assim, muitas técnicas de manejo agrícola intensivo causaram alterações dos atributos físicos e químicos do solo e conseqüentemente alteração de sua qualidade. Os Latossolos do Cerrado apresentam restrições químicas devido à baixa fertilidade e elevada toxidez por alumínio. Por outro lado, os atributos físicos desses solos, aliados à topografia suavizada onde estão inseridos, fez desta uma região apta para o desenvolvimento de uma agricultura altamente mecanizada. Porém, a busca por aumentos de produtividade e competitividade coloca em risco a sustentabilidade do Cerrado. Com isto, objetivou-se avaliar a qualidade do solo em sistemas de manejo em Latossolos sob Cerrado, a fim auxiliar o monitoramento da sua sustentabilidade. O estudo consistiu na avaliação de banco de dados que apresentam informações de 39 sistemas de uso dos Latossolos em 6 regiões do Cerrado Brasileiro, sendo analisadas as camadas de 0 – 20 cm de profundidade. Foram avaliadas as alterações nos atributos físicos e químicos dos solos e gerados dois índices ( $IQS_1$  e  $IQS_2$ ) para estimativa da qualidade do solo. O  $IQS_1$  foi calculado a partir dos desvios dos atributos físicos e químicos dos sistemas manejados em relação aos respectivos ambientes naturais (referência); e o  $IQS_2$  foi calculado a partir de um modelo aditivo que considera as funções principais do solo e os indicadores de qualidade a elas associados, sendo atribuídos pesos tanto para as funções como para os indicadores. A conversão do ambiente nativo em sistemas de manejo causou alterações dos atributos físicos e químicos dos solos, sendo que os atributos físicos indicadores da boa qualidade do solo foram reduzidos e os químicos aumentaram quando foram adicionados corretivos e fertilizantes. Os ambientes analisados apresentaram reduções da capacidade dos solos em desenvolver suas funções ecológicas principais, sendo que o sistema solo descoberto foi o sistema que apresentou a menor qualidade. Os índices de qualidade do solo gerados, tanto com base nos desvios das propriedades do solo em relação aos ambientes naturais, como a partir do estabelecimento das funções e indicadores do solo, foram eficientes em refletir a variação da qualidade do solo, nos diferentes ambientes do Cerrado.

---

\* Orientador: Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva – UFLA.

## GENERAL ABSTRACT

FREITAS, Diego Antonio França de. **Soil quality in management systems in Oxisols under Cerrado**. 2010. 104 p. Dissertation (Masters Science in Soil Science) - Federal University of Lavras - Lavras, MG\*.

In recent decades, the Cerrado, region at Brazil, has undergone various transformations in land use. Intensive agricultural management caused changes in soil physical and chemical attributes and therefore affected its quality. Oxisols under Cerrado present chemical restrictions to crop growth linked to low fertility and high aluminum toxicity. On the other hand, physical attributes of these soils, associated with their gently rolling topography, has made this an area suitable for the development of a highly mechanized agriculture. However, the search for productivity gains and increased competitiveness puts at risk the sustainability of the Cerrado. Thus, it was aimed to assess soil quality under different management systems of Oxisols under Cerrado, in order to help monitoring their sustainable use. This study consisted of evaluating a database on 39 systems used in Oxisols in 6 regions of the Brazilian Cerrado, being analyzed layers of 0 - 20 cm depth. We evaluated changes in soil physical and chemical attributes and generated two indexes (SQI1 and SQI2) to estimate soil quality. The SQI1 was estimated from the deviations of the physical and chemical properties of cultivated systems in relation to their natural environments (reference); the SQI2 was calculated from an additive model that considers the main soil functions and their indicators, by assigning weights for both functions and indicators. The conversion of the native environment in management systems caused changes in soil attributes, as physical attributes indicators of good soil quality were diminished, and the chemical attributes increased by adding lime and fertilizers. In general, cultivated soils showed reduced capacity to perform ecological functions, and bare soil showed the lowest quality. The indices of soil quality generated, based either on attribute deviation from natural environments or on the establishment of indicators functions were effective in assessing soil quality change in different Cerrado environments.

---

\* Adviser: Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

## **CAPÍTULO 1**

### **1 INTRODUÇÃO GERAL**

O Cerrado constitui uma das savanas mais biodiversas do mundo e compreende um mosaico de fisionomias vegetais que engloba desde formas abertas (campo limpo) até florestais (cerradão), possuindo elevada diversidade estrutural, funcional e de formas de vida. Pouco valorizado tradicionalmente, o Cerrado foi negligenciado na maioria das iniciativas conservacionistas por ser considerada a sua vegetação rala e de baixo valor.

O domínio morfoclimático do Cerrado brasileiro abrange uma área de 2.036.448 km<sup>2</sup> (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, 2004), em sua maior parte dentro do tipo climático Aw da classificação de Köpen (tropical estacional de savana), com um período chuvoso, de outubro a março, sucedendo um período seco, de abril a setembro. 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.

Os principais solos da região do Cerrado são os Latossolos que correspondem a 46%, seguido dos Neossolos com 16% e Argissolos com 15%. Os Latossolos ocupam uma topografia plana a suave ondulada na paisagem, o que permite o manejo mecanizado. Segundo Resck et al. (2008) os Latossolos que ocorrem em declives planos a suave-ondulado (< 8%) facilitam intensas atividades agrícolas desde que suas naturais limitações em fertilidade sejam corrigidas. Esses solos são considerados de grande potencial para a produção agrícola de culturas anuais, perenes e também pastagens.

Nas últimas décadas o Cerrado sofreu diversas transformações no uso das terras, devido principalmente aos altos investimentos em corretivos,

fertilizantes e variedades adaptadas de diversas culturas para este bioma. Isto gerou uma ocupação desordenada da terra, com aumento desenfreado do desmatamento que contribuiu para a perda da diversidade de espécies, concomitantemente, algumas técnicas inadequadas de manejo dos solos propiciaram a rápida degradação desse recurso (Resck et al., 2008).

As transformações ocorridas no Cerrado trouxeram grandes danos ambientais, onde destacam-se a fragmentação de habitats, extinção da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, desequilíbrios no ciclo do carbono, alteração dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e consequentemente redução da qualidade dos solos.

Nesse contexto, dentre os componentes biofísicos, o elemento solo assume papel de destaque. Segundo Doran & Parkin (1994), 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. Ainda conforme estes autores, ao solo são atribuídas as funções de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana, animal e vegetal.

A avaliação direta das propriedades do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso (Burger, 1996). Dessa forma, a avaliação da qualidade do solo tem sido crescentemente proposta como um indicador integrado da qualidade do ambiente e da sustentabilidade de sistemas agrícolas. A quantificação das alterações nos atributos do solo, decorrentes da intensificação de sistemas produtivos ou exploração de sistemas naturais, além de ser útil na avaliação de interferências antrópicas sobre o ambiente, pois considera a relação entre o solo e os demais aspectos do ecossistema, fornece subsídios importantes na definição de sistemas racionais de manejo, contribuindo, dessa forma, para

tornar o solo menos suscetível à perda de capacidade produtiva e, fundamentalmente, para a conservação ambiental (Cardoso, 2008).

A avaliação da qualidade do solo pode ser analisada sobre duas perspectivas distintas: (i) como uma característica inerente ao solo, ou (ii) como a condição de melhor funcionamento do solo. A primeira enfatiza que a qualidade é inerente a cada solo e governada por seus processos de formação. Partindo deste princípio, cada solo tem uma habilidade natural para funcionar, a qual é definida por um conjunto de valores que refletem o máximo potencial de um solo para realizar uma função específica. A segunda concepção assume que, se um determinado solo está funcionando de acordo como seu máximo potencial para um determinado uso, ele terá excelente qualidade, se não, o seu potencial pode ter sido afetado pelo uso ou manejo, ou o solo naturalmente possui baixa qualidade (Karlen et al., 1997).

De acordo com Carter et al. (1997), qualquer ferramenta para avaliar a qualidade do solo deve incluir (1) a descrição de cada função em que a qualidade estiver relacionada, (2) a seleção de características ou propriedades do solo que influenciem em sua capacidade de prover cada função, (3) a escolha de indicadores mensuráveis, e (4) o uso de métodos que fornecem inferências precisas dos indicadores mensuráveis.

Dependendo da função para a qual uma avaliação está sendo feita, muitos parâmetros podem ser utilizados e o processo de avaliação deve: (i) de alguma maneira influenciar a função para a qual está sendo avaliada, (ii) ser mensurável e comparada a padrões definidos e (iii) sensível o bastante para mostrar diferenças em escala espacial ou temporal (Karlen et al., 1997).

Várias estratégias de avaliação da qualidade do solo têm sido propostas, sendo destacadas as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos químicos, físicos e biológicos do solo para a obtenção de um índice confiável de qualidade (Larson & Pierce, 1991; Doran & Parkin, 1994).

Diferente dessas, existem outras que consideram que um número reduzido ou isolado de atributos-chave, como a matéria orgânica do solo ou a curva de retenção de água, possa expressar eficientemente a qualidade do solo para um uso específico (Conceição et al., 2005). Também há propostas para avaliar a qualidade do solo que consideram a integração dos atributos do solo com a paisagem, obtendo índices normatizados conforme as funções consideradas relevantes para o local e o objetivo do solo (Karlen & Stott, 1994). No entanto, o solo é caracterizado por propriedades e atributos funcionalmente relacionados, assim, a avaliação conjunta dessas propriedades e/ou atributos do solo parece ser a forma mais adequada de medir e monitorar sua qualidade (Karlen et al., 1997).

Para Stenberg (1999) nenhum indicador individualmente consegue descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo. Nem mesmo uma única função do solo é suficiente, já que deve haver uma relação entre todos os seus atributos. Assim um número mínimo de indicadores deve ser selecionado. Mas, ainda não há um conjunto preciso de indicadores que possa ser utilizado universalmente para caracterizar a qualidade do solo, devido à complexidade do sistema solo, o uso de diversos manejos e condições climáticas adversas. Por isso, existem trabalhos de pesquisas com enfoque na seleção de indicadores, objetivando avaliar suas respostas aos diversos tratamentos, em ecossistemas variados (Bouma, 2002).

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 das funções ambientais (Doran & Parkin, 1996). Para que esses atributos sejam capazes de indicar as alterações na qualidade do solo, os mesmos devem correlacionar-se bem com processos dentro do ecossistema; serem aplicados de modo relativamente fácil sob condições de campo e serem avaliados tanto por especialistas como por produtores; serem sensíveis a variações no manejo e no clima, refletindo

mudanças na qualidade do solo, sem serem influenciados por alterações fortuitas; serem componentes de bancos de dados já existentes (Doran & Parkin, 1996).

Os indicadores formam um conjunto de dados mínimos que são utilizados para avaliar o comportamento das funções principais do solo, associadas com cada objetivo de utilização. O mesmo indicador pode ser incluído em diferentes funções e até mesmo ponderado com valores diferentes, quando utilizado em mais de uma função, dependendo da sua relação ou importância (Karlen et al., 2003). Por exemplo, um indicador utilizado para medir a produção agrícola, também pode ser utilizado para medir a erosão do solo, mas a importância relativa (ponderador) do indicador pode ser diferente (Karlen & Stott, 1994).

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

Nos diversos estudos enfocando a qualidade do solo, destaque especial é atribuído ao cuidado necessário e complexidade de escolha dos indicadores de qualidade e definição de seus limites de sustentabilidade. De acordo com Tótolá & Chaer (2002), a qualidade “ideal” para um solo não é conhecida, e o ideal irá diferir entre os vários tipos de solo e cultura que está ou será

estabelecida. Portanto, é necessária a determinação de referenciais que possam servir de base para a interpretação e comparação. O critério de referência pode ser um sítio específico que representa uma área com tipo de solo e condições climáticas similares ou pode ser temporal, quando o valor referencial é obtido na amostragem inicial e a qualidade do solo é então monitorada por sucessivas amostragens. Tótolá & Chaer (2002) sugerem adotar como critério de referência as condições prevalentes em solos que suportam uma vegetação nativa e que tenham sofrido mínimos distúrbios antropogênicos.

Em virtude da grande quantidade de métodos para estimar e quantificar a qualidade do solo é recomendável o conhecimento e o aperfeiçoamento dos mesmos visando sua aplicação para a avaliação dos solos de regiões tropicais. Dessa forma, o desenvolvimento de índices de qualidade do solo, para qualquer ecossistema, constitui importante instrumento para monitorar a sustentabilidade de sistemas de produção, visto que permitem caracterizar uma situação atual, alertar para situações de risco e prever situações futuras. Sendo que estes índices podem subsidiar a elaboração e/ou redefinição de normas específicas para o uso dos solos em regiões mais suscetíveis aos impactos ambientais, especificamente para as áreas de Cerrado, ecossistema marcado por grande interferência antrópica.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a qualidade do solo em sistemas de manejo agrícola, florestal, pastagens e nativos para Latossolos sob Cerrado, com base em indicadores químicos e físicos, a fim de gerar índices de qualidade do solo que possam auxiliar o monitoramento da sua sustentabilidade ambiental.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS GERAIS**

Para a realização deste estudo foi construído e explorado um banco de dados sobre os atributos físicos e químicos dos Latossolos localizados em áreas sob Cerrado, reunindo informações de Beutler (1999), Brito (2004), D'Andrea (2001), Neves (2002), Pires (2004) e Silva (2001). Os atributos físicos indicadores de qualidade do solo estudados foram a densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade, diâmetro médio geométrico, condutividade hidráulica do solo saturado e resistência do solo à penetração. Os atributos químicos analisados foram o pH, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, soma de bases, CTC efetiva, saturação por alumínio, matéria orgânica, carbono orgânico total e estoque de carbono. A Tabela 1 apresenta os solos e as propriedades mineralógicas dos Latossolos estudados. A Tabela 2 mostra a granulometria e densidade de partículas dos Latossolos sob Cerrado.

### **2.1 Localizações das áreas de estudo**

O estudo foi realizado nas seguintes regiões de Minas Gerais: Campos das Vertentes, Vale do Rio Doce (Guanhães), Noroeste, Vale do Rio Doce (Belo Oriente), Central e região Sul do Estado de Goiás. A Figura 1 apresenta a localização dos ambientes em estudo.

TABELA 1 Características mineralógicas dos Latossolos sob Cerrado.

Região	Solo	Símbolo	Gb	Ct	Gb/ Gb+Ct	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ki	kr
			mg kg <sup>-1</sup>			-----g kg <sup>-1</sup> -----					
Campos das Vertentes – MG	Latossolo Vermelho-Amarelo típico	LVA <sub>1</sub>	290	350	0,45	161	260	145	10,8	1,05	0,78
Vale do Rio Doce – Guanhães – MG	Latossolo Vermelho distrófico típico	LV <sub>1</sub>	162	364	0,31	177	235	69	13,6	1,28	1,08
Noroeste – MG	Latossolo Vermelho distrófico típico	LV <sub>2</sub>	480	260	0,65	175	252	72	6,3	1,18	1,00
Vale do Rio Doce – Belo Oriente – MG	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico	LVA <sub>2</sub>	117	380	0,24	116	173	77	16,6	1,14	0,89
Central – MG	Latossolo Vermelho álico	LV <sub>3</sub>	160	310	0,34	234	319	120	5	1,24	1,08
Sul – Goiás	Latossolo Vermelho distrófico típico	LV <sub>4</sub>	335	188	0,64	123	174	140	1,96	1,2	0,8

Gb = gibbsita; Ct = caulinita; Ki = SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relação molecular; Kr = SiO<sub>2</sub>/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) relação molecular.

TABELA 2 Teores de silte, argila, areia e densidade de partículas (Dp) para os Latossolos sob Cerrado.

Local	Solo	Silte	Argila	Areia	Silte / Argila	Dp $\text{kg dm}^{-3}$
		----- $\text{g kg}^{-1}$ -----				
Campos das Vertentes - MG	LVA1	155	627	218	0,25	2,43
Guanhães - MG	LV1	71	598	331	0,12	2,56
Noroeste - MG	LV2	141	681	178	0,21	2,29
Belo Oriente - MG	LVA2	109	425	466	0,26	2,5
Central - MG	LV3	234	582	184	0,40	2,65
Sul - Goiás	LV4	198	335	467	0,59	2,52

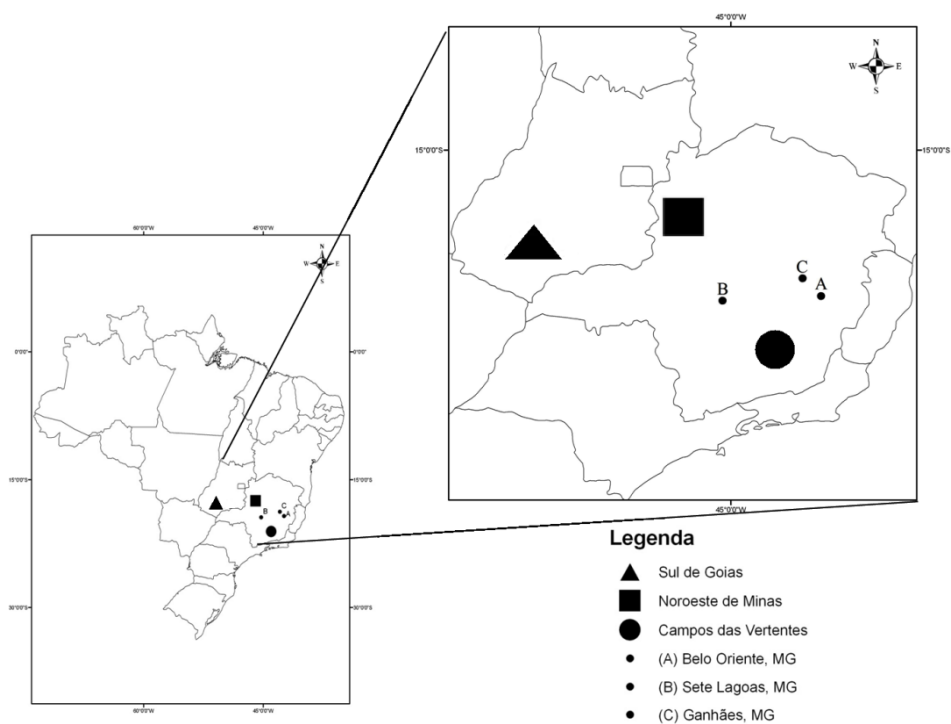


FIGURA 1 Localização das áreas em estudo.

### **2.1.1 Campos das Vertentes, MG**

A região dos Campos das Vertentes se localiza na bacia do Alto Rio Grande, entre a latitude sul 20° 21' e 21°42' e longitude oeste 43°16' e 44°42' portanto, situada no Centro Sul de Minas Gerais.

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

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico (LVA<sub>1</sub>) de textura argilosa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, 2006), desenvolvido sobre um substrato geológico correspondente a rochas metapelíticas pobres dos grupos São João Del Rei (filito) e Andrelândia (micaxisto).

A seleção dos sistemas de manejo estudados foi realizada buscando-se uma melhor representatividade da região sobre essa classe de solo, como mostra a Tabela 3.

### **2.1.2 Vale do Rio Doce, Guanhães, MG**

O estudo foi realizado em experimentos instalados nos plantios comerciais de eucalipto da empresa Celulose Nipo Brasileira S.A. – CENIBRA S.A., localizada na região do Vale do Rio Doce, no município de Guanhães, Estado de Minas Gerais, tendo por coordenadas 18° 46' de latitude sul e 42° 55' de longitude oeste.

TABELA 3 Caracterização dos sistemas de manejo no Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico na região Campos das Vertentes - MG.

Sistemas	Símbolo	Característica dos sistemas
Cerrado nativo	CN1	A vegetação primária remanescente na área é representada pelo Cerrado tropical subcaducifólio e campo Cerrado
Cultivo convencional com batata	CCB	Cultivo convencional com batata, que foi amostrado depois da colheita.
Cultivo convencional com batata e aveia	CCBAM	Cultivo convencional com batata, sucedido com aveia, após uma subsolagem pós-colheita da batata e rotacionado com milho, amostrado 15 dias após o plantio do milho.
Cultivo convencional com milho	CCM	Cultivo convencional com milho
Plantio direto com milho	PDM	Plantio direto com milho após o cultivo convencional com batata na safra, arroz e milho convencional, amostrado aos 52 dias após o plantio.
Eucalipto convencional	EC1	Cultivo convencional com eucalipto, sem aplicação de práticas de manejo posteriormente.

Fonte: Silva (2001) modificado.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa (inverno seco e verão chuvoso) com temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassando 22°C. A estação seca ocorre entre os meses de abril e setembro. A precipitação média anual da região é de 1180,8mm e altitude média é de 850m.

O solo da região em estudos é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (LV<sub>1</sub>), textura muito argilosa, A proeminente, álico, caulínítico-oxidico, mesoférico, relevo ondulado, substrato gnaisse e granito-gnaisse.

Os tratamentos foram constituídos de três sistemas de manejo de eucalipto, dois sistemas caracterizando situações de uso do solo na região

(pastagem nativa e solo descoberto) e um sistema utilizado como referência, representando a condição original (floresta nativa), conforme apresentado na Tabela 4.

TABELA 4 Caracterização dos sistemas de manejo no Latossolo Vermelho Distrófico típico (LV<sub>1</sub>) na região do Vale do Rio Doce, município de Guanhães – MG.

Sistemas	Símbolo	Característica dos sistemas
Cerrado nativo	CN2	Condição original
Pastagem nativa	PN	Pastagem nativa degradada de longa duração.
Solo descoberto	SD1	Sistema onde o solo não possui cobertura vegetal.
Eucalipto plantado no sentido da declividade com queima de restos culturais	EDq	Eucalipto plantado na linha que acompanha o sentido de declividade do terreno, sendo realizada a queima de restos culturais.
Eucalipto plantado no sentido da declividade sem queima de restos culturais	ED	Eucalipto plantado na linha que acompanha o sentido de declividade do terreno, sendo os restos culturais mantidos na superfície.
Eucalipto em nível	EN1	Linha de plantio do eucalipto é perpendicular ao sentido do declive.

Fonte: Brito (2004) modificado.

### 2.1.3 Noroeste de Minas Gerais

A região Noroeste do Estado de Minas Gerais localiza-se a latitude sul 16°10' e 18°42' e longitude oeste 44°24' e 47°44'. Sendo que a coleta das amostras foi realizada na fazenda experimental da Companhia Mineira de Metais (CMM) que está localizada na latitude sul 17°33' e longitude oeste 46°42'.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (LV<sub>2</sub>) (EMBRAPA, 2006).

Na região Noroeste do Estado de Minas Gerais foram estudados sete sistemas de produção, conforme Tabela 5.

Tabela 5 Caracterização dos sistemas de manejo no Latossolo Vermelho distrófico típico (LV<sub>2</sub>), região Noroeste de Minas Gerais.

Sistemas	Símbolo	Característica dos sistemas
Cerrado nativo	CN3	Vegetação típica de Cerrado, sem histórico de interferência humana e uso agrícola.
Eucalipto + arroz	EA	Eucalipto consorciado com arroz, sendo 4 meses a idade do eucalipto.
Eucalipto + soja	ES	Eucalipto consorciado com soja. Na data da amostragem, o eucalipto estava com 1 ano e 4 meses.
Eucalipto + pastagem	EP	Eucalipto consorciado com pastagem plantada. Na data da amostragem, o eucalipto estava com 3 anos e 4 meses.
Eucalipto + pastagem + gado	EPG	Eucalipto consorciado com pastagem plantada. Na data da amostragem, o eucalipto estava com 7 anos e 4 meses.
Pastagem convencional	PC	Pastagem convencional
Eucalipto convencional	EC2	Eucalipto convencional (espaçamento 3x2)

Fonte: Neves (2002) modificado.

#### 2.1.4 Vale do Rio Doce, Belo Oriente, MG

O estudo foi conduzido na estação experimental da empresa Nipo Brasileira S.A. – CENIBRA S.A., localizada no município de Belo Oriente e situada na região do Rio Doce, Estado de Minas Gerais, tendo por coordenadas 19° 17' de latitude sul e 42° 23' de longitude oeste e uma altitude de 233m.

O clima predominante nessa região é do tipo Aw, ou seja, tropical, com inverno seco e estação chuvosa no verão, segundo classificação de Köppen,

apresentando temperatura média variando entre 22° a 27°C por ano, sendo a temperatura máxima de 32°C e a mínima, de 18°C (média dos últimos dez anos) e precipitações médias anuais variando de 701 a 1500 mm. A estação seca ocorre entre os meses de maio a setembro.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA<sub>2</sub>) distrófico típico, textura muito argilosa. A formação geológica é o embasamento Granito-Gnáissico, do período Pré-Cambriano, e o material de origem são alterações de gnaisses.

Os tratamentos foram constituídos de seis sistemas de uso do solo conforme apresentado na Tabela 6.

TABELA 6 Caracterização dos sistemas de manejo no Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVA<sub>2</sub>) na região do Vale do Rio Doce, município de Belo Oriente – MG.

Sistemas	Símbolo	Característica dos sistemas
Cerrado nativo	CN4	Referencial de sistema em equilíbrio.
Pastagem plantada	PP1	Pastagem de <i>Brachiaria sp.</i> Referencial de uso do solo na região do estudo
Eucalipto plantado em nível	EN2	Linha de plantio do eucalipto é perpendicular ao sentido do declive.
Eucalipto convencional com queima de restos culturais	ECq	Eucalipto plantado na linha que acompanha o sentido de declividade do terreno, sendo realizada a queima de restos culturais.
Eucalipto convencional	EC3	Eucalipto plantado na linha que acompanha o sentido de declividade do terreno, sendo os restos culturais mantidos na superfície.
Solo descoberto	SD2	Referencial de sistema em processo de degradação.

Fonte: Pires (2004) modificado.

### **2.1.5 Região Central de Minas Gerais**

As amostras foram coletadas na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, MG, situada entre os paralelos 19° 25' sul e 44°15' oeste e altitude de 732m.

A temperatura média anual na região é de 22.1°C e a precipitação média é de 1340 mm ao ano. Segundo a classificação de Köppen, o clima é Aw (tropical estacional de savana).

O solo é um Latossolo Vermelho álico (LV<sub>3</sub>), com horizonte A moderado, textura muito argilosa, fase Cerrado tropical subcaducifólio e relevo suave ondulado, derivados de rochas pelíticas do grupo Bambuí Proterozóico Superior. O material de origem é produto da alteração das rochas supracitadas.

Para a região de Sete Lagoas foram estudados cinco sistemas de produção e um ambiente de referência, conforme Tabela 7.

### **2.1.6 Sul de Goiás**

O trabalho foi desenvolvido em propriedades agrícolas nos municípios de Morrinhos e Caldas Novas na região Sul do Estado de Goiás, situados na unidade Geomorfológica do Planalto Central Goiano, sub-unidade Planalto Rebaixado de Goiânia.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (LV<sub>4</sub>), conforme EMBRAPA (2006). Sendo este solo desenvolvido a partir de cobertura detrito-laterítica Pleistocênica sobre micaxistos do grupo Araxá do Proterozóico Inferior. A classificação textural do solo foi feita com base nos resultados de análise granulométrica realizada na profundidade de 80-100 cm.

TABELA 7 Caracterização dos sistemas de manejo no Latossolo Vermelho álico (LV<sub>3</sub>) na região de Sete Lagoas.

Sistemas	Símbolo	Característica dos sistemas
Cerrado Nativo	CN5	Ambiente sem interferência antrópica
Grade aradora e cultivo com milho	CGCM	Preparo convencional com grade aradora e cultivo contínuo com milho
Arado de discos e cultivo com milho	CDCM	Preparo convencional com arado de discos e cultivo contínuo com milho
Arado de discos e cultivo em rotação com milho e feijão	CDRMF	Preparo convencional com arado de discos e cultivo em rotação com milho e feijão.
Plantio direto e milho	PDCM	Plantio direto e cultivo contínuo com milho
Plantio direto e rotação com milho e feijão	PDRMF	Plantio direto e cultivo com rotação com milho e feijão

Fonte: Beutler (1999) modificado.

Os tratamentos foram constituídos de oito sistemas de uso do solo conforme apresentado na Tabela 8.

TABELA 8 Caracterização dos sistemas de manejo no Latossolo Vermelho distrófico típico (LV<sub>4</sub>) no Sul do Estado de Goiás.

Sistema	Símbolo	Característica dos sistemas
Cerrado nativo	CN6	Vegetação típica de cerrado “stictu sensu”, se histórico de interferência humana em uso agrícola
Pastagem	PP2	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 sob pivô central nos últimos 5 anos, com cultivo principal de milho semente em rotação com feijão na época da seca, tendo sido sub-solado para incorporação de termofosfato a 15 cm de profundidade há 2 anos.
Plantio direto irrigado	PDI 2	Sistema de plantio direto sob pivô central nos últimos 5 anos, com cultivo de milho, feijão e arroz e uma safra de tomate industrial com gradagem superficial a 1 cm há 2 anos.
Plantio direto de sequeiro	PDS	Sistema de plantio direto de sequeiro após longo tempo sob sistema convencional (soja), cultivo de soja sobre palha do milheto nos últimos 7 anos.
Plantio convencional irrigado	PCI 1	Sistema convencional, com uso de grade pesada, irrigado sob pivô central nos últimos 2 anos, com 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 pivô central nos últimos 2 anos, com histórico de rotação com abóbora/feijão/milho-doce, após mais de 10 anos sob pastagem de <i>Brachiaria decumbes</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)

Fonte: D’Andrea (2001) modificado.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEUTLER, A. N. **Produtividade de culturas e atributos físicos de Latossolo Vermelho-escuro fase Cerrado sob diferentes sistemas de manejo**. 1999. 69 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 129-136, Feb. 2002.

BRITO, L. F. **Erosão hídrica de Latossolo Vermelho distrófico típico em áreas de pós-plantio de eucalipto na região de Guanhães (MG)**. 2004. 78 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BURGER, J. A. Limitations of bioassays for monitoring forest soil productivity: rationale and exaple. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 60, n. 6, p. 1674-1678, June 1996.

CARDOSO, E. L. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. 154 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARTER, M. R.; GREGORICH, E. G.; ANDERSON, D. W.; DORAN, J. W.; JANZEN, H. H.; PIERCE, F. J. Concepts of soil quality and their significance. In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.). **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam: Elsevier Science, 1997. p. 1-20.

CONCEIÇÃO P. C.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 777-788, set./out. 2005.

D'ANDREA, A. F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás**. 2001. 106 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indications 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. p. 25-37. (SSSA Special Publication, 49).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass e vegetações do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23 jan. 2010.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 9-16, June 2000.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 145-156, 2003.

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

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physics and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 53-71.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR RESEARCH AND MANAGEMENT, 2., 1991, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: IBSRAM, 1991. p. 175-203.

NEVES, C. M. N. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril, no noroeste do estado de Minas Gerais**. 2002. 87 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PIRES, L. S. **Sistemas de manejo de eucalipto e erosão hídrica em Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso na região de Belo Oriente (MG)**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. v. 2, p. 359-417.

SILVA, R. R. **Qualidade do solo em função dos diferentes sistemas de manejo na região Campo das Vertentes, Bacia Alto Rio Grande-MG**. 2001. 97 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, London, v. 49, n. 1, p. 1-24, 1999.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276.

## **CAPÍTULO 2**

### **ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO EM LATOSSOLOS SOB CERRADO**

## 1 RESUMO

O Cerrado apresenta intensiva produção vegetal e animal, a maior parte conduzida sobre os Latossolos. Estes solos apresentam características físicas favoráveis à agricultura mecanizada, e restrições químicas ligadas à baixa fertilidade e elevada toxidez por alumínio, que podem ser limitantes a uma alta produtividade. O cultivo pode alterar ainda mais a disponibilidade de nutrientes e reduzir a qualidade destes solos. Com isto, objetivou-se analisar os atributos físicos e químicos indicadores da qualidade dos solos em ambientes nativos, agrícolas, pastagens e florestas plantadas, no bioma Cerrado. O estudo consistiu da avaliação de um banco de dados que apresenta informações de 39 sistemas de uso dos Latossolos em 6 regiões do Cerrado Brasileiro, sendo avaliadas as camadas de 0 – 20 cm de profundidade. Os atributos físicos analisados foram a densidade do solo, porosidade (macro e micro), permeabilidade à água, estabilidade de agregados e resistência do solo à penetração. Os atributos químicos foram acidez, fertilidade, matéria orgânica, carbono orgânico total e estoque de carbono. Os atributos físicos analisados foram sensíveis a redução da qualidade do solo em ambientes manejados, principalmente nos sistemas que revolvem fortemente o solo. Na maioria dos casos, a exploração do solo nativo causou aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração, e reduziu a porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica do solo saturado e o diâmetro médio geométrico dos agregados, houve ainda redução da acidez e aumento da fertilidade para os sistemas que receberam correções e fertilizações. Sistemas de plantio direto e reflorestamento de eucalipto sem queima apresentam maiores teores de matéria orgânica, carbono orgânico total e estoque de carbono que os outros sistemas. A matéria orgânica foi um importante indicador da qualidade do solo, porém outros atributos devem ser considerados na estimativa dos índices de qualidade dos solos.

## 2 ABSTRACT

The Brazilian Cerrado hosts intensive crop and animal production, mostly on Oxisols. These soils have suitable physical conditions to mechanized farming, but also chemical restraints such as low fertility and high aluminum toxicity. Cropping may change nutrient availability and reduce soil quality. Thus, we aimed to analyze physical and chemical indicators of soil quality under native environments, agriculture, pastures and planted forests in the Cerrado Biome. The study consisted of evaluating a database about 39 land use systems in Oxisols of 6 regions of the Brazilian Cerrado, for the 0 - 20 cm depth. The physical attributes analyzed were bulk density, porosity (macro and micro), soil permeability, aggregate stability and soil penetration resistance (the latter for the 0 – 60 cm depth). The chemical attributes were acidity, fertility, organic matter, total organic carbon and carbon stock. The physical attributes showed a reduced soil quality in managed sites, soil was heavily or constantly plowed. In most cases, increases in bulk density and soil penetration resistance, and reduced total porosity, macroporosity, saturated hydraulic conductivity and geometric mean diameter of the aggregates occurred. Also, reduced acidity and increasing fertility were noted in limed, fertilized sites. No-tillage systems and eucalypt of forestation without residue burning showed higher organic matter, total organic carbon and carbon stocks than other systems. The organic matter was an important indicator of soil quality, but other factors should be considered in estimating of soil quality index.

### 3 INTRODUÇÃO

O Cerrado ocupa aproximadamente 207 milhões de hectares do território brasileiro, o que representa 4% da região tropical do mundo, sendo que os Latossolos possuem maior representatividade neste bioma, com aproximadamente 46 % da área (Correia et al., 2004). Os Latossolos apresentam propriedades físicas consideradas favoráveis à agricultura mecanizada, porém os atributos químicos são insuficientes para uma boa produção agrícola para a maioria das culturas, sendo que estes atributos podem ser corrigidos através de calagens e adubações, e com isto passam a atingir altas produtividades.

Atualmente o Cerrado possui intensos cultivos, sendo que algumas áreas apresentam reduções na qualidade do solo e risco de manutenção da sustentabilidade do ambiente. Segundo Doran & Parkin (1994), a qualidade do solo é expressa quando o solo funciona dentro dos limites de um ecossistema natural, de modo a sustentar a produção biológica, promover a saúde dos animais e das plantas, e manter a qualidade do meio ambiente. Geralmente é determinada por um conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos, que representam as diferentes características do solo e que influenciam suas diversas funções. Cada um destes atributos edáficos, por sua vez, pode ou não ter bom desempenho, o que vai influenciar de modo significativo a produção agropecuária.

A redução da qualidade dos atributos físicos do solo afeta diretamente o espaço poroso do solo, de forma a prejudicar o fornecimento de água e de oxigênio, limitando o desenvolvimento das plantas e a atividade de organismos (Tormena et al., 1998), influenciando, dessa forma, diversos processos fundamentais para que o solo exerça suas funções (Aguiar, 2008).

A estrutura do solo é um dos indicadores mais importantes para o crescimento das plantas, uma vez que influi diretamente nas condições de

adensamento, compactação, encrostamento, infiltração de água e suscetibilidade do solo à erosão (Campos et al., 1995). A estrutura pode ser avaliada por meio da densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo. Estes indicadores mostram o efeito do manejo do solo, sendo de fácil mensuração, com respostas rápidas e de razoável precisão (Doran & Parkin, 1994).

O conhecimento da densidade do solo é um importante indicativo das condições de manejo do solo e o seu valor refletirá, em última análise, as características do sistema poroso do solo, sendo que a densidade do solo em ambientes não cultivados é uma propriedade física que depende dos fatores e processos pedogenéticos. A habilidade das raízes penetrarem no perfil diminui quando a densidade e a resistência do solo à penetração aumentam. Em solos com menor umidade, a coesão e a resistência do solo à penetração são maiores, a pressão hidrostática das células das raízes diminui e, conseqüentemente, ocorre maior dificuldade para as raízes superarem a resistência do solo e obterem um desenvolvimento normal (Hamza & Anderson, 2005).

A porosidade é a fração volumétrica do solo ocupada com ar e, ou, água, representando o local onde circulam a solução (água e nutrientes) e o ar, sendo, portanto, o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo (Hillel, 1970). A porosidade é dividida, empiricamente, em macroporosidade (poros com diâmetro  $> 0,05$  mm) e microporosidade (poros com diâmetro  $< 0,05$  mm). Os fenômenos de infiltração de água no solo (fluxo descendente) ocorrem principalmente pelos macroporos, enquanto a armazenagem (retenção) de água ocorre nos microporos. A compactação do solo tende a reduzir principalmente os valores de macroporosidade, razão pela qual há redução da infiltração de água e, conseqüentemente, aumento do risco de erosão.

A estabilidade dos agregados varia com as características inerentes ao solo e com os sistemas de manejo. Os intensos revolvimentos dos solos provocam a quebra dos agregados, podendo reduzir drasticamente sua estabilidade. Com o rompimento dos agregados, a matéria orgânica que estava em seu interior fica desprotegida, acelerando seu processo de decomposição, diminuindo cada vez mais a resistência destes agregados e a qualidade do solo (Aguiar, 2008).

Entre as várias propriedades químicas do solo determinantes de sua qualidade, a capacidade de troca de cátions (CTC) é uma das mais importantes, sendo que a matéria orgânica exerce um papel extremamente relevante para a CTC dos Latossolos, representando algo em torno de 50 a 90% da CTC em pH 7,0, apesar de representar, na maioria dos casos, menos de 5% da massa total de sólidos do solo. Isso significa que, principalmente nos Latossolos, a matéria orgânica, por reter nutrientes e compostos, é fundamental para que o solo exerça a função de servir como um meio de crescimento para as plantas, influenciando a disponibilidade potencial dos nutrientes e determinando, muitas vezes, o potencial produtivo dos solos (Vezzani et al., 2008).

Bayer & Bertol (1999) relataram que o efeito da matéria orgânica nas propriedades químicas do solo depende da quantidade de resíduos e da composição da rotação de culturas, sendo que o conteúdo e a qualidade da matéria orgânica constituem atributos que podem ser utilizados para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. De acordo com Bayer & Mielnizuk (2008), além de sensível às modificações no uso do solo, a matéria orgânica influencia a disponibilidade de nutrientes e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais, na sua maioria altamente intemperizados e ácidos.

O estoque de carbono orgânico no solo é o produto da ação da biomassa microbiana sobre a matéria orgânica do solo, o qual, dependendo das práticas de

manejo poderá aumentar ou reduzir o seu estoque no solo, sendo por isto considerado um indicador da qualidade do solo e do ar. A quantidade de carbono armazenada possui relação direta com a taxa de adição de resíduos vegetais e inversa à velocidade de decomposição da matéria orgânica, a qual é influenciada pelo grau de aeração, relação C/N e natureza dos resíduos vegetais (Moreira & Siqueira, 2006).

Neste estudo, objetivou-se analisar os atributos físicos e químicos indicadores da qualidade dos solos em ambientes nativos, agrícolas, pastagens e florestas plantadas, no bioma Cerrado.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização, clima, solo e sistemas de manejo

A caracterização dos locais, climas, solos e sistemas de manejos nas diversas áreas estão descritas no item Material e Métodos Gerais do Capítulo 1.

### 4.2 Determinação de campo

A resistência do solo à penetração foi determinada utilizando-se o penetrômetro de impacto (modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF), segundo a metodologia de Stolf et al. (1983). Os valores obtidos em  $\text{Kgf cm}^{-2}$  foram multiplicados pelo fator 0,098 para serem expressos em MPa.

### 4.3 Determinações de laboratório

Foram coletadas amostras com estruturas indeformadas com o uso do amostrador de Uhland, em cilindros com dimensões médias de 8,25 cm de altura por 6,90 cm de diâmetro interno, sendo a densidade do solo determinada segundo Blake & Hartge (1986).

O volume total de poros foi determinado segundo expressão preconizada por Danielson & Sutherland (1986). A distribuição de poros por tamanho foi determinada utilizando-se funil com placa porosa, na unidade de sucção com 60 cm de altura de coluna de água para separação de macro e microporosidade em amostras previamente saturadas por 48 horas. Nesta situação, o volume de água retido nas amostras após o equilíbrio corresponde à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença entre o volume total de poros e a microporosidade (Grohmann, 1960).

As amostras com estrutura deformada foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, sendo secas ao ar e passadas na peneira de 2 mm (terra fina) para análises.

Na caracterização química, os teores de Ca, Mg e Al trocável, extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e analisados por titulometria junto com o pH em água (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, 1997), o P e K extraídos pelo método Mehlich 1 e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente, foram analisados conforme Vettori (1969).

A partir destes resultados foram calculados a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC), o índice de saturação por base (V) e o índice de saturação por alumínio trocável (m).

O teor de carbono orgânico total foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley & Black, 1934). O carbono acumulado na camada de solo estudada (estoque de carbono orgânico) foi calculado utilizando a seguinte expressão:

$$\text{EstC} = \frac{(\text{CO total} * \text{Ds} * \text{e})}{10}$$

Em que:

EstC = estoque de carbono orgânico na camada estudada (Mg ha<sup>-1</sup>);

CO total = carbono orgânico total (g kg<sup>-1</sup>);

Ds = densidade do solo da camada estudada (kg dm<sup>-3</sup>);

e = espessura da camada estudada (cm).

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965), com emprego de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante químico e agitação rápida (12.000 rpm), durante 10 minutos. Os agregados com diâmetro de 4,76 a 7,93 mm foram obtidos por peneiramento do solo, e a estabilidade de agregados determinada através de peneiramento em água após pré-umedecimento lento dos agregados por capilaridade durante 24 horas (Oliveira et al., 1983; Kemper & Rosenau, 1986). Foram usadas peneiras de malhas correspondentes a 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm para separação das classes de tamanho dos agregados. Os

resultados foram expressos em diâmetro médio geométrico (DMG) calculado utilizando-se a seguinte expressão:

$$DMG = e^x \quad X = \left[ \frac{\sum (w_i * Ln x_n)}{\sum w_i} \right]$$

Em que:

DMG: diâmetro médio geométrico (mm);

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

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

□  $w_i$ : massa total da amostra (g).

A permeabilidade do solo à água foi avaliada em laboratório, partindo-se de amostras saturadas previamente por capilaridade e utilizando-se permeâmetro de carga constante, adaptado para eliminação da água percolada junto às paredes do cilindro, seguindo metodologia descrita por Lima et al. (1990). Para efeito de cálculo, considerou-se os valores estabilizados após cinco leituras iguais. Utilizou-se a expressão:

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

Em que:

K: condutividade hidráulica do solo saturado ( $mm h^{-1}$ );

Q: volume de água coletado no intervalo de tempo t ( $cm^3$ );

L: altura do cilindro (cm);

A: área da seção transversal do cilindro ( $cm^2$ );

h: altura da lâmina d'água sobre a amostra (cm);

t: intervalo de tempo entre as coletas (minutos).

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

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

Em que:

$K_S$  = condutividade hidráulica do solo saturado a 20°C (mm h<sup>-1</sup>);

$K$  = condutividade hidráulica do solo saturado (mm h<sup>-1</sup>);

$\mu_t$  = viscosidade da água à temperatura da determinação das leituras;

$\mu_{20}$  = viscosidade da água a 20°C.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização granulométrica dos solos

As características granulométricas e a densidade de partículas dos Latossolos estudados são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 Teores de silte, argila, areia e densidade de partículas para os Latossolos sob Cerrado.

Local	Solo	Silte	Argila	Areia	Silte /	Dp
		----- g kg <sup>-1</sup> -----		-----	Argila	kg dm <sup>-3</sup>
Campos das Vertentes - MG	LVA1	155	627	218	0,25	2,43
Guanhães - MG	LV1	71	598	331	0,12	2,56
Noroeste - MG	LV2	141	681	178	0,21	2,29
Belo Oriente - MG	LVA2	109	425	466	0,26	2,50
Central - MG	LV3	234	582	184	0,40	2,65
Sul - Goiás	LV4	198	335	467	0,59	2,52

Em relação à proporção relativa do tamanho de partículas, verificou-se teores elevados da fração argila, baixos de silte e relação silte/argila menor que 0,7. Os valores de densidade de partículas apresentaram variações de 2,29 a 2,65 kg dm<sup>-3</sup>, sendo que a densidade de partículas não é influenciada por alterações mecânicas, mas sim pelo teor de matéria orgânica nos solos.

### 5.2 Propriedades mineralógicas

Os solos tropicais apresentam elevado grau de intemperismo, com mineralogia da fração argila dominada por minerais silicatados do tipo 1:1 e óxidos de ferro e alumínio (Resende et al., 2007). Os Latossolos são os que melhor representam as tendências pedogenéticas dos solos tropicais, sendo definidos como aqueles que apresentam um horizonte subsuperficial mineral B latossólico, que evidencia seu estágio avançado de intemperismo, como mostrado pela completa ou quase total alteração e decomposição de minerais

facilmente intemperizáveis, pela elevada profundidade e pela baixa capacidade de troca catiônica (Camargo et al., 1988).

Os Latossolos apresentam mineralogia da fração argila basicamente dominada por caulinita, gibbsita, goethita e hematita, além de óxidos de ferro e alumínio mal cristalizados, sendo que as propriedades mineralógicas dos Latossolos estudados são apresentadas na Tabela 2. Embora a composição mineralógica predominante nos solos tropicais possa ser considerada simples, variações que podem ocorrer dentro e entre os grupos de minerais quanto ao tamanho de partículas e superfície específica, faces expostas, graus de substituição isomórfica e cristalinidade podem proporcionar grande variabilidade ao comportamento desses solos dentro de uma mesma classe (Netto, 1996).

### **5.3 Atributos físicos**

#### **5.3.1 Densidade do solo**

A densidade do solo aumentou nos sistemas de manejo que sofreram interferência antrópica, sendo os três menores valores encontrados em ambientes naturais, representados pelo Cerrado nativo (CN5) da região Central de Minas Gerais e Cerrado nativo (CN2 e CN4), ambos do Vale do Rio Doce, MG, com valores de 0,83, 0,87 e 0,93 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabela 3).

Os maiores valores de densidade do solo foram observados para os sistemas de uso instalados no Sul de Goiás, sendo os três maiores valores para o plantio convencional irrigado, convencional de sequeiro e plantio direto de sequeiro (PCI2, PCS e PDS), com valores de 1,36, 1,35 e 1,31 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. A manutenção do solo na forma descoberta (SD2 e SD1) causou um aumento considerável da densidade do solo em relação ao ambiente nativo da mesma região, visto que os dois sistemas de uso do solo nesta condição apresentaram valores de densidade do solo de 1,29 e 1,23 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, e os ambientes nativos apresentaram 0,93 e 0,87 kg dm<sup>-3</sup>. Os

resultados de densidade encontrados para os Latossolos em estudo ficaram abaixo do valor de  $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$ , valor que segundo Arshad et al. (1996) é restritivo ao crescimento radicular das plantas em solos argilosos.

Alterações nos valores de densidade de solos cultivados em relação à condição natural são reportadas por diversos autores (Costa et al., 2003; Cardoso, 2008; Carneiro et al., 2009). A densidade do solo em ambientes não cultivados é uma propriedade física que depende dos fatores e processos pedogenéticos. O menor valor de densidade do solo para áreas nativas e que não sofreram interferência antrópica decorre de um maior acúmulo de resíduos vegetais incorporados ao solo, associado à não perturbação da estrutura pelo tráfego de máquinas e de implementos agrícolas, pisoteio animal, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequados (Hamza & Anderson, 2005).

De início, torna-se difícil afirmar em quais sistemas de uso o aumento de densidade do solo tenderia a ser deletério a outras funções e a qualidade do solo em razão das diferenças na composição granulométrica, da natureza química e mineralógica do solo, do tempo de uso dos sistemas de manejo e da resiliência e resistência inerente a cada classe de solo, dentre outros fatores (Araujo, 2008).

TABELA 2 Características mineralógicas dos Latossolos sob Cerrado.

Região	Solo	Símbolo	Gb	Ct	Gb/ Gb+Ct	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ki	kr
			mg Kg <sup>-1</sup>			-----g Kg <sup>-1</sup> -----					
Campos das Vertentes – MG	Latossolo Vermelho-Amarelo típico	LVA <sub>1</sub>	290	350	0,45	161	260	145	10,8	1,05	0,78
Vale do Rio Doce – Guanhães – MG	Latossolo Vermelho distrófico típico	LV <sub>1</sub>	162	364	0,31	177	235	69	13,6	1,28	1,08
Noroeste – MG	Latossolo Vermelho distrófico típico	LV <sub>2</sub>	480	260	0,65	175	252	72	6,3	1,18	1,00
Vale do Rio Doce – Belo Oriente – MG	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico	LVA <sub>2</sub>	117	380	0,24	116	173	77	16,6	1,14	0,89
Central – MG	Latossolo Vermelho álico	LV <sub>3</sub>	160	310	0,34	234	319	120	5	1,24	1,08
Sul – Goiás	Latossolo Vermelho distrófico típico	LV <sub>4</sub>	335	188	0,64	123	174	140	1,96	1,2	0,8

Gb = gibbsita; Ct = caulinita; Ki = SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relação molecular; Kr = SiO<sub>2</sub>/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) relação molecular.

### 5.3.2 Porosidade total e distribuição de poros por tamanho

Considerando todos os sistemas de manejo, os valores de porosidade total variaram entre 0,47 e 0,68  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$  (Tabela 3). Dentre os sistemas de uso do solo sem interferência antrópica, dois sistemas apresentaram os maiores valores de porosidade total, sendo o Cerrado nativo da região Central (CN5) o sistema que apresentou o maior valor, seguido do Cerrado nativo (CN2) de Guanhães, plantio direto e cultivo com rotação com milho e feijão (PDRMF) e plantio com preparo convencional com arado de discos + cultivo em rotação com milho e feijão (CDRMF), ambos do Vale do Rio Doce de Minas Gerais, apresentando valores de porosidade total de 0,68; 0,65; 0,63 e 0,62  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , respectivamente.

A redução na porosidade total em áreas com manejo agrícola em relação às áreas nativas estão de acordo com as observações de Carneiro et al. (2009) e Tormena et al. (1998), sendo que estes últimos verificaram redução de até 24 % na porosidade total, quando comparado com áreas que não sofreram ação antrópica. O pisoteio de animais, máquinas agrícolas e manejo inadequado acarretam interferências na estrutura do solo, promovendo redução na porosidade total. Segundo Stone & Silveira (2001), sistemas de rotação de culturas podem aumentar a porosidade total do solo quando implantados em áreas agrícolas, sendo este efeito confirmado neste estudo.

Os menores valores de porosidade total foram encontrados nos solos descobertos (SD2 e SD1), seguidos do plantio direto de sequeiro (PDS), plantio convencional irrigado (PCI2) e plantio convencional de sequeiro (PCS), apresentando valores de 0,47, 0,49, 0,49, 0,50 e 0,50  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , respectivamente. O fato da área com solo descoberto apresentar os menores valores de porosidade total pode estar relacionado à ausência de culturas com sistema radicular profundo, processo que aumenta os poros após a decomposição das raízes, sendo que nestas áreas poros antigos podem estar entupidos devido a reorganização da superfície após a retirada da cobertura vegetal.

TABELA 3 Densidade do solo, volume total de poros, macro e microporosidade para os sistemas de uso do solo no Cerrado.

Uso do solo	Densidade do solo	Porosidade total	Macro	Micro
	Kg dm <sup>-3</sup>	-----	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	-----
Campos das Vertentes – MG - LVA <sub>1</sub>				
CCB	1,17	0,52	0,09	0,43
CCBAM	1,22	0,51	0,10	0,41
CCM	1,05	0,56	0,10	0,46
PDM	1,18	0,52	0,05	0,47
EC1	1,15	0,53	0,07	0,46
CN1	1,11	0,55	0,18	0,37
Vale do Rio Doce – Guanhães – MG - LV <sub>1</sub>				
CN2	0,87	0,65	0,33	0,32
PN	1,08	0,56	0,19	0,38
SD1	1,23	0,49	0,10	0,40
EDq	1,14	0,54	0,17	0,37
ED	1,13	0,55	0,18	0,37
EN1	1,18	0,54	0,17	0,37
Noroeste – MG – LV <sub>2</sub>				
CN3	1,07	0,54	0,24	0,30
EA	1,06	0,54	0,23	0,31
ES	1,01	0,55	0,19	0,36
EP	1,15	0,54	0,23	0,31
EPG	1,13	0,56	0,27	0,29
PC	0,99	0,60	0,21	0,39
EC2	1,14	0,52	0,28	0,24
Vale do Rio Doce – Belo Oriente – MG – LVA <sub>2</sub>				
CN4	0,93	0,60	0,30	0,30
PP1	1,20	0,50	0,15	0,35
EN2	1,13	0,55	0,26	0,29
ECQ	1,21	0,51	0,19	0,32
EC3	1,19	0,52	0,21	0,3
SD2	1,29	0,47	0,11	0,36
Central – MG – LV <sub>3</sub>				
CGCM	1,11	0,58	0,16	0,42
CDCM	1,10	0,59	0,16	0,43
CDRMF	0,98	0,62	0,21	0,41
PDCM	1,11	0,58	0,17	0,41
PDRMF	0,97	0,63	0,21	0,42
CN5	0,83	0,68	0,29	0,39

(...continua...)

TABELA 3, Cont.

Sul – Goiás – LV <sub>4</sub>				
CN6	1,27	0,52	0,19	0,35
PP2	1,14	0,56	0,21	0,35
PDI1	1,21	0,51	0,17	0,34
PDI2	1,18	0,56	0,21	0,35
PDS	1,31	0,49	0,17	0,32
PCI1	1,19	0,56	0,23	0,33
PCI2	1,36	0,50	0,13	0,37
PCS	1,35	0,50	0,23	0,27
Estatística descritiva				
Mínimo	0,83	0,47	0,05	0,24
Quartil inferior	1,08	0,52	0,16	0,32
Média	1,13	0,56	0,21	0,38
Mediana	1,14	0,54	0,19	0,36
Quartil superior	1,20	0,56	0,23	0,40
Máximo	1,36	0,68	0,33	0,47

Os maiores valores de macroporosidade foram encontrados para áreas sem interferência antrópica (Tabela 3), sendo que o Cerrado nativo (CN2) em Guanhães, MG, o Cerrado nativo (CN4) em Belo Oriente e o Cerrado Nativo (CN5) na região Central de MG, apresentaram valores de macroporosidade iguais a 0,32; 0,30 e 0,29 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente. Através destes dados mostra-se que existe uma tendência de redução dos macroporos do solo quando áreas nativas são transformadas em áreas agrícolas ou florestais.

Os menores valores de macroporosidade foram encontrados nos sistemas instalados nos Campos das Vertentes (MG). Segundo Thurler (1989), a menor presença dos macroporos tende a ocorrer em uma mesma região, pois este atributo está relacionado com a textura do solo. Na região dos Campos das Vertentes os macroporos apresentaram baixos valores, na ordem de 0,05; 0,07; 0,09; 0,10 e 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para os sistemas PDM; EC1; CCB; CCBAM e CCM, respectivamente. Para esta região, o Cerrado nativo (CN1) apresentou valor superior de macroporosidade que os sistemas agrícolas, 0,18 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, o que

demonstra uma sensibilidade deste atributo na detecção das alterações impostas pelos diferentes sistemas de manejo na condição natural.

Os maiores valores de microporosidade foram encontrados na região dos Campos das Vertentes, em Minas Gerais (Tabela 3). Isto ocorre pela mesma explicação dada à macroporosidade na área, visto que para a mesma porosidade total um aumento na macroporosidade ocasiona a redução da microporosidade.

A região Noroeste de MG utiliza sistema agrossilvopastoril e apresentou os menores valores de microporosidade, dentre eles destacam-se o sistema de eucalipto convencional (EC2) e eucalipto + pastagem + gado (EPG) com valores de 0,24 e 0,29  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , respectivamente.

### **5.3.3 Permeabilidade do solo à água**

A permeabilidade do solo à água, avaliada através da condutividade hidráulica do solo saturado, apresentou acentuada diferença entre os sistemas de manejo utilizados nos Latossolos (Tabela 4). Os menores valores de permeabilidade do solo foram encontrados na região Central de Minas Gerais, sendo que os sistemas de manejo agrícola sofreram reduções entre 85 e 93,3 % de sua permeabilidade quando comparados ao Cerrado nativo da mesma região. Nos outros ambientes, o sistema que utiliza plantio direto com milho (PDM) no Campo das Vertentes, MG, apresentou o menor valor de permeabilidade, 13,8  $\text{mm h}^{-1}$ , e este valor se justifica, pois este sistema apresentou o menor valor de macroporosidade encontrado nos solos estudados, conforme Tabela 3.

TABELA 4 Diâmetro médio geométrico (DMG) para diversos sistemas de uso do solo na região do Cerrado.

Uso do solo	Condutividade hidráulica	DMG
	mm h <sup>-1</sup>	mm
Campo das Vertentes – MG - LVA <sub>1</sub>		
CCB	42,6	4,67
CCBAM	29,8	4,85
CCM	49,4	4,68
PDM	13,8	4,64
EC1	41,3	4,77
CN1	38,0	4,87
Vale do Rio Doce – Guanhões – MG - LV <sub>1</sub>		
CN2	230,0	4,90
PN	90,0	4,71
SD1	183,0	4,79
EDq	174,0	4,92
ED	160,0	4,92
EN1	75,0	4,89
Noroeste – MG – LV <sub>2</sub>		
CN3	733,7	4,39
EA	136,4	4,05
ES	348,6	4,17
EP	74,95	3,92
EPG	128,6	4,00
PC	240,9	4,03
EC2	214,5	4,33
Vale do Rio Doce – Belo Oriente – MG – LVA <sub>2</sub>		
CN4	191,0	4,55
PP1	81,8	4,36
EN2	180,0	4,57
ECQ	161,0	4,46
EC3	152,0	4,35
SD2	70,0	1,95
Central – MG – LV <sub>3</sub>		
CGCM	6,1	2,44
CDCM	13,5	1,93
CDRMF	14,2	3,87
PDCM	6,7	3,87
PDRMF	6,7	2,71
CN5	95,0	4,42

(...continua...)

TABELA 4, Cont.

Sul – Goiás – LV <sub>4</sub>		
CN6	174,5	4,62
PP2	340,8	4,42
PDI1	65,1	4,38
PDI2	145,1	4,38
PDS	76,3	3,67
PCI1	253,6	3,15
PCI2	114,8	4,56
PCS	159,9	2,63
Estatística descritiva		
Mínimo	6,1	1,93
Quartil inferior	46,0	3,96
Média	136,2	4,07
Mediana	114,8	4,39
Quartil superior	177,2	4,68
Máximo	733,7	4,92

Os maiores valores de permeabilidade foram encontrados nos sistemas Cerrado nativo (CN3) e eucalipto + soja (ES) da região Noroeste, MG, seguidos da pastagem (PP2) e plantio convencional irrigado (PCI1) do Sul de Goiás e pastagem da região Noroeste, MG, que apresentaram valores de 733,77; 348,6; 340,8; 253,6 e 240,92 mm h<sup>-1</sup>.

Conforme as classes de permeabilidade adaptadas do Soil Survey Staff (1993) e apresentadas na Tabela 5, 71,8 % dos solos foram classificados com a permeabilidade variando entre as classes moderada e rápida, sendo esta alta permeabilidade uma das características dos Latossolos.

#### 5.3.4 Estabilidade de agregados

O Diâmetro Médio Geométrico (DMG) representa uma estimativa do tamanho dos agregados de maior ocorrência e demonstra a estabilidade da estrutura frente à ação de desagregação da água, podendo indicar o grau de susceptibilidade do solo à erosão hídrica (Bertol et al., 2004).

TABELA 5 Classes de permeabilidade do solo à água

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

Fonte: Soil Survey Staff (1993).

Com isto, os sistemas nativos dentro de cada região e os sistemas que possuem eucalipto na região de Guanhães e Belo Oriente, MG, por não apresentarem revolvimento constante do solo, baixo tráfego de máquinas e pisoteio de animais, são os sistemas que possuem os agregados de maior tamanho (Tabela 4).

Dentre os cinco menores valores de DMG, três foram encontrados em sistemas de uso do solo instalados na região Central, MG, sendo eles o preparo convencional do solo com arado de discos para plantio de milho (CDCM), preparo convencional com grade aradora para o plantio de milho (CGCM), e o plantio direto com rotação com milho e feijão (PDRMF), que apresentam valores de DMG de 1,93, 2,44 e 2,71 mm, respectivamente. Os outros dois sistemas são o solo descoberto (SD2) de Belo Oriente, MG, e o plantio convencional de sequeiro (PCS) na região Sul do Estado de Goiás. Uma característica destes sistemas, com exceção do PDRMF, foi o grande revolvimento do solo pelas operações de preparo do solo que fracionaram os agregados maiores em agregados menores. Para o PDRMF, uma possível explicação pelos baixos índices de DMG apresentados seria o pouco tempo de

transformação do plantio convencional em plantio direto, com isto o sistema ainda mantém índices de DMG de quando o solo era revolvido e pulverizado.

De modo geral, verificou-se uma estabilidade de agregados muito alta para os Latossolos da região do Cerrado, uma vez que a maioria dos valores foram superiores a 4 mm, conforme proposto na Tabela 6. Esta alta estabilidade de agregados é uma característica dos Latossolos do Cerrado, o que possibilita a instalação de uma agricultura intensiva sem danos ainda maiores ao ambiente (Costa et al., 2002).

TABELA 6 Classes de estabilidade de agregados.

Classe	Diâmetro médio geométrico - mm
Muito alta	> 4
Alta	4- 3
Moderada	3- 2
Baixa	2- 1
Muito baixa	< 1

Fonte: Silva (2001) – Síntese de pesquisa bibliográfica – DCS/UFLA

### 5.3.5 Resistência do solo à penetração

A resistência à penetração até a profundidade de 60 cm para os sistemas de manejo estudados em Latossolos de Cerrado estão representado nas Figuras 1 a 6.

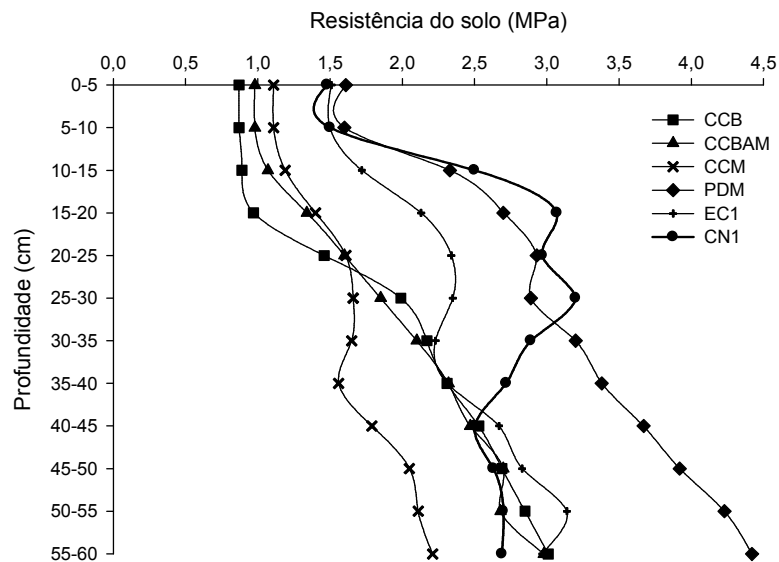


FIGURA 1 Resistência à penetração para o LVA<sub>1</sub>, localizado no Campos das Vertentes, MG.

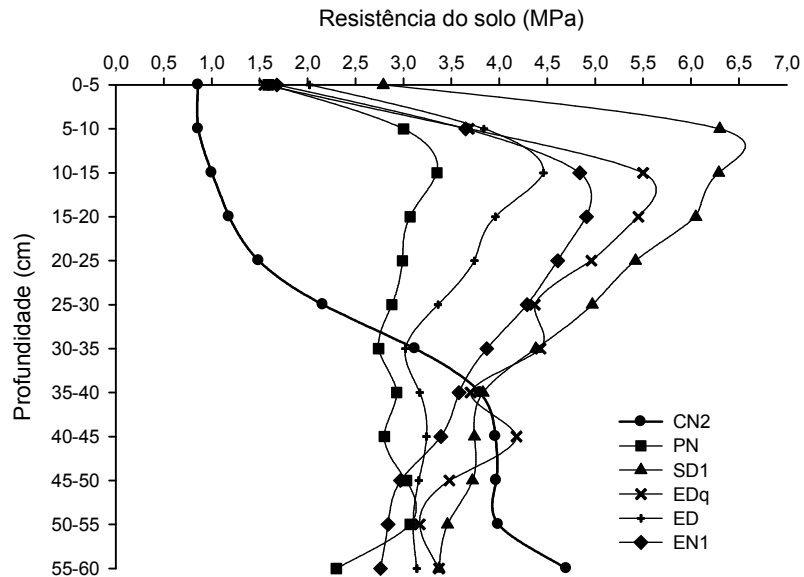


FIGURA 2 Resistência à penetração do solo para o LV<sub>1</sub>, localizado no Vale do Rio Doce, Guanhães, MG.

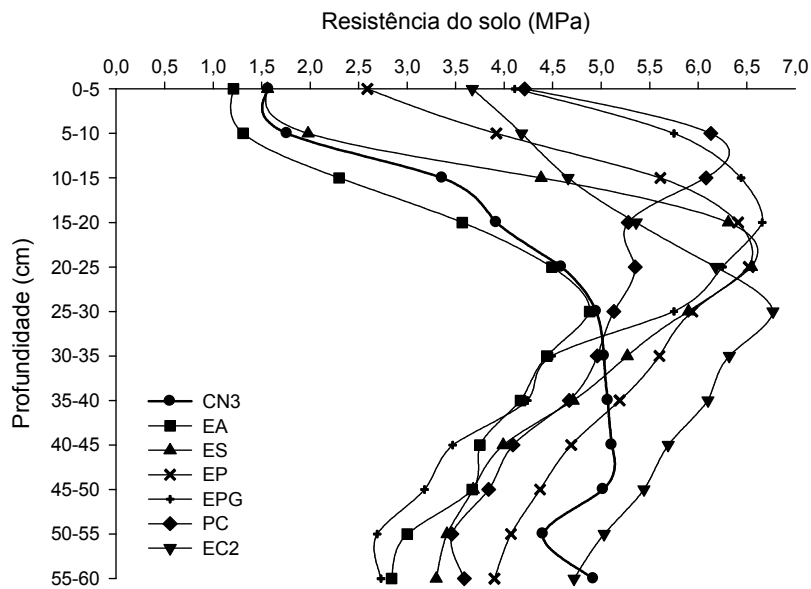


FIGURA 3 Resistência à penetração do LV<sub>2</sub>, região Noroeste, MG.

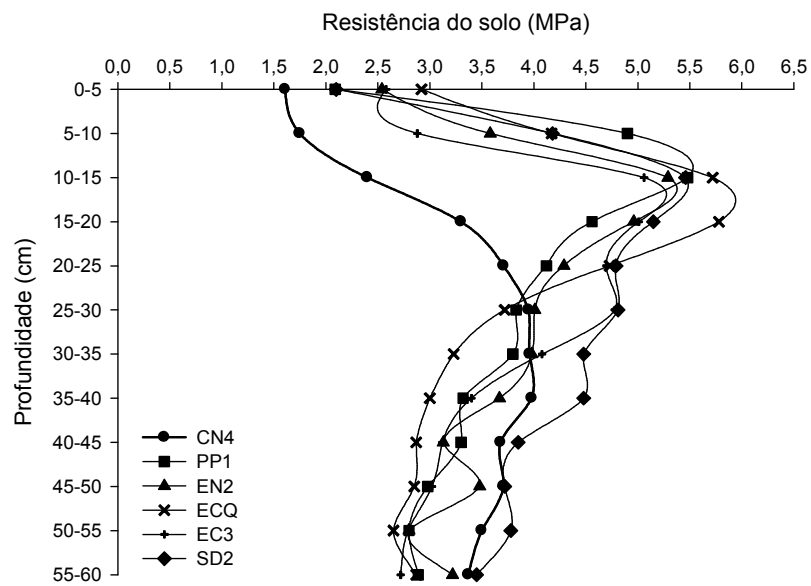


FIGURA 4 Resistência à penetração do solo para o LVA<sub>2</sub>, Vale do Rio Doce, Belo Oriente, MG.

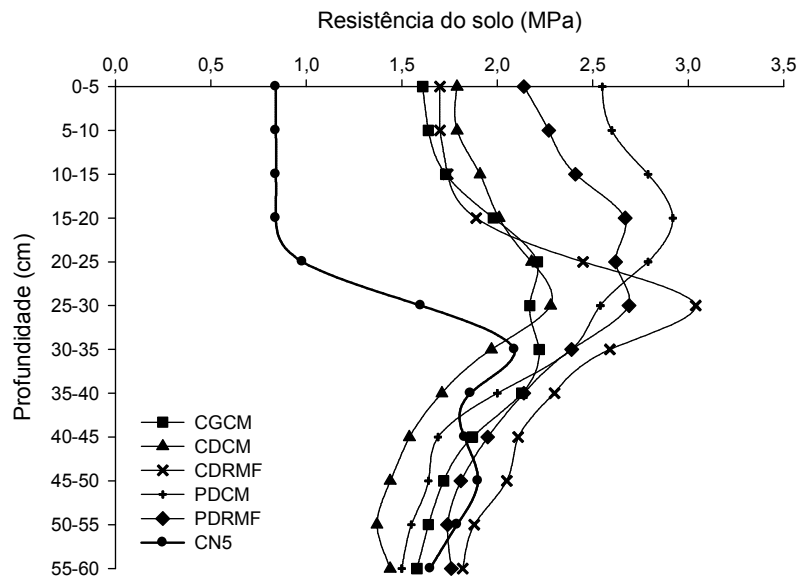


FIGURA 5 Resistência à penetração do solo para o LV<sub>3</sub>, região Central, MG.

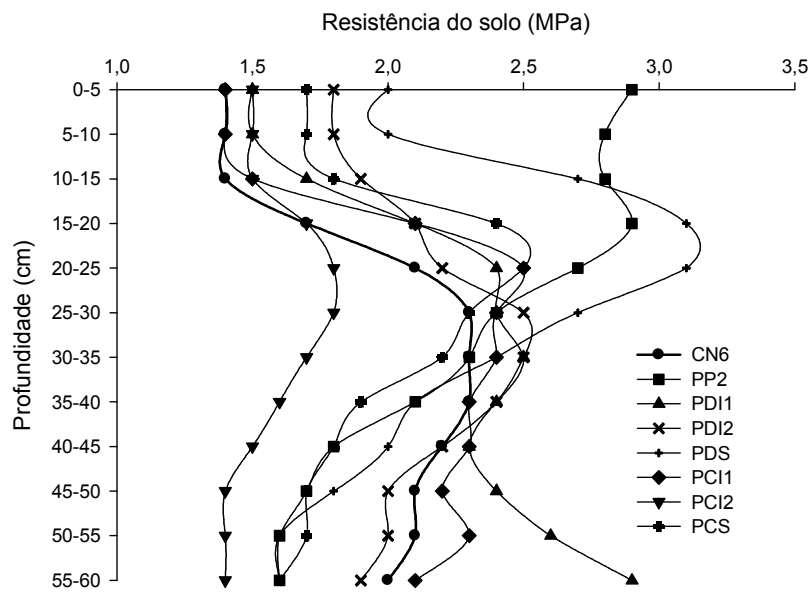


FIGURA 6 Resistência à penetração do solo para o LV<sub>4</sub>, região Sul de Goiás.

Os valores de resistência à penetração variaram de 0,84 MPa a 6,77 MPa (Tabela 7). Nos sistemas nativos, com exceção do Cerrado nativo (CN2) de Guanhães, a resistência média do solo à penetração aumenta consideravelmente nas subcamadas, alcançando valores de 5,11 MPa no Cerrado nativo da região Noroeste de Minas Gerais na profundidade de 40-45 cm. Desse modo, verifica-se que existe uma tendência de adensamento natural dos Latossolos localizados sob o bioma Cerrado, que podem atingir as classes média a alta de resistência à penetração conforme classificação constante na Tabela 6.

TABELA 7 Estatística descritiva para a resistência do solo à penetração no Cerrado.

Profundidade	Resistência do solo à penetração, MPa					
	Menor	Quartil inferior	Média	Mediana	Quartil superior	Maior
0-10	0,84	1,50	2,24	1,75	2,80	6,30
10-20	0,84	1,82	3,27	2,79	5,00	6,66
20-30	0,98	2,31	3,41	2,93	4,68	6,77
30-40	1,56	2,30	3,15	2,89	3,98	6,32
40-50	1,40	2,01	2,88	2,83	3,68	5,69
50-60	1,37	1,89	2,73	2,79	3,35	5,03
0-60	0,84	1,90	2,96	2,7	3,83	6,77

A profundidade de 0-10 cm foi a que apresentou a menor média de resistência do solo à penetração, sendo que os menores valores foram encontrados em ambientes sem interferência antrópica, que é o caso do Cerrado nativo da região Central de Minas (CN5) e do Cerrado nativo de Guanhães (CN2), que apresentaram valores de 0,84 e 0,86 MPa, respectivamente. Nesta profundidade o solo descoberto de Guanhães (SD1) e de Belo Oriente (SD2) apresentaram alta resistência à penetração, com valores de 6,30 e 4,18 MPa, respectivamente, característica que pode dificultar a colonização de plantas devido estes valores estarem classificados nas classes média a alta de resistência

à penetração (Tabela 8). Ainda nesta profundidade, os sistemas pastagem convencional (PC) e eucalipto + pastagem + gado (EPG), ambos da região Noroeste de Minas Gerais, e pastagem plantada de Belo Oriente (PP1) apresentaram valores de 6,13; 5,75 e 4,9 MPa, isso pode ser devido ao pisoteio animal que pode causar uma compactação, principalmente nos primeiros centímetros do solo, comprovado por aumentos superiores na profundidade de 0-10 cm (Kondo & Dias Júnior, 1999).

TABELA 8 Classes de resistência mecânica do solo à penetração e graus de limitação ao crescimento das raízes.

Classe	Resistência à penetração (MPa)	Limitações ao crescimento das raízes
Muito baixa	< 1,1	Sem limitações
Baixa	1,1 – 2,5	Poucas limitações
Moderada	2,6 – 5,0	Algumas limitações
Alta	5,1 – 10,0	Sérias limitações
Muito alta	10,1 – 15,0	Raízes praticamente não crescem
Extremamente alta	> 15,0	Raízes não crescem

Fonte: Camargo & Alleoni (1997).

Na profundidade de 10-20 cm continua-se a tendência da camada superior a esta, sendo que os sistemas Cerrado nativo da região Central de Minas (CN5) e o Cerrado nativo de Guanhães (CN2) apresentam os menores valores de resistência à penetração. Nesta profundidade, os sistemas que utilizam o plantio de batata (CCB e CCBAM) no Campo das Vertentes, MG, apresentam pequena resistência à penetração (Tabela 1A), devido ao processo de colheita das batatas, onde ocorre um grande revolvimento do solo.

As profundidades acima de 20 cm apresentaram altos valores de resistência do solo à penetração, o que não pode ser evidenciado apenas pelo pisoteio animal nos sistemas de pastagem, visto que este efeito se restringe

somente à camada superficial do solo. Segundo Araujo et al. (2004), a compactação e maior resistência do solo à penetração podem ser também decorrentes do ajuste de partículas, consequência do entupimento dos poros pelas partículas mais finas, bem como dos ciclos de umedecimento e secagem do solo.

Para Arshad et al. (1996), o crescimento radicular de culturas anuais sofre restrição em valores de resistência à penetração acima de 2,0 MPa, e conforma a Tabela 8, acima de 2,6 MPa existem algumas restrições ao crescimento das raízes, com isto, para as profundidades acima de 20 cm o desenvolvimento de raízes nas áreas estudadas pode ser comprometido, visto que a maioria dos solos apresentaram resistência à penetração superiores a 2,5 MPa (Tabela 1A).

#### **5.4 Atributos químicos**

A Tabela 9 apresenta os atributos químicos para os diversos sistemas de uso do solo. Todos os solos e sistemas de uso estudados foram classificados como ácidos, sendo que esta acidez variou de muito baixa (< 4,5) a boa (5,1 – 6,0), conforme classificação agrônômica utilizada por Alvarez et al. (1999). Os solos sem interferência antrópica apresentaram os menores valores de pH quando comparados aos solos manejados dentro da mesma localidade, com exceção para a região do Vale do Rio Doce, Belo Oriente, MG, onde a pastagem plantada (PP1) apresentou pH igual a 4,5 e o Cerrado nativo (CN4) pH igual a 4,6. Os menores valores de pH ocorreram nos ambientes nativos pelo fato destas áreas apresentarem maiores deposições de serrapilheira e, conseqüentemente, no processo de decomposição ocorrer maior liberação de ácidos, o que diminui os valores de pH do solo.

Segundo Mello et al. (1984), a geração de acidez pode ser atribuída, em parte, à matéria orgânica em decomposição, que fornece prótons  $H^+$  e esses tendem a acidificar os solos, juntamente com a lixiviação de cátions de reação básica da camada arável e à intensificação da erosão hídrica. O processo de acidificação do solo é influenciado pelos métodos de preparo, sistemas de culturas e fertilização nitrogenada, acontecendo interação entre os três fatores em solos cultivados.

TABELA 9 Valores de pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), potássio (K) e fósforo (P) para os sistemas de uso do solo na região do Cerrado.

Uso do solo	pH	Ca	Mg	SB	t	K	P	m
	H <sub>2</sub> O	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	-----	---- mg dm <sup>-3</sup> ----	-----	%
Campo das Vertentes – MG - LVA <sub>1</sub>								
CCB	5,20	0,75	0,25	1,00	1,25	29,05	2,15	21,5
CCBAM	5,15	0,65	0,2	0,90	1,20	20,65	2,05	30,4
CCM	5,15	0,95	0,35	1,40	1,55	40,30	3,20	25,8
PDM	5,20	0,95	0,35	1,35	1,50	37,75	2,95	17,6
EC1	5,15	0,95	0,15	1,10	1,65	15,00	2,75	49,0
CN1	5,15	0,55	0,15	0,75	1,05	17,00	1,75	30,3
Vale do Rio Doce – Guanhães – MG - LV <sub>1</sub>								
CN2	4,33	0,51	0,18	0,84	2,63	56,50	3,08	68,1
PN	4,59	0,31	0,16	0,59	2,36	45,67	1,38	75,0
SD1	4,34	0,84	0,22	1,15	2,64	39,00	2,79	60,2
EDq	4,66	1,54	0,34	1,98	2,99	37,17	3,74	44,1
ED	4,37	0,92	0,35	1,41	2,91	51,17	3,83	55,6
EN1	4,44	0,93	0,27	1,30	2,83	40,00	3,11	64,3
Noroeste – MG – LV <sub>2</sub>								
CN3	4,88	0,44	0,17	0,76	2,13	58,92	0,65	64,5
EA	4,98	0,93	0,51	1,53	1,75	28,67	0,32	27,0
ES	5,18	1,15	0,76	2,01	1,29	35,83	0,54	33,5
EP	5,20	1,02	0,68	1,79	2,35	27,92	2,66	33,0
EPG	5,28	0,95	0,50	1,50	2,13	23,33	0,30	32,0
PC	5,73	0,81	0,40	1,41	1,95	70,42	0,48	31,5
EC2	4,98	0,57	0,20	0,88	2,28	37,58	1,35	62,5

(...continua...)

TABELA 9, Cont.

Vale do Rio Doce – Belo Oriente – MG – LVA <sub>2</sub>								
CN4	4,60	0,76	0,46	1,36	1,58	56,44	0,88	9,3
PP1	4,50	0,61	0,38	1,11	1,29	49,59	0,74	7,8
EN2	4,60	0,46	0,28	0,83	0,96	35,35	0,54	5,7
ECQ	4,80	0,61	0,37	1,10	1,28	47,13	0,72	7,6
EC3	5,10	0,56	0,34	1,01	1,17	44,02	0,67	7,0
SD2	5,10	0,54	0,33	0,98	1,14	42,17	0,64	6,8
Central – MG – LV <sub>3</sub>								
CGCM	5,73	4,00	1,20	5,45	5,65	80,15	4,90	5,3
CDCM	5,65	4,53	1,35	6,08	6,08	60,10	4,45	0,3
CDRMF	5,75	7,38	1,23	8,95	8,95	136,25	36,68	0,0
PDCM	5,70	4,20	1,63	6,00	6,10	78,50	10,10	1,6
PDRMF	6,05	6,13	1,30	7,78	7,78	143,00	32,43	0,0
CN5	5,03	2,83	0,50	3,35	4,20	24,18	1,78	22,0
Sul – Goiás – LV <sub>4</sub>								
CN6	4,95	0,70	0,45	1,30	2,00	52,5	1,0	35,0
PP2	5,15	0,75	0,40	1,25	1,65	37	1,0	24,2
PDI1	5,65	2,85	1,30	3,45	3,45	210	42,5	0,0
PDI2	5,70	1,70	0,80	2,65	2,65	60	9,5	0,0
PDS	5,45	1,75	1,10	3,00	3,00	65,5	13,5	0,0
PCI1	5,65	1,25	0,75	2,15	2,15	53,5	1,5	0,0
Estatística descritiva								
Mínimo	4,33	0,31	0,15	0,59	0,96	15,00	0,30	0,0
Quartil inferior	4,80	0,61	0,27	1,01	1,50	35,83	0,74	5,7
Média	5,11	1,55	0,55	2,20	2,69	53,71	5,48	25,9
Mediana	5,15	0,93	0,38	1,36	2,13	44,02	2,05	24,2
Quartil superior	5,45	1,54	0,75	2,15	2,91	58,92	3,74	35,0
Máximo	6,05	7,38	1,63	8,95	8,95	210,00	42,50	75,0

Com a diminuição do pH do solo ocorre um incremento nos teores de alumínio trocável e, conseqüentemente, de alumínio solúvel. Quanto maior o alumínio solúvel maior é sua toxidez para as plantas, ocasionando danos ao sistema radicular e reduzindo a absorção de nutrientes (Salet et al., 1999).

Os sistemas que utilizam o plantio direto na região Central de Minas Gerais (PDRMF e PDCM) e no Sul de Goiás (PDI1 e PDI2) apresentaram valores de pH entre os maiores, com valores variando de 6,05 e 5,65. Sendo que

o aumento do pH nestas áreas de cultivo deve-se à aplicação de calcário na superfície, junto com a ausência de revolvimento do solo através de arações e gradagens. O aumento de pH em áreas de plantio direto foram descritas por vários autores, e Frazão et al. (2008) afirmam que em sistemas de plantio direto pode-se ter uma elevação excessiva do pH, sendo neste caso prejudicial ao solo.

Os outros sistemas que apresentaram altos valores de pH foram o preparo convencional com arado de discos e rotação com milho e feijão (CDRMF), preparo convencional com grade aradora e cultivo de milho (CGCM), na região Central, MG, e a pastagem convencional (PC) na região Noroeste, MG, com valores de 5,75; 5,73 e 5,73, respectivamente. Sendo que estes valores de pH estão próximos a faixa considerada adequada para a maioria das culturas e onde existe o aumento da disponibilidade dos nutrientes essenciais para as plantas.

O cálcio e magnésio seguiram a tendência do pH, sendo que os menores valores foram encontrados para os ambientes sem interferência antrópica, dentro de cada região, com exceção do Vale do Rio Doce, Belo Oriente, MG, onde todos os ambientes estudados apresentam menor disponibilidade de cálcio e magnésio que o Cerrado nativo (CN4). Uma possível explicação para esta diferença em Belo Oriente pode ser devida a implantação dos sistemas de cultivo sem a correta correção da fertilidade e controle da erosão. Com isto os sistemas manejados possuíram uma maior extração de nutrientes pelas culturas e/ou perda por erosão, sendo que na floresta nativa ocorreu uma grande reciclagem dos nutrientes e menores perdas.

A região Central de Minas Gerais apresentou os maiores teores de cálcio e magnésio. Como as aplicações destes elementos nos solos estão normalmente associadas à prática da calagem, conclui-se que estes solos estão sob o efeito desta prática de correção da acidez, visto que esta região apresentou altos valores de pH.

Carneiro et al. (2009) avaliando atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo sob Cerrado, em diferentes sistemas de uso e manejo, encontrou valores de pH, Ca, Mg e P inferiores para o ambiente nativo em relação às áreas manejadas, o que está coerente, pois nesta área não houve correção e adubação do solo e se trata de solos originalmente distróficos.

Os menores valores de potássio foram registrados para o Campo das Vertentes, MG, onde o eucalipto convencional (EC1), o Cerrado nativo (CN1) e o cultivo convencional com batata e aveia (CCBAM) apresentaram teores de potássio igual a 15, 17 e 20,65 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Baixos teores de potássio também foram encontrados no sistema eucalipto + pastagem + gado (EPG) na região Noroeste e no Cerrado nativo da região Central, ambos em Minas Gerais, com teores 23,33 e 24,18 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Baixos teores de potássio foram encontrados em algumas áreas de florestas de eucalipto, o que pode ser uma limitação para o desenvolvimento desta cultura em Latossolos, pois este nutriente é considerado um dos principais limitantes do crescimento desta cultura no Brasil (Barros & Novais, 1996).

Os maiores teores de potássio foram encontrados na região Sul de Goiás para o plantio direto irrigado (PDII) e Central, MG, para o plantio direto com rotação milho + feijão (PDRMF); preparo convencional com arado de discos e cultivo em rotação com milho e feijão (CDRMF), preparo convencional com grade aradora e cultivo contínuo com milho (CGCM) e plantio direto e cultivo contínuo com milho (CGCM), que apresentaram teores de 210; 143; 136,2; 80,1 e 78,5, respectivamente. Como os sistemas de referência nestas regiões apresentaram baixos teores de potássio, pode-se afirmar que uma adubação potássica eficiente foi realizada nas áreas em estudo da região Central de Minas Gerais e no sistema PDII do Sul de Goiás.

Os resultados relacionados ao potássio variam conforme o tipo de solo (textura, mineral de argila), regime de drenagem e quantidade adicionada na

adubação. Muzzili (1983) observou em seus estudos uma distribuição similar do potássio no solo nos sistemas plantio direto e plantio convencional. Santos et al. (2003) relataram que, após sete anos, os teores de potássio foram mais elevados nas camadas superficiais dos preparos reduzidos. Sidiras & Pavan (1985) observaram maior distribuição deste elemento no perfil do solo, no sistema com cobertura permanente e no plantio direto, devido provavelmente à maior infiltração de água observada nesses tratamentos. Os autores verificaram ainda menores teores de potássio no plantio convencional, o que foi atribuído à mobilização do solo, lixiviação, erosão e maior utilização pelas plantas.

Segundo Wiethölter (2002), a distribuição, o conteúdo e, conseqüentemente, a disponibilidade de cátions trocáveis (Ca, Mg e K) podem ser afetados pelos métodos de preparo do solo e sistemas de culturas, devido, principalmente, às alterações na CTC do solo, localização da aplicação de fertilizantes e corretivos e variação na capacidade de reciclar nutrientes.

O teor total de fósforo do solo depende inicialmente do material de origem, mas o fósforo disponível para as culturas depende do grau de intemperização, das características químicas e físicas e da atividade biológica do solo, bem como da vegetação predominante que o utiliza como nutriente (Selles et al., 1997). A região Noroeste de Minas apresentou os menores teores de fósforo dentre todas as regiões estudadas, sendo que os sistemas eucalipto + pastagem + gado (EPG), eucalipto + arroz (EA), pastagem convencional (PC) e eucalipto + soja (ES), apresentaram teores de 0,30; 0,32; 0,48 e 0,54 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Naturalmente os solos do Brasil, com destaque para os Latossolos, apresentam uma baixa disponibilidade de fósforo, além de existir uma forte tendência do fósforo aplicado ao solo reagir com os componentes do mesmo para formar compostos de baixa solubilidade (Furtini Neto et al., 2001). Com isto, existe a possibilidade do sistema agrossilvopastoril instalado nesta área não ter recebido correção de fertilidade adequada o suficiente para saturar

os componentes responsáveis pela fixação de fósforo e aumentar o teor disponível do nutriente para as plantas.

Ambientes nativos apresentaram maiores teores de fósforo que áreas cultivadas, dentro das mesmas regiões. Isto ocorre devido à maior quantidade de material vegetal depositado ao solo no ambiente nativo; com isso houve aumento na quantidade de matéria orgânica e liberação do nutriente no processo de mineralização (Rodrigues, 2006). A disponibilidade de fósforo é aumentada pela matéria orgânica decomposta, pois certos compostos orgânicos formam complexos com ferro e alumínio, evitando a formação de compostos insolúveis de fósforo com esses dois elementos. A decomposição da matéria orgânica também produz ácidos inorgânicos que dissolvem compostos de fósforos encontrados em formas insolúveis na solução do solo (Novais et al., 2007). Segundo Fernandes (2005), em áreas de floresta nativa há maior deposição de serrapilheira e maior produção de ácidos orgânicos que em áreas onde não ocorreu a correção do solo, o que favorece a maior disponibilidade de fósforo na floresta nativa.

Conforme descrito para os outros nutrientes, na região Sul de Goiás o sistema que utiliza o plantio direto irrigado (PDI1) e a região Central, MG, apresentaram os maiores teores de fósforo; com isto, podemos afirmar que esta região além de ter recebido uma boa correção da acidez e adubação potássica, recebeu uma correção fosfatada eficiente. O plantio direto irrigado (PDI1) do Sul de Goiás, seguido pelo preparo convencional com arado de discos e cultivo em rotação com milho e feijão (CDRMF), plantio direto e cultivo com rotação com milho e feijão (PDRMF), plantio direto e cultivo contínuo com milho (PDCM), preparo convencional com grade aradora e cultivo contínuo com milho (CGCM) e o preparo convencional com arado de discos e cultivo contínuo com milho (CDCM) apresentaram teores de 42,5; 36,68; 32,43; 10,10; 4,90 e 4,45 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo, respectivamente.

A soma de bases reflete a soma de cálcio, magnésio, potássio e, se for o caso, também o sódio, todos na forma trocável, no complexo de troca de cátions do solo. Enquanto os valores absolutos, resultantes das análises destes componentes, refletem os níveis destes parâmetros de forma individual, a soma de bases dá uma indicação do número de cargas negativas dos colóides que está ocupada por bases (Furtini Neto et al., 2001). Os menores valores de soma de bases foram encontrados em ambientes nativos, sendo que a pastagem nativa (PN), Vale do Rio Doce, MG, o Cerrado nativo (CN1), Campo das Vertentes, MG e o Cerrado nativo (CN3), Noroeste, MG, apresentaram valores de 0,59, 0,75 e 0,76  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  de soma de bases.

A região Central de Minas Gerais apresentou os maiores valores de soma de bases, o que era esperado, pois esta região, conforme já discutido, recebeu correção da acidez através de calagem e adubações para formação e manutenção da fertilidade do solo. Conseqüentemente, esta região também apresentou os maiores teores de CTC efetiva, que reflete a capacidade de troca de cátions do solo ou, em outras palavras, a capacidade do solo em reter cátions próximo ao valor do pH natural.

Os menores valores de CTC efetiva foram encontrados em duas regiões de Minas Gerais, em Belo Oriente (Vale do Rio Doce) e nos Campos das Vertentes. Para a primeira região os sistemas de cultivo com eucalipto em nível (EN2), solo descoberto (SD2) e eucalipto convencional (EC3), apresentaram valores de 0,96, 1,14 e 1,17  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; e para a segunda região os sistemas Cerrado nativo (CN1) e Cultivo convencional com batata e aveia (CCBAM) apresentaram valores de CTC efetiva de 1,05 e 1,20  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Os maiores valores de CTC efetiva foram encontrados na região Central de Minas Gerais, pois os solos desta região foram corrigidos e adubados, conforme descrito anteriormente.

Bayer & Mielniczuk (1997) verificaram a interação entre métodos de preparo e sistemas de culturas em relação ao seu efeito sobre a CTC efetiva, aumentando à medida que se reduziu o revolvimento do solo e se elevou a quantidade de resíduos vegetais produzidos pelos sistemas de culturas, sendo o efeito restrito às camadas superficiais. No entanto, estudos feitos por Lal et al. (1990), em solo de textura argilosa, e confirmados neste trabalho, demonstraram redução na CTC do solo sob plantio direto, comparado ao plantio convencional, mesmo com um aumento da matéria orgânica, podendo este efeito ser atribuído ao bloqueio de cargas dos argilominerais pela matéria orgânica pela formação de complexos organominerais.

A percentagem de saturação de alumínio (m) expressa a percentagem de CTC efetiva que está ocupada pelo alumínio trocável. Em termos práticos, reflete a percentagem das cargas negativas do solo, próximo ao pH natural que está ocupada por alumínio trocável (Furtini Neto et al., 2001). As maiores percentagens de saturação de alumínio ocorreram em ambientes naturais ou em plantios de eucalipto, sendo que os sistemas pastagem nativa (PN), Cerrado nativo (CN2), Cerrado nativo (CN3), eucalipto em nível (EN1) e eucalipto convencional (EC2) apresentaram 75,8; 68,1; 64,5; 64,3; 62,5%, respectivamente. Estes altos valores de saturação por alumínio para os ambientes nativos já eram esperados, pois nestes solos não foi feito nenhum tipo de correção e naturalmente a maioria dos Latossolos apresentam valores de alumínio que podem ser tóxicos para muitas plantas. Os altos valores de percentagem de saturação de alumínio encontrados nas áreas de eucalipto não são problemas, visto que esta cultura é bastante tolerante ao alumínio (Barros & Novais, 1999).

#### **5.4.1 Carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono no solo**

A Tabela 10 apresenta os valores de carbono orgânico total (COT) para os sistemas de uso dos Latossolo estudados. Os teores COT diminuíram com a conversão do ambiente nativo para cultivado em todas as regiões estudadas, com exceção para os sistemas que utilizam o plantio direto com milho (PDM) no Campo das Vertentes, MG, e para os sistemas de plantio direto e pastagem plantada (PDI1, PDI2 e PP2) no Sul de Goiás. Segundo Balesdent et al. (2000), o plantio direto aumenta os teores de carbono orgânico total, sendo a magnitude deste efeito dependente do tipo de solo e condições climáticas.

Conforme Cardoso (2008), os resultados relatados na literatura sobre a maior capacidade da pastagem ou mata nativa acumular COT são contraditórios. Neste estudo, a pastagem nativa (PN) de Guanhões no Vale do Rio Doce, a pastagem convencional (PC) da região Noroeste e a pastagem plantada (PP1) de Belo Oriente, Vale do Rio Doce, apresentaram teores de COT menores que os ambientes nativos de suas regiões. A única exceção ocorreu para a pastagem plantada (PP2) instalada no Sul de Goiás que apresentou 17,05 g kg<sup>-1</sup> e foi maior que os 15,25 g kg<sup>-1</sup> de COT encontrado no Cerrado Nativo (CN6).

Os ambientes que sofreram maior redução do teor de COT em relação aos ambientes nativos de suas regiões foram o solo descoberto (SD2) e a pastagem plantada (PP1) de Belo Oriente, plantio convencional de sequeiro (PCS) no Sul de Goiás, eucalipto + pastagem + gado (EPG) e o eucalipto + arroz (EA), que sofreram reduções de 78; 41; 39; 32 e 30% . Freixo et al. (2002), trabalhando com Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de preparo e rotação de cultura no Cerrado, encontraram redução dos teores de COT em todos os tratamentos, quando comparado ao ambiente nativo.

Shukla et al. (2006) consideram a matéria orgânica do solo como o indicador ideal para avaliar qualidade dos solos. Isto ocorre devido a várias funções e processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem no solo estarem

relacionados diretamente com a presença de matéria orgânica. Além disso, a matéria orgânica é eficiente na monitorização de mudanças da qualidade do solo no tempo.

TABELA 10 Valores de matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono para os sistemas de uso do solo no Cerrado.

Uso do solo	MOS	COT	Estoque carbono
	----- g kg <sup>-1</sup> -----	-----	Mg ha <sup>-1</sup>
Campo das Vertentes – MG - LVA <sub>1</sub>			
CCB	38,66	22,43	49,06
CCBAM	38,82	22,52	53,66
CCM	44,16	25,62	54,64
PDM	49,33	28,62	67,24
EC1	40,02	23,22	50,75
CN1	46,83	27,17	59,32
Vale do Rio Doce – Guanhães – MG - LV <sub>1</sub>			
CN2	63,20	36,69	63,84
PN	45,60	26,44	57,11
SD1	45,90	26,65	65,56
EDq	44,40	25,79	58,80
ED	58,10	33,70	76,16
EN1	54,90	31,86	75,19
Noroeste – MG – LV <sub>2</sub>			
CN3	29,39	17,05	34,91
EA	20,56	11,93	24,88
ES	21,55	12,50	24,87
EP	22,54	13,08	29,11
EPG	20,00	11,60	26,58
PC	25,39	14,73	29,85
EC2	25,69	14,90	34,37
Vale do Rio Doce – Belo Oriente – MG – LVA <sub>2</sub>			
CN4	64,13	37,20	69,2
PP1	37,93	22,00	52,8
EN2	58,44	33,90	88,6
ECQ	47,58	27,60	65,7
EC3	63,10	36,60	76,6
SD2	13,96	8,10	20,8

(...continua...)

TABELA 10, Cont.

Central – MG – LV <sub>3</sub>			
CGCM	36,75	21,32	46,91
CDCM	35,25	20,45	44,98
CDRMF	36,50	21,17	42,05
PDCM	38,00	22,04	49,95
PDRMF	35,00	20,30	40,46
CN5	49,00	28,42	47,48
Sul – Goiás – LV <sub>4</sub>			
CN6	26,29	15,25	37,81
PP2	29,39	17,05	40,75
PDI1	28,10	16,30	40,24
PDI2	28,70	16,65	40,43
PDS	25,69	14,90	38,71
PCI1	23,27	13,50	34,02
PCI2	24,39	14,15	37,66
PCS	16,03	9,30	25,89
Estatística descritiva			
Mínimo	14,00	8,10	20,80
Quartil inferior	25,70	14,90	36,28
Média	37,20	21,61	48,13
Mediana	36,80	21,32	46,91
Quartil superior	46,40	26,91	59,06
Máximo	64,10	37,20	88,60

Neste estudo, a matéria orgânica apresentou a mesma tendência dos resultados encontrados pelos teores de COT no solo, conforme Tabela 10. Sendo que os sistemas que possuem menor revolvimento do solo obtiveram maiores teores de matéria orgânica, com destaque para os sistemas de plantio direto, que acumularam altos teores de matéria orgânica. Segundo Bayer et al. (2000), práticas como o sistema plantio direto e rotação de culturas conduzem ao aumento da matéria orgânica, pois proporciona elevada cobertura do solo durante o ano, aporte contínuo de resíduos vegetais e promove o mínimo revolvimento do solo garantindo a qualidade do solo e contribuindo para diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera.

Conforme United State Department of Agriculture (2008), citado por Vezzani & Mielniczuk (2009), o avanço das reflexões sobre qualidade do solo conduziu ao pensamento atual da comunidade científica, em que a maneira mais prática para aumentar a qualidade do solo é promover o melhor manejo da matéria orgânica do solo. Para este autor, manejar o solo para aumentar a matéria orgânica pode melhorar a produtividade e qualidade ambiental e pode reduzir a severidade e os custos financeiros de fenômenos naturais, como seca, alagamento e doenças. Além disso, aumentar os teores de matéria orgânica pode reduzir as concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico, o que contribui para a mudança climática. Porém, Stenberg (1999) afirma que nenhum indicador individualmente consegue descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo. Nem mesmo uma única função do solo é suficiente, já que deve haver uma relação entre todos os seus atributos. Assim um número mínimo de indicadores deve ser selecionado.

Os menores valores de matéria orgânica foram encontrados nos ambientes que apresentaram os menores teores de COT, devido a relação entre estes dois atributos. Neste estudo, o solo descoberto (SD2) e o plantio convencional de sequeiro (PCS) apresentaram reduções de 70 e 39 % nos teores de matéria orgânica, respectivamente, quando comparados aos ambientes nativos de suas regiões. Para melhorar a qualidade destes solos e aumentar os teores de matéria orgânica, a adoção de práticas baseadas no mínimo revolvimento do solo, como o plantio direto, e em sistemas de culturas com alto aporte de resíduos, preferencialmente de espécies diferentes, podem ser a solução.

Segundo Vezzani et al. (2008), a matéria orgânica promove a formação e a estabilização da estrutura do solo por atuar tanto no processo de agregação (combinação) como no de formação do espaço poroso (fragmentação). Quando estes dois processos ocorrerem em igualdade de forças, o solo atinge a qualidade. Trabalhos de Silva & Mielniczuk (1997) para a região subtropical do

Sul do Brasil têm demonstrado uma estreita e direta relação entre o teor de matéria orgânica e o diâmetro médio geométrico, sendo a estabilidade de agregados e o teor de matéria orgânica interdependentes. A Figura 7 mostra a tendência de aumento da estabilidade de agregados quando se eleva o teor de matéria orgânica nos Latossolos sob Cerrado.

A matéria orgânica atua para formar e estabilizar os agregados nos diversos níveis hierárquicos (micro e macro) e os agregados atuam no sentido de proteger a matéria orgânica fisicamente por oclusão. Esta situação permite que o sistema solo se auto-organize em estruturas sucessivamente mais complexas e diversificadas, com grande quantidade de energia e a matéria retida na forma de compostos orgânicos, estado característico de alta qualidade do solo (Vezzani, 2001).

Os estoques de carbono no solo são decorrentes do processo de incorporação no perfil do solo em quantidades superiores às taxas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) perdido pela respiração das plantas e dos microrganismos do solo (Carvalho, 2006). Estes estoques de carbono para os sistemas de manejo estudados são apresentados na Tabela 10. Os maiores valores foram encontrados em florestas de eucaliptos do Vale do Rio Doce e em ambientes nativos, sendo que os sistemas eucalipto plantado em nível (EN2), eucalipto convencional (EC3), eucalipto no sentido da declividade sem queima (ED), eucalipto em nível (EN1) e Cerrado nativo (CN4) estocaram 88,6; 76,6; 76,1; 75,1 e 69,2 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono. Estes resultados se justificam, pois nestes sistemas observa-se uma alta porcentagem de matéria orgânica, com acúmulos de maiores quantidades de resíduos vegetais e um menor revolvimento do solo.

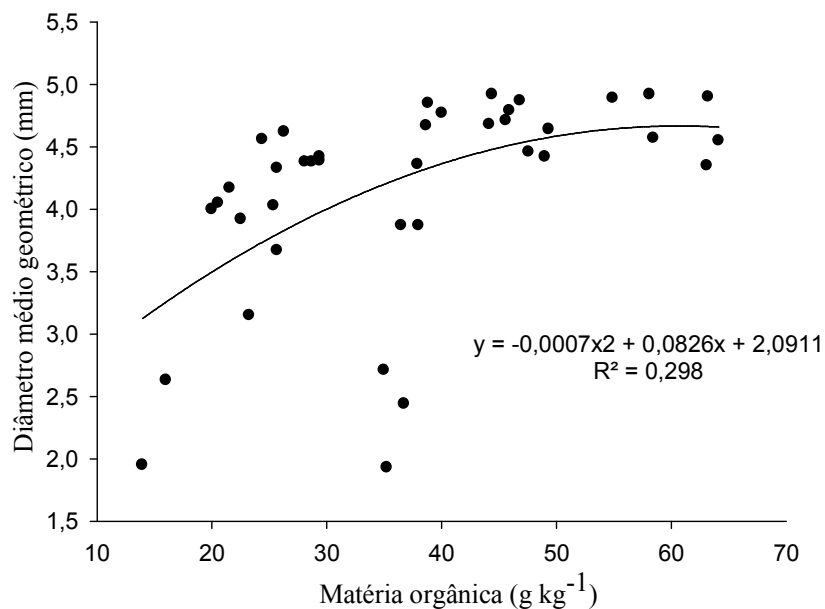


FIGURA 7 Relação entre matéria orgânica e diâmetro médio geométrico para Latossolos sob Cerrado.

Estudos de Corazza et al. (1999) mostraram aumento do estoque de carbono em áreas com reflorestamento de eucalipto, e os resultados encontrados por estes autores para a camada de 0-20 cm foram de 44,87 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo inferiores aos encontrados neste estudo. Wink (2009) encontrou maior estoque de carbono para áreas de eucalipto a partir dos 24 meses de idade, em comparação com a mata nativa em Argissolos no Sul do Brasil.

Binkley & Resh (1999) observaram alterações de carbono nos solos em reflorestamentos de eucalipto no Hawaii, sendo que as mudanças de carbono não foram significativas aos 32 meses de idade, até 0,30 m de profundidade. Isto não é integralmente similar ao observado por Fitzsimmons et al. (2004). Segundo estes autores, o cultivo gera uma redução do carbono orgânico do solo identificado pelo maior estoque de carbono em sítios florestais boreais (63 a 114

Mg ha<sup>-1</sup>) até uma profundidade de 0,45 m quando comparado a pastagens (47 a 101 Mg ha<sup>-1</sup>) e sítios cultivados (em média de 41 a 88 Mg ha<sup>-1</sup>).

Os sistemas que apresentaram os menores valores de estoque de carbono foram o solo descoberto (SD2), eucalipto + soja (ES), eucalipto + arroz (EA) e plantio convencional de sequeiro (PCS) com valores de estoque de carbono de 20,80; 24,87; 24,88 e 25,89 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono. Estes resultados estão de acordo com o esperado, pois nestes sistemas existe uma baixa taxa de adição de matéria orgânica, visto que o solo descoberto não recebe quase nenhum tipo de resíduo. Os sistemas com eucalipto, neste caso, ainda estão nos primeiros anos do plantio e acumulam pouca matéria orgânica, e o sistema de sequeiro recebe matéria orgânica apenas na época que a cultura está no campo, pois no Cerrado a estação seca é pronunciada e o cultivo concentra-se na época das chuvas.

Em ecossistemas naturais, quando a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas, os estoques de carbono podem ser drasticamente reduzidos, com perdas na ordem de 50% nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e de até 20% na profundidade de 100 cm (United State of American-USA, 1999). Em regiões tropicais, as condições de temperaturas elevadas, os altos índices pluviométricos e, em consequência, a intensa atividade microbiana, propiciam a rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo (Silva & Machado, 2000; Mielniczuk et al., 2003).

A Figura 8 mostra a variação do estoque de carbono em relação aos ambientes nativos. A maioria dos sistemas cultivados apresentaram reduções dos estoques de carbono no solo quando comparados com a vegetação nativa da mesma região, devido, no geral, ao decréscimo dos teores de carbono orgânico e à existência de condições que favoreceram a decomposição da matéria orgânica (Resck et al., 2008; Scholes & Breemen, 1997). Os sistemas que apresentaram maiores reduções nos estoques de carbono, quando comparados aos ambientes nativos, foram aqueles que apresentaram os menores valores de estoque de

carbono, como descrito anteriormente. O solo descoberto (SD2) apresentou redução de 70% quando comparado à mata nativa da mesma região, o que é devido a baixa produção e acúmulo de matéria orgânica neste sistema de manejo.

Albrecht & Kandji (2003) consideram que os sistemas agrossilvopastoris são uma estratégia capaz de seqüestrar e armazenar grande quantidade de carbono atmosférico, sendo capaz de compensar as emissões de gases do efeito estufa. Porém, neste estudo, as áreas que utilizam estes sistemas na região Noroeste de Minas Gerais apresentaram uma redução de 14 a 29 % no estoque de carbono do solo.

A maioria dos sistemas que apresentaram aumento nos estoques de carbono em relação ao ambiente nativo foram as plantações de eucalipto e os sistemas de plantio direto, devido ao reduzido revolvimento do solo e aumento da matéria orgânica, sendo estes sistemas promissores para o seqüestro de carbono da atmosfera. Desse modo, o sistema de plantio direto passa a ser preferível ao sistema convencional, quando o objetivo é manter ou aumentar o estoque de carbono orgânico no solo.

Outros autores também encontraram maior estoque de carbono em solos sob plantio direto, sendo que Corazza et al. (1999) observaram maior capacidade de acumulação de carbono num Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto, na camada de 0-100 cm, em área do Distrito Federal com 19 anos sob plantio direto e plantio convencional (preparo com arado de discos). Já Bayer & Bertol (1999) constataram maior incremento de carbono no solo sob nove anos de cultivo em plantio direto comparado com plantio convencional (uma aração de discos seguida de duas gradagens niveladoras), mas a uma profundidade de 0-20 cm de um Cambissolo Húmico do município de Lages (SC).

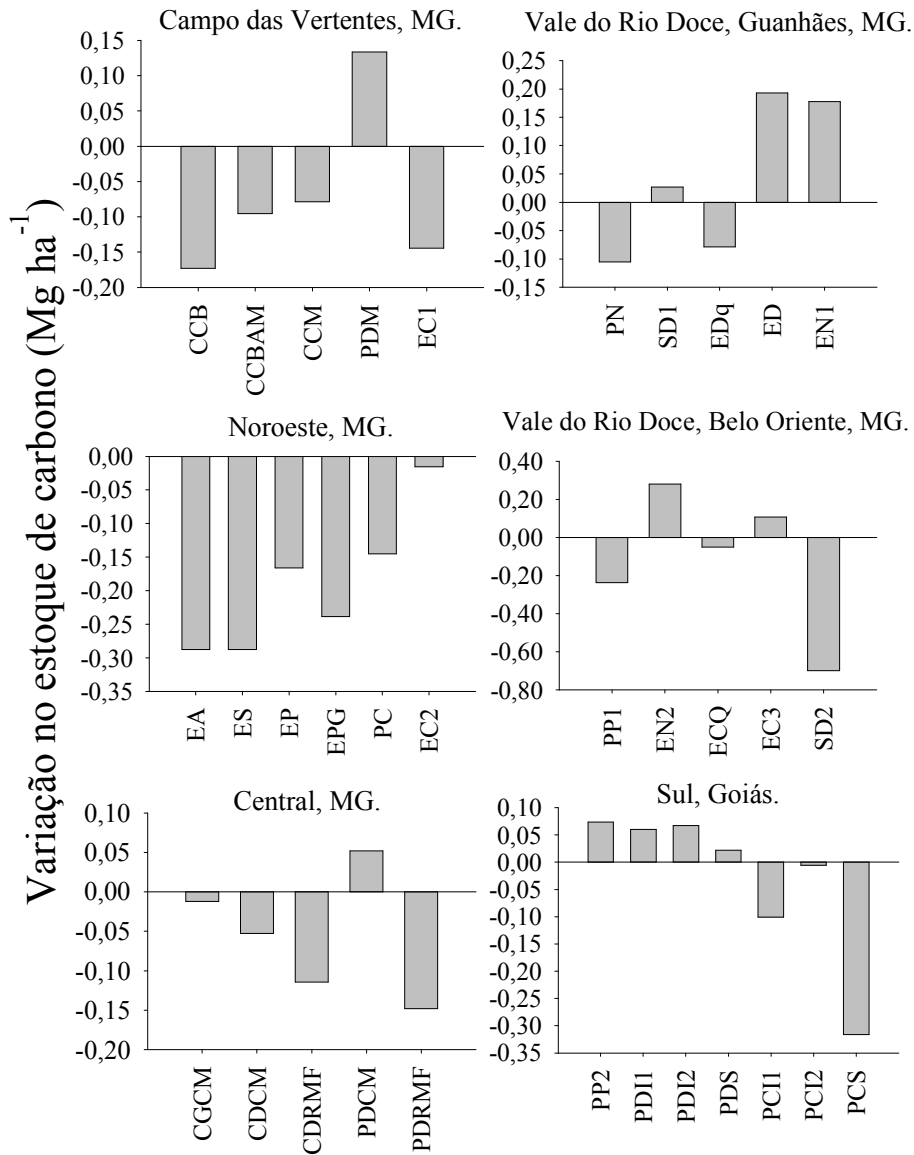


FIGURA 8 Variação do estoque de carbono nos sistemas em relação aos ambientes nativos em Latossolos sob Cerrado.

Dentre os sistemas que possuem pastagem, apenas aquele instalado na região Sul de Goiás apresentou aumento de 7% no estoque de carbono em

relação ao ambiente nativo da mesma região, sendo que os outros sistemas apresentaram reduções entre 11 e 24% no estoque de carbono. Resultados semelhantes foram encontrados por Cardoso (2008), onde este autor observou que a conversão da floresta nativa em pastagem cultivada determinou perdas nos estoques de carbono, sendo observadas reduções significativas apenas nas pastagens com maior tempo de implantação. Fernandes et al. (1999) observaram na pastagem com 10 anos de implantação no Pantanal aumento de 4% no estoque de carbono, nos primeiros 10 cm do solo, em relação ao cerrado nativo, sendo que este resultado foi atribuído à decomposição da biomassa radicular da vegetação original.

## 6 CONCLUSÕES

Os atributos físicos analisados nos Latossolos do Cerrado foram sensíveis à redução da qualidade do solo decorrente da substituição de áreas nativas por áreas agrícolas, principalmente nos sistemas de plantio que revolvem fortemente o solo.

Na maioria dos casos, a exploração do solo nativo causou aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração e reduziu a porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica do solo saturado e o diâmetro médio geométrico dos agregados, causando ainda redução da acidez e aumento da fertilidade para os sistemas de manejo que receberam correções químicas através de calagens e fertilizações.

Sistemas que utilizam plantio direto e reflorestamento de eucalipto sem queima apresentam maiores teores de matéria orgânica, carbono orgânico total e estoque de carbono que os sistemas agrícolas.

A matéria orgânica é um importante indicador da qualidade do solo, porém outros atributos relacionados a acidez e fertilidade do solo devem ser considerados na estimativa dos índices de qualidade dos solos.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 99, n. 1-3, p. 15-27, Oct. 2003.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **5º aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. cap. 5, p. 25-32.

ARAUJO, E. A. **Qualidade do solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Amazônia Ocidental**, 2008. 233 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 307-315, mar./abr. 2004.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, R. Physical test for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141, 410 p. (SSSA Special Publication, 49).

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 3-4, p. 215-230, Feb. 2000.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: TTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. (Ed.). **Nutrition of eucalypts**. Collingwood: CSIRO, 1996. p. 335-355.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **5º aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. cap. 18.4.7, p. 303-305.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 687-696, jul./set. 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 599-607, jul./set. 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 105-112, jan./abr. 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas comparadas às de campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 155-163, jan./fev. 2004.

BINKLEY, D.; RESH, S. C. Rapid changes in soil following eucalyptus afforestation in Hawaii. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 63, n. 1, p. 222-225, Jan./Feb. 1999.

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

CAMARGO, O. A. de; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.

CAMARGO, O. A. de; JACOMINE, P. K. T.; CARVALHO, A. P.; OLMOS, I. L. The Brazilian classification of latosols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: CLASSIFICATION, CHARACTERIZATION AND UTILIZATION OF OXISOLS, 8., 1986, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1988. p. 190-199.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.

CARDOSO, E. L. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. 154 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 147-157, jan./fev. 2009.

CARVALHO, J. L. N. **Conversão do cerrado para fins agrícolas na Amazônia e seus impactos no solo e no meio ambiente**. 2006. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

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, MG, v. 23, n. 2, p. 425-432, mar./abr.1999.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p. 29-58, 416p.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 527-535, maio/jun. 2003.

COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; COSTA, O. V.; OLSZEWSKI, N. Manejo dos solos da região dos Cerrados. In: ARAÚJO, Q. R. (Org.). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 201-218.

- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 443-461.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p. 545-566.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America Proceedings, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FERNANDES, A. F.; CERRI, C. C.; FERNADES, A. H. B. M. Alterações na matéria orgânica de um Podzol Hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1943-1951, out. 1999.
- FERNANDES, F. C. S. **Produção de liteira, concentração e estoque de nutrientes na floresta nativa e capoeira**. 2005. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.
- FITZSIMMONS, M. J.; PENNOCK, D. J.; THORPE, J. Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canadá. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 188, n. 3, p. 349-361, Jan./Apr. 2004.
- FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 641-648, maio 2008.
- FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 425-434, mar./abr. 2002.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 21, p. 319-328, 1960.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 121-145, June 2005.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 231 p.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 425-442.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, mar./abr. 1999.

LAL, R.; LOGAN, T. J.; FAUZEY, N. R. Long-term tillage effects on a Mollic Ochraqualf in North-west Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 15, n. 4, p. 371-382, Mar. 1990.

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

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. de O.C.; AZZOLLA, S. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1984. 400 p.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio. In: \_\_\_\_\_. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-243.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 626 p.

MUZZILI, O. Influencia do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 95-102, jan./abr. 1983.

NETTO, A. R. **Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físicoquímicas de solos brasileiros**. 1996. 144 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 5, p. 471-550.

OLIVEIRA, M.; CURTI, N.; FREIRE, J. C. Influência do cultivo na agregação de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 317-322, set./dez. 1983.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. v. 2, p. 359-417.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 5. ed. Lavras: UFLA, 2007. 322 p.

RODRIGUES, A. B. C. **Atributos químicos e dinâmica de nutrientes em solo sob floresta nativa e capoeira**. 2006. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, Cruz Alta, v. 1, n. 1, p. 9-13, 1999.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; SPERA, S. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 545-552, maio/jun. 2003.

SCHOLES, R. J.; BREEMEN, N. van. The effects of global change on tropical ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1/4, p. 9-24, Sep. 1997.

SELLES, F.; KOCHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; ZENTNER, R. P.; FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, n. 1-2, p. 23-34, Dec. 1997.

SHUKLA, M. K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, n. 2, p. 194-204, June 2006.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.

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

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 313-319, abr./jun. 1997.

SILVA, R. R. **Qualidade do solo em função dos diferentes sistemas de manejo na região Campo das Vertentes, Bacia Alto Rio Grande-MG**. 2001. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: United States Government, 1993. 437 p. (Handbook, 18).

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, Estocolmo, v. 49, n. 1, p. 1-24, Aug. 1999.

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

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

- THURLER, A. M. **Estimativa da macro e microporosidade através da granulometria e densidade de partículas e do solo**. 1989. 66 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDE, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 573-581, out./dez. 1998.
- UNITED STATES OF AMERICAN. Department of Energy. **Sequestration of carbon: state of the science**. Washington, 1999. No page.
- VETTORI, L. **Métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).
- VEZZANI, F.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e a qualidade do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 483-493.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre Qualidade do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 743-755, jul./ago. 2009.
- VEZZANI, F. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, n. 1, p. 29-38, Jan./June 1934.
- WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 5., 2002, Guarapuava. **Resumos...** Guarapuava: Aldeia Norte, 2002. p. 14-15.
- WINK, C. **Estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus* sp. implantados em campo nativo**. 2009. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

## ANEXO

TABELA 1A Resistência do solo à penetração em diferentes profundidades para Latossolos sob Cerrado.

Sistemas de uso do solo	Resistência do solo à penetração - Profundidade - cm											
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60
Campos das Vertentes – MG - LVA <sub>1</sub>												
CCB	0,87	0,87	0,89	0,97	1,46	1,99	2,17	2,31	2,53	2,69	2,85	3,01
CCBAM	0,98	0,98	1,07	1,34	1,60	1,85	2,10	2,32	2,47	2,7	2,68	2,98
CCM	1,11	1,11	1,19	1,40	1,61	1,66	1,65	1,56	1,79	2,05	2,11	2,21
PDM	1,61	1,60	2,33	2,70	2,93	2,89	3,20	3,38	3,67	3,92	4,23	4,42
CE	1,51	1,50	1,72	2,13	2,34	2,35	2,23	2,31	2,67	2,83	3,14	2,97
CN1	1,48	1,50	2,50	3,07	2,97	3,20	2,89	2,72	2,50	2,63	2,70	2,69
Vale do Rio Doce – Guanhães – MG - LV <sub>1</sub>												
FN	0,86	0,86	1,00	1,18	1,49	2,16	3,12	3,80	3,96	3,97	3,99	4,70
PN	1,59	3,00	3,35	3,07	2,99	2,88	2,74	2,93	2,80	3,03	3,07	2,30
SD1	2,79	6,30	6,29	6,05	5,42	4,97	4,38	3,83	3,74	3,72	3,46	3,37
EDq	1,55	3,68	5,50	5,45	4,96	4,37	4,43	3,70	4,18	3,48	3,17	3,37
ED	2,02	3,84	4,46	3,96	3,74	3,36	3,02	3,17	3,24	3,16	3,10	3,14
EN1	1,68	3,65	4,84	4,91	4,61	4,29	3,87	3,58	3,39	2,97	2,84	2,76
Noroeste – MG – LV <sub>2</sub>												
CN2	1,57	1,76	3,36	3,92	4,59	4,95	5,03	5,07	5,11	5,02	4,4	4,92
EA	1,21	1,31	2,30	3,57	4,49	4,88	4,44	4,17	3,75	3,67	3,00	2,84
ES	1,56	1,98	4,38	6,31	6,55	5,90	5,27	4,71	3,99	3,68	3,41	3,30
EP	2,59	3,92	5,61	6,41	6,52	5,94	5,60	5,19	4,69	4,37	4,07	3,90
EPG	4,11	5,75	6,44	6,66	6,25	5,75	4,49	4,24	3,47	3,18	2,69	2,73
PC	4,21	6,13	6,08	5,28	5,35	5,13	4,96	4,67	4,09	3,84	3,46	3,59
EC	3,67	4,18	4,66	5,36	6,18	6,77	6,32	6,10	5,69	5,44	5,03	4,72

(...continua...)

TABELA 1 A, Cont.

Vale do Rio Doce – Belo Oriente – MG - LVA <sub>2</sub>													
MN	1,61	1,75	2,40	3,30	3,71	3,95	3,96	3,98	3,68	3,71	3,50	3,37	
PP	2,09	4,9	5,48	4,56	4,12	3,83	3,80	3,32	3,3	2,98	2,80	2,89	
EN2	2,54	3,58	5,29	4,96	4,29	4,01	3,98	3,67	3,13	3,48	2,80	3,22	
ECQ	2,92	4,17	5,72	5,78	4,73	3,72	3,23	3,00	2,87	2,85	2,65	2,87	
EC	2,58	2,88	5,06	5,01	4,70	4,78	4,08	3,4	3,12	3,02	2,79	2,72	
SD2	2,10	4,18	5,46	5,15	4,79	4,81	4,48	4,48	3,85	3,72	3,78	3,45	
Central – MG – LV <sub>3</sub>													
CGCM	1,61	1,64	1,73	1,98	2,21	2,17	2,22	2,13	1,87	1,72	1,64	1,58	
CDCM	1,79	1,79	1,91	2,01	2,18	2,28	1,97	1,71	1,54	1,44	1,37	1,44	
CDRMF	1,70	1,70	1,74	1,89	2,45	3,04	2,59	2,30	2,11	2,05	1,88	1,82	
PDCM	2,55	2,60	2,79	2,92	2,79	2,54	2,39	2,00	1,69	1,64	1,55	1,50	
PDRMF	2,14	2,27	2,41	2,67	2,62	2,69	2,39	2,14	1,95	1,81	1,74	1,76	
CN3	0,84	0,84	0,84	0,84	0,98	1,60	2,09	1,86	1,83	1,90	1,79	1,65	
Sul – Goiás – LV <sub>4</sub>													
CER	1,40	1,40	1,40	1,70	2,10	2,30	2,30	2,30	2,20	2,10	2,10	2,00	
PAS	2,90	2,80	2,80	2,90	2,70	2,40	2,30	2,10	1,80	1,70	1,60	1,60	
PDI 1	1,50	1,50	1,70	2,10	2,40	2,40	2,50	2,40	2,30	2,40	2,60	2,90	
PDI 2	1,80	1,80	1,90	2,10	2,20	2,50	2,50	2,40	2,20	2,00	2,00	1,90	
PDS	2,00	2,00	2,70	3,10	3,10	2,70	2,40	2,10	2,00	1,80	1,60	1,60	
PCI 1	1,40	1,40	1,50	2,10	2,50	2,40	2,40	2,30	2,30	2,20	2,30	2,10	
PCI 2	1,50	1,50	1,50	1,70	1,80	1,80	1,70	1,60	1,50	1,40	1,40	1,40	
PCS	1,70	1,70	1,80	2,40	2,50	2,30	2,20	1,90	1,80	1,70	1,70	1,60	

### **CAPÍTULO 3**

#### **ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO PARA LATOSSOLOS SOB CERRADO**

## 1 RESUMO

A busca da sustentabilidade para as atividades agropecuárias e florestais torna cada vez mais importante a necessidade do estabelecimento de critérios e metodologias para a avaliação e o monitoramento da qualidade do solo. Assim, este trabalho objetivou avaliar as alterações nos atributos físicos e químicos do solo por sistemas agrícolas, florestais e de pastagens no Cerrado e estabelecer índices que expressam a qualidade dos solos. O estudo consistiu da avaliação de banco de dados sobre 39 sistemas de uso dos Latossolos em 6 regiões do Cerrado brasileiro, sendo avaliada a camada de 0 – 20 cm de profundidade para um conjunto de indicadores físicos e químicos. A avaliação da qualidade do solo foi realizada a partir do desenvolvimento de dois índices de qualidade:  $IQS_1$  – calculado a partir dos desvios dos atributos dos sistemas de uso do solo em relação aos respectivos ambientes naturais (referência);  $IQS_2$  – calculado a partir de um modelo aditivo que considera as funções principais do solo e os indicadores de qualidade a elas associados, sendo atribuídos pesos tanto para as funções como para os indicadores. Os sistemas de manejo estudados sofreram alterações da qualidade do solo quando comparados aos ambientes nativos, aqueles que receberam correção da acidez e fertilizantes apresentaram valores de qualidade do solo superiores aos sistemas de referência. Todos os ambientes analisados obtiveram reduções da capacidade dos solos em desenvolver suas funções principais, sendo que o solo descoberto foi o sistema que apresentou a menor qualidade. Os índices de qualidade do solo gerados, tanto com base nos desvios das propriedades do solo em relação aos ambientes naturais, como a partir do estabelecimento das funções do solo e indicadores a ela associados, foram eficientes em refletir a variação da qualidade do solo nos diferentes ambientes do Cerrado. Portanto, os mesmos são passíveis de adoção no monitoramento da sustentabilidade de sistemas de produção agrícolas e florestais e de pastagens em Latossolos sob Cerrado.

## 2 ABSTRACT

The establishment of criteria and methodologies for assessing and monitoring soil quality becomes important to the search for sustainability in farming and forestry. Thus, this study aimed to evaluate the changes in soil physical and chemical attributes under agricultural, forest and pasture uses in the Brazilian Cerrado and establish indexes that express soil quality. A database about 39 land use systems in Oxisols in 6 regions of the Brazilian Cerrado, for a set of physical and chemical indicators at the 0 – 20 cm depths was built and analyzed. The assessment of soil quality was performed by using two quality indexes: IQS1 - calculated from the deviations of attributes from their natural environments (reference); SQI2 - calculated from a additive model that considers the main soil functions and their respective indicators, by assigning weights to both functions and indicators. All management systems studied changed the soil quality when compared to native environments, and those which received liming and fertilizer showed higher soil quality. All managed sites showed a reduced to develop soil ecological functions, and bare soil showed the lowest quality. The soil quality indexes generated, based either on the deviation from natural environments or on the establishment of soil functions and indicators were efficient in reflecting soil quality changes in different Cerrado environments. Therefore, have a potential are in monitoring the sustainability of farming, forestry and pasture systems in Oxisols under Cerrado.

### 3 INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade agrícola, ainda que não consensual quanto ao seu exato significado, surge como um novo entendimento balizador do desenvolvimento. E para nortear os rumos desse novo conceito são necessários indicadores ambientais, econômicos e sociais que permitam caracterizar, avaliar e monitorar um dado sistema. Dentre os indicadores ambientais, o elemento solo assume papel de destaque (Cardoso, 2008).

Sabe-se que os diversos sistemas de uso e manejo existentes podem ter tanto efeitos positivos quanto negativos na qualidade do solo. Sendo que, segundo Food Agricultural Organization-FAO (2002), a principal causa da degradação dos solos no mundo está relacionada ao uso e manejo. Por outro lado, a única possibilidade de aumento de produção agrícola na maioria das regiões do mundo é a intensificação do uso das terras já utilizadas, tanto em condições de sequeiro quanto sob irrigação (FAO, 2002). Essa possibilidade é preocupante e demanda a necessidade de utilização de técnicas sustentáveis para que os solos agrícolas do planeta possam ser utilizados permanentemente. Por isso, diagnosticar as causas de degradação e encontrar os meios para sua superação são etapas fundamentais para o uso sustentável e produtivo do solo.

O solo é um recurso natural de suma importância na sustentação dos diversos ecossistemas, servindo como suporte mecânico ao vegetal e fornecendo água, oxigênio, energia na forma de íons e substâncias. Sua capacidade para funcionar no desempenho destas funções é referida como qualidade do solo.

Larson & Pierce (1991) definem a qualidade do solo como a capacidade de o mesmo funcionar nos limites do ecossistema e interagir positivamente com o ambiente externo, enquanto Doran & Parkin (1994) ampliaram o conceito, definindo-a como “a aptidão do solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade biológica,

manter ou aumentar a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas, animais e dos homens”.

Um índice de qualidade do solo deve identificar um conjunto de propriedades do solo, atendendo aos seguintes critérios: elucidar processos do ecossistema e relacionar aos processos-modelo; integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e os respectivos processos; ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo; ser sensível a variações de manejo e de clima ao longo do tempo; e, quando possível, ser componente de banco de dados já existente (Doran & Parkin, 1994). Porém, embora existam vários métodos para monitorar e avaliar a qualidade da água e do ar, nenhum método sozinho tem sido amplamente aceito para atribuir um índice de qualidade ao solo, devido à complexidade e variabilidade desse sistema (Glover et al., 2000).

Segundo Vezzani & Mielniczuk (2009), o grande desafio em relação à qualidade do solo não está na identificação de um indicador ou na sua avaliação, e sim no planejamento de agroecossistemas complexos que privilegiem o cultivo diversificado de plantas. A complexidade dos ecossistemas é o que faz a diferença para o desempenho eficiente das funções do sistema solo, determinando sua qualidade ambiental, sendo que essa complexidade é alcançada pelo cultivo contínuo e diversificado de plantas. Os cientistas de solo devem se voltar para a construção da agricultura do complexo, que promova as relações mutualísticas entre as espécies, pois só assim o sistema solo terá qualidade ao longo do tempo e desenvolverá a sustentabilidade do agroecossistema.

Nas últimas décadas o Cerrado tem sofrido diversas transformações no uso das terras, devido principalmente aos altos investimentos em corretivos, fertilizantes e variedades adaptadas de diversas culturas para este Bioma. Isto gerou uma ocupação desordenada da terra, com aumento desenfreado do desmatamento que contribuiu para a perda da diversidade de espécies;

concomitantemente, algumas técnicas inadequadas de manejo dos solos propiciaram a rápida degradação desse recurso (Resck et al., 2008). Apesar destes acontecimentos, o Cerrado é reconhecido como Bioma de grande importância para a manutenção da biodiversidade; com isto, é importante a necessidade de instrumentos que permitam monitorar a sustentabilidade de seus sistemas de produção, sob pena da intensificação das atividades produtivas comprometerem, irreversivelmente, a diversidade de seus recursos naturais.

O objetivo deste trabalho foi estabelecer índices que expressam a qualidade dos Latossolos sob Cerrado através da avaliação de atributos físicos e químicos dos solos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização, clima, solo e sistemas de manejo

A caracterização dos locais, climas, solos e sistemas de manejo nas diversas áreas estão descritas no item Material e Métodos Gerais do Capítulo 1.

### 4.2 Análises de laboratório

As amostras deformadas, coletadas em minitrincheiras, foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro; as amostras com estrutura indeformada foram coletadas com o uso do amostrador de Uhland, sendo os cilindros de alumínio de dimensões médias de 8,25 cm de altura e 6,96 cm de diâmetro interno. Os atributos físicos e químicos foram analisados conforme os capítulos 2 e 3, respectivamente.

Os indicadores físicos selecionados para utilização nos modelos para o estabelecimento dos índices de qualidade do solo foram a densidade do solo, resistência do solo à penetração, porosidade total, macroporosidade, permeabilidade do solo saturado e estabilidade de agregados. Dentre os atributos químicos foram considerados os teores de soma de bases trocáveis (SB), CTC efetiva (t), matéria orgânica do solo, pH e percentagem de saturação de alumínio (m).

Seguindo metodologia utilizada por Cardoso (2008), a avaliação da qualidade do solo foi realizada a partir do desenvolvimento de dois índices de qualidade:  $IQS_1$  - adotando-se o modelo sugerido por Islam & Weil (2000) e aplicado por Araújo et al. (2007);  $IQS_2$  - conforme modelo proposto por Karlen & Stott (1994) e aplicado por Chaer & Tótola (2003) e Melo Filho et al. (2007). O  $IQS_1$  foi estabelecido baseado no modelo proposto para a determinação do índice de deterioração do solo (Islam & Weil, 2000). De acordo com Araújo et al. (2007), para aplicação do modelo algumas premissas básicas devem ser

assumidas, como: os ecossistemas naturais, caracterizados pelo mínimo de intervenção antrópica e de esperado equilíbrio, foram considerados como referência; as categorias de atributos de qualidade do solo (químicos e físicos) contribuem equitativamente para a qualidade do solo, sendo atribuído a cada categoria o mesmo peso ponderado; os indicadores dentro de cada categoria de atributos têm a mesma importância relativa.

Portanto, as áreas de Cerrado nativo (CN1, CN2, CN3 e CER) foram consideradas como referência dos respectivos e adjacentes sistemas das regiões dos Campos das Vertentes, Noroeste e Central de Minas Gerais e Sul de Goiás. A floresta nativa (FN) e a mata nativa (MN) foram os ambientes de referência para Guanhães e Belo Oriente, ambos no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. As diferenças entre os atributos do solo dos sistemas de manejo, comparadas à linha base dos atributos do solo das respectivas áreas de referência foram calculadas e expressas como a média dos desvios dos valores individuais de cada atributo. A média geral dos desvios de cada atributo do solo representa a sua deterioração em relação à referência. Para os ecossistemas considerados como referência (CN1, CN2, CN3, CER, FN e MN) foi atribuído o valor 1,0 para a qualidade do solo e sua diferença em relação à deterioração do solo nos sistemas agrícolas, florestais e de pastagens constitui o índice de qualidade do solo ( $IQS_1$ ). O cálculo do  $IQS_1$  processou-se em duas etapas:

$$Q_A = \frac{\left(\frac{w1 - k1}{k1}\right) + \left(\frac{w2 - k2}{k2}\right) + \left(\frac{w3 - k3}{k3}\right) + \left(\frac{wn - kn}{kn}\right)}{n}$$

$$IQS_1 = 1 - \left(\frac{Qaq + Qaf}{2}\right)$$

Em que:

QA – refere-se à média dos desvios dos indicadores de cada atributo em relação à referência;

w – refere-se ao valor do indicador medido nos sistemas de pastagens cultivada ou nativa;

k- refere-se ao valor do indicador medido no ecossistema referência;

n – é o número de indicadores que compõem cada conjunto de atributos;

Qaq – é a média dos desvios dos atributos químicos;

Qaf – é a média dos desvios dos atributos físicos.

O IQS<sub>2</sub> foi estruturado conforme a proposição de Karlen & Stott (1994), na qual o índice é gerado a partir de um modelo aditivo que considera as funções principais do solo e os indicadores de qualidade a elas associados, sendo atribuídos pesos tanto para as funções como para os indicadores, e seu cálculo processou-se em duas etapas:

$$Q_{FPn} = I_1(w_1) + I_2(w_2) + In(w_n)$$

$$IQS_2 = Q_{FP1}(W_{FP1}) + Q_{FP2}(W_{FP2}) + Q_{FP3}(W_{FP3}) + Q_{FPn}(W_{FPn})$$

Em que:

QFPn - refere-se à qualidade da função principal do solo;

I - refere-se aos escores padronizados dos indicadores de qualidade relacionados a cada função principal;

w - refere-se aos ponderadores relacionados a cada indicador ou a cada função principal; e

IQS - é o índice integrado da qualidade do solo.

Neste estudo foram definidas quatro funções do solo relacionadas com a sustentabilidade do sistema: receber, armazenar e suprir água; promover o crescimento das raízes; armazenar, suprir e ciclar nutrientes; e promover a

conservação do solo. Para cada função do solo foi assumida a igualdade de importância, com atribuição de peso 0,25 para cada uma delas (Tabela 1). As funções principais foram escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação e estas foram acompanhadas de indicadores físicos e químicos relacionados diretamente com sua medida. Os pesos numéricos foram atribuídos às funções de acordo com o grau de importância da mesma para o funcionamento do solo, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado. Para a determinação dos indicadores, podem ser usados critérios socioeconômicos, necessidades de cultivo, necessidades dos agricultores e preocupações ambientais (Souza, 2005).

O somatório dos pesos de todas as funções principais deve resultar no valor 1,0 (um). Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado. Quando o solo apresenta limitações e não tem qualidade o valor é zero, sendo este o menor valor possível. Após atribuir os pesos relativos para as funções, foram identificados e priorizados os indicadores que influenciam cada uma, em diversos graus. Indicadores de nível 1,0 (um) são mais diretamente relacionados com a função e quanto maior o nível do indicador maior sua associação com a função. Assim como para as funções principais pesos numéricos devem ser atribuídos para os indicadores. Da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,0 (um).

Os indicadores de qualidade por possuírem diferentes unidades de medida foram padronizados para escores que variam de 0 a 1, sendo realizada através da função de padronização de escores desenvolvida por Wymore (1993), como:

$$v = \frac{1}{1 + ((B - L)/(x - L))^{2S(B+x-2L)}}$$

Em que:

v - é a pontuação padronizada;

B - o valor crítico ou limite-base do indicador, onde a pontuação equivale a 0,5;

L - o limite inferior ou o pior valor do indicador, podendo ser zero;

S - a inclinação da tangente da curva no limite-base ou no valor crítico do indicador; e

x - o valor do indicador medido no campo.

Para aplicar a equação de Wymore (1993), inicialmente foi necessário calcular a inclinação (S) da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador:

$$S = \frac{\log\left(\frac{1}{v}\right) - 1}{\log\left(\frac{B-L}{x-L}\right) * 2(B+x-2*L)}$$

A curva de padronização do tipo “mais é melhor” possui declividade (S) positiva e é utilizada para padronização de indicadores em que os maiores valores melhoram a qualidade do solo, a exemplo da soma de bases, CTC efetiva, matéria orgânica, estabilidade de agregados, permeabilidade do solo saturado, carbono orgânico total (Figura 1a); “valor ótimo” possui inclinação positiva até o valor ótimo e é utilizada para indicadores que apresentam um efeito positivo na qualidade do solo até determinado valor, a partir do qual sua influência é detrimental ou negativa, a exemplo da porosidade total, macroporosidade, pH, (Figura 1b). As curvas de padronização do tipo “menos é melhor” possui declividade negativa e padronizam indicadores como a densidade do solo, resistência à penetração, saturação por alumínio, em que a qualidade está associada a menores valores dos mesmos (Figura 1c). A inclinação (S) da curva de padronização de escore no valor crítico é determinada utilizando-se planilhas eletrônicas em programas de computador.

TABELA 1 Funções principais do solo e indicadores de qualidade selecionados para determinação do índice de qualidade do solo (IQS<sub>2</sub>) para o Cerrado.

Funções principais	Ponderadores das funções	Indicadores de qualidade	Ponderadores dos indicadores	Limite críticos	
				Inferior	Superior
Receber, armazenar e suprir água	0,25	RP	0,15	1,70	
		Macro	0,15	0,10	0,30
		Ds	0,15	1,20	
		MO	0,40	4,00	
		Pt	0,15	0,36	0,55
Promover o crescimento de raízes	0,25	MO	0,40	4,00	
		Ds	0,15	1,20	
		RP	0,15	1,70	
		SB	0,15	1,20	
		m%	0,15	50	
Armazenar, suprir e ciclar nutrientes	0,25	MO	0,40	4,00	
		SB	0,30	1,20	
		m%	0,15	50	
		pH	0,15	5,00	6,50
Promover a conservação do solo	0,25	DMG	0,25	2,50	
		Ko	0,25	127	
		MO	0,15	4,00	
		Pt	0,10	0,36	0,55
		Macro	0,10	0,10	0,30
		Ds	0,15	1,20	

Rp – resistência à penetração; Macro – macroporosidade; Ds – densidade do solo; MOS – matéria orgânica do solo; Pt – porosidade total; SB – soma de bases trocáveis; m – saturação por alumínio; DMG – diâmetro médio geométrico; Ko – permeabilidade do solo saturado.

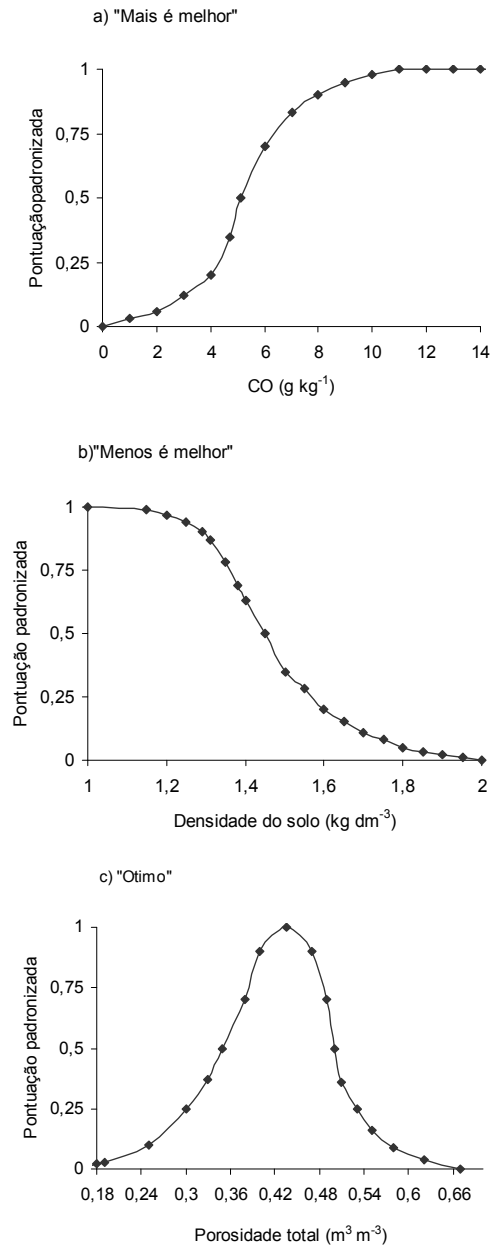


FIGURA 1 Funções de pontuação padronizadas conforme a natureza do indicador de qualidade do solo.

Fonte: Karlen & Stott (1994).

De acordo com Melo Filho et al. (2007), na padronização dos atributos são utilizados dois valores-limite dos indicadores de qualidade, o superior e o inferior, e um valor crítico (Tabela 1). Os valores-limite superiores são quando a função de pontuação equivale a 1, quando a propriedade do solo medida está em nível ótimo. Os valores-limite inferiores são aqueles em que a função de pontuação equivale a 0 (zero), quando a propriedade do solo está em nível inaceitável. Os valores críticos são aqueles nos quais a função de pontuação é igual a 0,5. Tanto as curvas de padronização quanto os valores-limite superior, inferior e crítico devem ser criteriosamente estabelecidos. No modelo proposto por Karlen & Stott (1994) o índice de qualidade do solo foi estabelecido tomando-se como referência uma condição ideal para o pleno desempenho das funções do solo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos atributos físicos e químicos avaliados no estabelecimento dos índices de qualidade do solo foram discutidos nos Capítulos 2 e 3. Os valores do  $IQS_1$ , calculados a partir dos desvios das propriedades do solo nos sistemas manejados em relação aos respectivos ecossistemas naturais mostram grandes alterações na qualidade dos solos, sendo que os valores dos índices de qualidade do solo ( $IQS_1$  e  $IQS_2$ ) são apresentados na Tabela 2.

Os sistemas agrossilvopastoris e de pastagem instalados na região Noroeste de Minas Gerais (PC, EA, ES e EP) apresentaram maiores  $IQS_1$  que o cerrado nativo da mesma região (CN3), sendo que apenas o sistema de eucalipto convencional (EC2) apresentou redução de 8 % do  $IQS_1$ , quando comparado ao cerrado nativo desta região. Como nas outras regiões, os atributos físicos indicadores da qualidade do solo sofreram redução, porém os atributos químicos tiveram um forte aumento devido à adição de corretivos de acidez e fertilizantes. Contudo, os sistemas agrossilvopastoris podem ser uma boa opção de manejo dos solos, visto que os  $IQS_1$  obtiveram aumentos entre 4 e 23 %.

Todos os sistemas instalados na região Central de Minas Gerais apresentaram aumento do  $IQS_1$ , sendo que o sistema que utiliza arado de discos e cultivo em rotação com milho e feijão (CDRMF) e o plantio direto e rotação com milho e feijão (PDRMF) apresentaram os maiores aumentos de qualidade do solo entre os sistemas estudados nesta região, com uma variação de 43 e 29%, respectivamente, em relação ao Cerrado nativo (CN5), o que pode indicar que sistemas de rotação de culturas com milho e feijão aumentam a qualidade dos solos. Nesta região, os atributos físicos sofreram reduções entre 37 e 64%, porém os atributos químicos aumentaram 53 e 119% devidos às adições de fertilizantes e calcário; com isto, os altos valores de  $IQS_1$  encontrados são

resultados das interferências realizadas no sentido de corrigir os atributos químicos dos Latossolos desta região.

A região Sul de Goiás apresentou resultados semelhantes aos encontrados nas outras regiões, com redução dos atributos físicos e melhoramento dos atributos químicos. Nesta região apenas os sistemas de pastagem (PP2) e plantio convencional (PCI2) apresentaram pequenas reduções no  $IQS_1$  de 5 e 1%, respectivamente.

Todos os sistemas que utilizam plantio direto obtiveram aumento nos  $IQS_1$ , sendo que os sistemas PDI1, PDI2, PDRMF, PDM e PDCM apresentam aumentos de 57, 31, 29, 23 e 6%, respectivamente. Isto mostra que o cultivo em sistemas de plantio direto tende a aumentar o índice de qualidade dos solos e que este sistema deve ser indicado, evitando os plantios convencionais.

Os solos que estavam na forma descoberta apresentaram os menores  $IQS_1$  encontrados neste estudo para áreas de Cerrado, sendo que o SD1 e o SD2 obtiveram reduções de 47 e 45% em relação aos ambientes nativos de suas regiões, sendo esta a pior forma de manter o solo quando se busca a qualidade. O solo descoberto apresenta baixa permeabilidade, falta de adição de resíduos, não permite condições adequadas ao desenvolvimento de microorganismo, alta resistência do solo à penetração das raízes e erosão constante, sendo que estes fatores são os principais responsáveis pelos baixos índices de qualidade destes solos.

TABELA 2 Índice de qualidade do solo (IQS) de diferentes sistemas de manejo em Latossolos sob Cerrado.

Uso do solo	IQS 1	IQS 2
Campos das Vertentes – MG – LVA <sub>1</sub>		
CN1	1,00	0,62
CCB	1,23	0,60
CCBAM	0,98	0,57
CCM	1,27	0,66
PDM	1,23	0,60
EC1	1,00	0,52
Vale do Rio Doce – Guanhães – MG - LV <sub>1</sub>		
CN2	1,00	0,61
PN	0,64	0,50
SD1	0,53	0,48
EDq	0,82	0,61
ED	0,83	0,65
EN1	0,71	0,58
Noroeste – MG – LV <sub>2</sub>		
CN3	1,00	0,48
EA	1,17	0,52
ES	1,23	0,55
EP	1,18	0,47
EPG	1,04	0,46
PC	1,05	0,53
EC2	0,92	0,44
Vale do Rio Doce – Belo Oriente – MG – LVA <sub>2</sub>		
CN4	1,00	0,73
PP1	0,73	0,53
EN2	0,82	0,72
ECQ	0,78	0,65
EC3	0,80	0,74
SD2	0,55	0,30
Central – MG – LV <sub>3</sub>		
CN5	1,00	0,74
CGCM	1,08	0,59
CDCM	1,04	0,56
CDRMF	1,43	0,63
PDCM	1,06	0,60
PDRMF	1,29	0,57

(...continua...)

TABELA 2, Cont.

Sul – Goiás – LV <sub>4</sub>		
CN6	1,00	0,52
PP2	0,95	0,54
PDI1	1,57	0,57
PDI2	1,31	0,57
PCI1	1,29	0,56
PCI2	0,99	0,50

Os sistemas com eucalipto tendem a estocar carbono no solo, porém os IQS<sub>1</sub> encontrados nas áreas EC1, EDq, ED, EN1, EC2, EN2, ECQ e EC3 mostraram reduções ou apenas a manutenção da qualidade dos solos quando comparados aos ambientes nativos. Esta redução do IQS<sub>1</sub> também foi encontrada nos ambientes de pastagem (PN, PP1, PP2), sendo que apenas a pastagem cultivada (PC) da região Noroeste de Minas apresentou ganho de 5% no IQS<sub>1</sub>; com isto, quando o objetivo for manter a qualidade dos solos, a manutenção de reflorestamentos de eucalipto ou pastagens não é indicada, independente da forma de manejo empregada.

Araújo et al. (2007), utilizando o modelo proposto por Islam & Weil (2000) para avaliar a qualidade do solo de sistemas de pastagem natural e cultivada em comparação ao Cerrado nativo, relataram valores de IQS<sub>1</sub> abaixo dos encontrados neste estudo, e que correspondem a reduções da qualidade do solo de 46 e 61% nas áreas de pastagem natural e plantada, respectivamente, sendo que os atributos químicos e biológicos mantiveram-se bem preservados, enquanto os físicos, muito alterados. Cardoso (2008), utilizando esta metodologia, encontrou IQS<sub>1</sub> de 0,68; 0,64; 0,62; 0,75 e 0,84 para os sistemas de pastagem cultivada com 27, 26, 11 anos de instalação e pastagem nativa com pastejo contínuo e sem pastejo por 3 anos, respectivamente, para a camada superficial de solos do Pantanal.

A qualidade do solo representada pelos atributos físicos e químicos, calculados a partir do IQS<sub>1</sub>, em diferentes sistemas de manejo do solo sob Cerrado são apresentados na Figura 2.

Os valores do IQS<sub>2</sub>, desenvolvidos a partir do estabelecimento das funções do solo e dos indicadores a ela associados, indicaram redução da qualidade do solo nos sistemas estudados (Tabela 2). Na determinação do IQS<sub>2</sub> os limites críticos dos indicadores foram estabelecidos buscando o pleno desenvolvimento da função do solo; com isto, foram encontrados baixos valores de qualidade do solo para os sistemas estudados.

O IQS<sub>2</sub> foi dividido em funções principais do solo, a saber: receber, armazenar e suprir água (RASA); promover o crescimento de raízes (PCR); armazenar, suprir e ciclar nutrientes (ASCN); e promover a conservação do solo (PCS), sendo que cada função contribuiu com 25% do IQS<sub>2</sub>.

O solo é o reservatório natural de água para as plantas e como regulador do fluxo hídrico executa uma das suas funções mais importantes para a produção vegetal. Seu desempenho para esta função é determinado por suas características intrínsecas, a exemplo da textura, da estrutura, teor de argila, matéria orgânica e por todas as práticas de manejo que afetem a porosidade e a sua continuidade, distribuição e diâmetro (Silveira, 2009). A interação entre esses fatores é bastante complexa e muito difícil de ser prevista. A função RASA inclui a matéria orgânica e os atributos físicos de resistência do solo à penetração, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo. Esta função é de grande importância em Latossolos sob Cerrado, visto que, mesmo possuindo altos teores de argila, estes solos possuem alta permeabilidade e possuem ainda uma estação seca pronunciada, onde baixos valores desta função podem ser limitantes para o desenvolvimento das culturas.

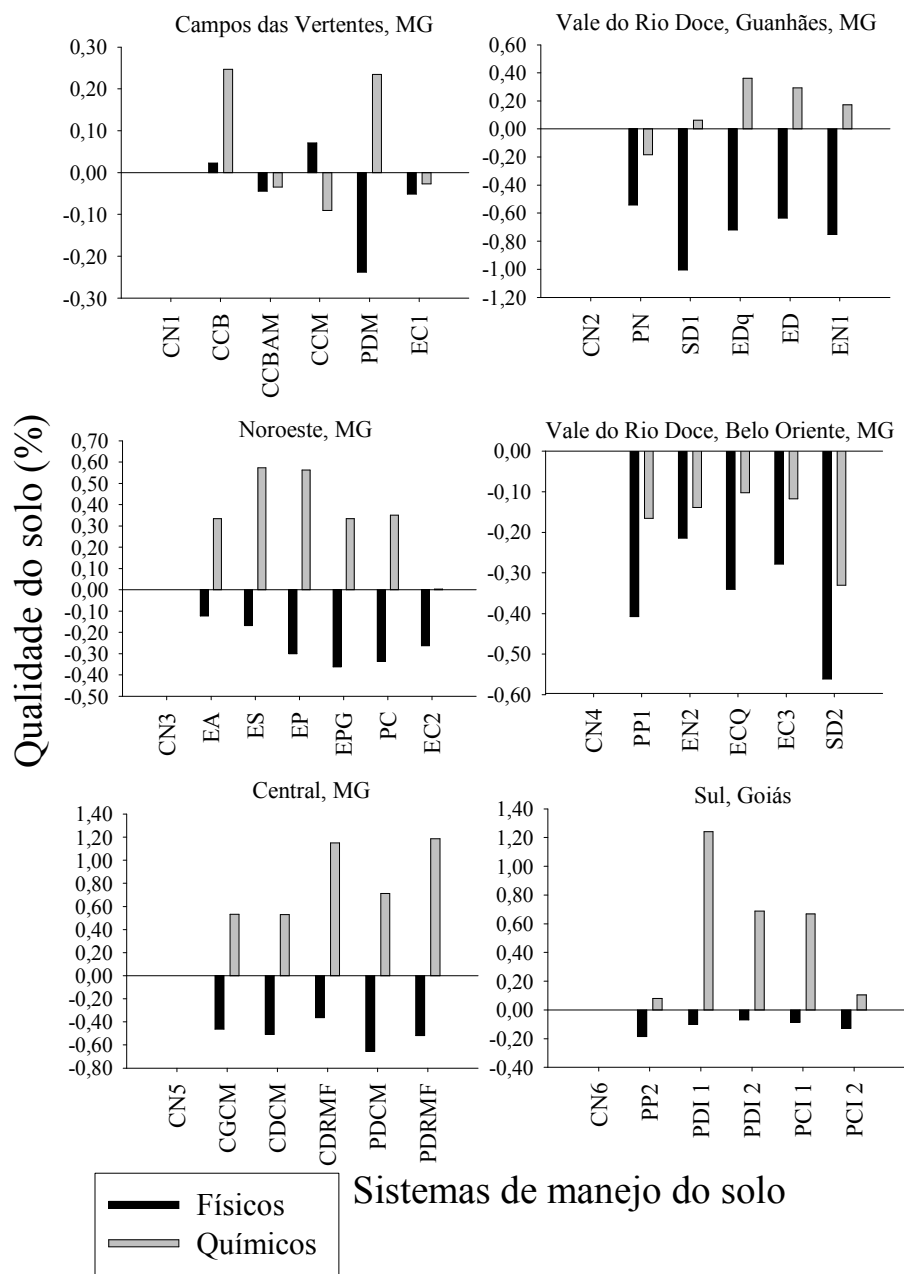


FIGURA 2 Qualidade do solo representada pelos atributos físicos e químicos, calculados a partir do  $IQS_1$ , em Cerrado.

O crescimento de raízes em profundidade nos Latossolos pode ser limitado por fatores químicos e físicos; com isto, a função PCR inclui os atributos matéria orgânica, soma de bases, saturação por alumínio, densidade do solo e resistência à penetração como os indicadores de qualidade para esta função. A resistência do solo à penetração é o indicador de qualidade física do solo considerado mais limitante ao crescimento do sistema radicular das plantas e o mais sensível indicador do estado de compactação de um solo (Roque et al., 2008).

Os atributos químicos matéria orgânica, soma de bases, saturação por alumínio e pH são os indicadores de qualidade da função ASCN e estão relacionados diretamente com a fertilidade dos solos. Esta função é facilmente modificada pela adição de corretivos da acidez e fertilizantes, sendo esta tarefa necessária quando se deseja obter uma agricultura comercial para a maioria das culturas sobre Latossolos.

A função PCS foi adicionada a este trabalho devido à grande importância da conservação do solo para a manutenção da sustentabilidade nos Latossolos sob Cerrado. Esta função está fortemente relacionada aos atributos físicos dos solos, e inclui a permeabilidade hidráulica do solo saturado, estabilidade de agregados, porosidade total, macroporosidade, densidade do solo e matéria orgânica.

Alguns pesquisadores consideram a matéria orgânica do solo como o indicador ideal para avaliar qualidade do solo, fundamentados no fato que várias funções e processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem no solo estão relacionados diretamente com a presença de matéria orgânica (Vezzani & Mielniczuk, 2009). Neste estudo, dentre os atributos indicadores da qualidade do solo, a matéria orgânica participou de todas as funções do solo, devido sua grande importância e por ser um dos principais indicadores de qualidade do solo, sendo que sua participação corresponde a 33,75 % do IQS<sub>2</sub>.

Karlen & Stott (1994) afirmam que a escala de avaliação final do  $IQS_2$  deve ser limitada às classes ruim para  $IQS_2 < 0,5$  ou ótima para  $IQS_2 > 0,5$ ; porém Souza (2005) subdividiu a avaliação do  $IQS_2$  em três níveis, o que melhora a informação final. Assim, propõe-se que a graduação para o  $IQS_2$  seja a seguinte:  $IQS_2 < 0,50$  ruim;  $IQS_2$  entre 0,50 a 0,70 média;  $IQS_2 \geq 0,71$  ótima.

Utilizando as classes de  $IQS_2$  definidas por Souza (2005), os sistemas de manejo Cerrado nativo, eucalipto + pastagem, eucalipto + pastagem + gado, eucalipto convencional (CN3, EP, EPG e EC2), da região Noroeste e os solos descobertos (SD1 e SD2) de Guanhães e Belo Oriente, MG, foram classificados com qualidade do solo ruim, visto que estes sistemas obtiveram  $IQS_2$  de 0,48; 0,47; 0,46; 0,44; 0,48 e 0,30, respectivamente.

Os sistemas Cerrado nativo (CN5) da região Central, MG, eucalipto convencional, Cerrado nativo e eucalipto em nível (EC3, CN4 e EN2) de Belo Oriente, foram classificados com ótimos  $IQS_2$ , apresentado valores de 0,74; 0,74; 0,73 e 0,72, respectivamente. Os outros sistemas estudados apresentaram valores entre 0,50 e 0,70, sendo classificados com qualidade do solo média.

As pastagens instaladas sobre Latossolos (PN, PC, PP1 e PP2) apresentaram baixos  $IQS_2$ , com valores de 0,50; 0,53; 0,53; e 0,54, respectivamente, sendo que esta mesma situação foi encontrada no  $IQS_1$ , o que indica que as pastagens são sistemas que tendem a reduzir a qualidade dos solos. Os sistemas que utilizam eucalipto (CE1, EDq, ED, EN1, EC2, EN2, ECQ e EC3) apresentaram variações quanto aos  $IQS_2$ , sendo que os sistemas EN2 e EC3 foram classificados com ótimos  $IQS_2$ , o sistemas EC2 com ruim e os outros sistemas com qualidade do solo média.

Todos os sistemas de uso do solo que utilizam o plantio direto foram classificados com média qualidade do solo no  $IQS_2$  e com qualidade superior aos ambientes nativos no  $IQS_1$ , sendo que estes sistemas com baixo revolvimento do solo e adição constante de matéria orgânica devem ser indicados quando se

deseja aumentar a qualidade do solo. Porém, Costa et al. (2006) não encontraram diferenças entre a qualidade dos solos cultivados sob os sistemas de preparo convencional e plantio direto para áreas do Cerrado.

Analisando os  $IQS_1$  e  $IQS_2$ , os sistemas instalados no Vale do Rio Doce, Guanhães, MG, sobre um Latossolo Vermelho ( $LV_1$ ) apresentaram a menor média de qualidade do solo entre as regiões avaliadas, e a região Central de MG que possui um Latossolo Vermelho –Amarelo ( $LVA_3$ ) apresentou as maiores médias, com índices de 0,66 e 0,88, para as duas regiões, respectivamente. Estes valores estão relacionados aos sistemas instalados e as características intrínsecas dos solos destas regiões, que podem ser menos resistentes às alterações dos indicadores físicos e químicos ou apresentar maior resiliência dos mesmos.

## **6 CONCLUSÕES**

Os sistemas de manejo estudados sofreram alterações da qualidade do solo quando comparados aos ambientes nativos, sendo os ambientes que receberam correção da acidez e fertilizantes foram os que apresentaram valores de qualidade do solo superiores aos sistemas de referência.

Todos os ambientes analisados obtiveram grandes reduções da qualidade quanto à capacidade dos solos em desenvolver suas funções principais, sendo que o solo descoberto foi o sistema que apresentou a menor qualidade.

Os índices de qualidade do solo gerados, tanto com base nos desvios das propriedades do solo em relação aos ambientes naturais, como a partir do estabelecimento das funções do solo e indicadores a ela associados, foram eficientes em refletir a variação da qualidade do solo, nos diferentes ambientes do Cerrado.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, set./out. 2007.

CARDOSO, E. L. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. 154 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J. ; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a dois sistemas de cultivo: preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul. 2006.

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

FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION. **Planificación del uso de la tierra enfocada al suelo y el agua: la experiencia de la fao en américa latina y el Caribe**. Rome, 2002. Disponível em: <<http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/planifi.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2009.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of convencional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Ontario, v. 80, n. 1/2, p. 29-45, 2000.

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

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physics and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 53-71.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR RESEARCH AND MANAGEMENT, 2., 1991, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: IBSRAM, 1991. p. 175-203.

MELO FILHO, J. F. de; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1599-1608, nov./dez. 2007.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 359-417.

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M. de; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L. Correlação linear e espacial entre resistência à penetração do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1827-1835, set./out. 2008.

SILVEIRA, D. C. **Diagnóstico da qualidade do solo em um pomar de citros cultivado com plantas de cobertura nas condições ambientais do Recôncavo da Bahia**. 2009, 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo Baiano, Cruz das Almas.

SOUZA, A. L. V. **Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argiloso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural**. 2005. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 743-755, jul./ago. 2009

WYMORE, A. W. **Model-based systems engineering: an introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design**. Boca Raton: CRC, 1993. 710 p.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)