

# ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO DE CERRADO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO<sup>(1)</sup>

Marco Aurélio Carbone Carneiro<sup>(2)</sup>, Edicarlos Damacena de Souza<sup>(3)</sup>,  
Edésio Fialho dos Reis<sup>(2)</sup>, Hamilton Seron Pereira<sup>(2)</sup> & Watson  
Rogério de Azevedo<sup>(4)</sup>

## RESUMO

À medida que o conhecimento do sistema plantio direto se amplia, verifica-se que o uso de indicadores químicos isolados não permite melhor caracterização dos solos, sendo necessário utilizar um conjunto de indicadores da qualidade do solo com a entrada de outros atributos, entre eles os físicos e os biológicos. Objetivou-se avaliar os efeitos de sistemas de manejo e uso do solo nos atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho distrófico e um Neossolo Quartzarênico órtico sob Cerrado, no entorno do Parque Nacional das Emas. Os aspectos avaliados no Latossolo foram: Cerrado nativo, pastagem, milho em preparo convencional, nabo forrageiro em plantio direto e sorgo em plantio direto. No Neossolo: Cerrado nativo, pastagem nativa, integração agricultura-pecuária, pastagem cultivada, plantio direto com soja no verão e plantio direto com milho no verão. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 10 cm. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com cinco parcelas de 150 m<sup>2</sup>, sendo coletadas 10 subamostras aleatórias. As análises químicas, físicas e biológicas foram realizadas no Laboratório de Solos da UFG/CJ. Os manejos promoveram alterações na densidade do solo, volume total de poros, macroporos e resistência do solo à penetração no Neossolo e no Latossolo, excetuando-se neste o volume total de poros. Houve pequena variação nos atributos químicos nos dois solos, com o Cerrado apresentando maior acidez potencial e menor teor de cátions trocáveis e P. Os atributos biológicos do solo foram alterados pelos sistemas de manejo, sendo mais prejudicados em sistemas com maior revolvimento do solo. A análise canônica dos dados demonstrou que os atributos físicos foram os de menor

---

<sup>(1)</sup> Trabalho financiado pelo CNPq processo 476302/2003-0. Recebido para publicação em novembro de 2007 e aprovado em novembro de 2008.

<sup>(2)</sup> Professor Adjunto da Universidade Federal de Goiás – UFG. Campus de Jataí, BR 364, km 192, Zona Rural, CEP 75800-000 Jataí (GO). E-mails: carbonearneiro@pq.cnpq.br; edesio7@brturbo.com.br; hseron@uol.com.br

<sup>(3)</sup> Pos-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFG. E-mail: edicarlos@pq.cnpq.br

<sup>(4)</sup> Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus de Rio Verde. Caixa Postal 66, CEP 75901-970 Rio Verde (GO). E-mail: azevedowr@yahoo.com.br

**importância por apresentar maior coeficiente de ponderação nas variáveis canônicas. Os atributos do solo, isoladamente, pouco contribuíram para a avaliação da qualidade do solo: no entanto, quando se usou a análise multivariada, subsidiaram a constatação dos manejos do solo mais sustentáveis.**

**Termos de indexação: análise multivariada, C fração leve, plantio direto.**

**SUMMARY: PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF CERRADO SOIL UNDER DIFFERENT LAND USE AND TILLAGE SYSTEMS**

*As knowledge on no-till system expands, it has become quite clear that separate chemical indicators cannot provide a detailed soil characterization. The objective of this study was to evaluate the effects of tillage systems and soil use in the physical, chemical and biological properties of a clayey dystrophic Red Latosol – Oxisol and a sandy Neosol – Entisol. The treatments for the Oxisol consisted of: native savanna, pasture, conventional tillage, no-tillage with turnip and with forage sorghum as cover crop. For the Entisol: native savanna, native pasture, integrated crop-livestock, cultivated pasture, no-tillage with soybean and corn in the summer. Soil samples were collected from a depth of 0–10 cm, in a clayey dystrophic Red Latosol – Oxisol and a sandy Neosol – Entisol in a savanna ecosystem, near the Parque Nacional das Emas. Treatments were arranged in a completely randomized design, in 5 plots of 150m<sup>2</sup>, where 10 sub-samples were collected randomly. Chemical, physical and biological analyses were carried out at a soil laboratory. In the Entisol, tillage influenced the soil density, total pore volume, macroporosity and penetration resistance. In the Oxisol, tillage induced variations in soil bulk density, macroporosity and penetration resistance. Small variations in chemical properties were observed in both soils, with higher potential acidity and lower exchangeable cation and phosphorus concentrations. The soil biological properties were influenced by tillage, and were most affected in systems with more anthropic action. In the canonical data analysis the greater weighting coefficient of the physical properties in the canonic variables demonstrated that these were the least important. The contribution of the separate soil properties to evaluate soil quality was minor, but the most sustainable management systems could be defined by multivariate analysis.*

*Index terms: multivariate analysis, light carbon fraction, soil quality.*

## INTRODUÇÃO

A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo como plantio direto tem-se apresentado como uma alternativa para contribuir com a sustentabilidade econômica e ambiental do agroecossistema (Silva et al., 2000). A integração agricultura-pecuária em conjunto com o plantio direto merece destaque nesse contexto (Kluthcouski et al., 2003), principalmente em solos de extrema fragilidade, como os arenosos, visto que possibilita a manutenção e, ou, melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

A qualidade desses atributos propicia condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (Doran & Parkin, 1994). No solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. Assim, qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente,

sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas (Brookes, 1995), podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas. Diante disso, a variação desses atributos, determinada pelo manejo e uso do solo, e sua avaliação são importantes para o melhor manejo visando à sustentabilidade do sistema.

Essa avaliação é complexa e deve ser realizada em função de um conjunto de indicadores específicos (atributos) e suas inter-relações, já que se tem verificado que indicadores isolados não são suficientes para explicar a perda ou o ganho potencial dos cultivos de determinado solo. Observa-se que, com o aumento do conhecimento dos sistemas conservacionistas, verifica-se a necessidade da utilização de um conjunto de indicadores e, eventualmente, a inclusão deles em um modelo de avaliação da qualidade do solo (Nicolodi, 2006).

Atualmente são conhecidos efeitos isolados de diferentes manejos e uso do solo nos atributos físicos, químicos e biológicos. No entanto, há a necessidade de avaliar esses atributos em conjunto, principalmente em solos do bioma Cerrado. Assim, a utilização de

análise multivariada dos dados poderá indicar diferenças e estabelecer as relações entre os tratamentos e os atributos avaliados, tornando-se uma ferramenta importante na análise das informações obtidas (Cruz-Castilho et al., 1994).

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de sistemas de manejos e usos do solo nos atributos físicos, químicos e biológicos de um Neossolo Quartzarênico órtico e um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, bem como estabelecer inter-relações com a qualidade do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em janeiro de 2004 em duas localidades no entorno do Parque Nacional das Emas. A primeira área está localizada próximo à nascente do rio Sucuriú (18° 22' S 52° 47' W e altitude de 850 m) no município de Costa Rica (MS). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, apresentando granulometria de 621, 252 e 127 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, com relevo suave ondulado. A segunda área está localizada no município de Mineiros (GO), nas imediações da nascente do rio Araguaia (18° 53' S 53° 06' W e altitude de 800 m). Nesta área, o solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico órtico, apresentando granulometria de 38, 42 e 920 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, com relevo

ondulado. A região de ambos os solos é caracterizada, segundo Köppen, por clima tropical chuvoso (Aw), apresentando temperatura média anual de 18 a 32 °C e precipitação pluvial média anual em torno de 1.700 mm. No quadro 1 é apresentada a descrição detalhada de cada experimento, com o respectivo histórico das áreas nos dois solos estudados.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco parcelas de 150 m<sup>2</sup> em cada sistema de manejo e uso do solo, com distância de 500 m entre elas. Para as avaliações químicas e biológicas, retiraram-se 10 subamostras aleatórias dentro de cada parcela, perfazendo uma amostra composta, na profundidade de 0 a 10 cm. Já para as análises físicas, foram coletadas 10 subamostras indeformadas, aleatoriamente, dentro de cada parcela, nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm (utilizando a média de 0 a 10 cm), com auxílio de anéis com volume conhecido, totalizando 10 repetições por parcela, sendo essas imediatamente acondicionadas em papel alumínio e sacos plásticos e, posteriormente, colocadas em caixas, para evitar a perda da estrutura do solo. Todas as amostras foram armazenadas em caixas térmicas e levadas imediatamente para o Laboratório de Solos da Universidade Federal de Goiás/Campus de Jataí. Parte das amostras foi seca ao ar, até massa constante, e passada em peneira de 2 mm de abertura, para determinação dos atributos químicos. Parte das amostras foi peneirada, imediatamente após a coleta, e armazenada em refrigeração a 4 °C até a realização das análises biológicas (Quadro 2).

**Quadro 1. Histórico e descrição das áreas experimentais (tratamentos) estudadas no Neossolo Quartzarênico órtico e Latossolo Vermelho distrófico**

Sistema de uso e manejo do solo	Descrição
	<b>Neossolo Quartzarênico órtico</b>
Cerrado nativo	Área de mata fechada apresentando serapilheira espessa e utilizada como referência, já que não houve intervenção antrópica. Área total de 46 ha.
Pastagem nativa	Área de Cerrado (campo sujo), apresentando vegetação graminoide e arbustivas, que foi utilizada pela exploração pecuária desde 1993, apresentando erosões laminares e em sulcos. A partir de 2001 a área foi fechada, sem animais, e está em processo de reabilitação natural. Área total de 40 ha.
Integração agricultura-pecuária	Em agosto de 2001, aplicaram-se 2 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico (CaO: 23 %; MgO: 18 % e PRNT: 50 %), 400 Mg ha <sup>-1</sup> de fosfato de Gafsa (29 % de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total com 15 % de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em citrato neutro de amônio). Nas primeiras chuvas, semeou-se milho, que foi dessecado em novembro para a semeadura de soja em PD (cultivar Monarca), aplicando 250 kg ha <sup>-1</sup> de NPK da fórmula 06-20-12 + 30 % de Zn. Após a colheita da soja, foi semeado milho conjuntamente com <i>Brachiaria decumbens</i> (plântio safrinha), sendo adubado com 124 kg ha <sup>-1</sup> de NPK da fórmula 02-24-12 e cobertura com 163 kg ha <sup>-1</sup> de 30-00-10. Após a colheita do milho, vedou-se a área para o crescimento da braquiária, que recebe 20 kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> de N, e posteriormente introduziu-se gado de corte. Área total de 48 ha.
Pastagem cultivada	Pastagem com <i>Brachiaria decumbens</i> desde 1993, com uma única aplicação de 1,5 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície e animais (gado) em pastejo contínuo. Área total de 42 ha.
Soja em plantio direto	De 1993 até 2001, a área foi ocupada por pastagem. A braquiária foi dessecada aplicando-se 1,5 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície. Semeou-se soja em PD (cultivar EMGOPA 313), inoculada com estipes de <i>Rhizobium</i> CPAC 15 e CPAC 7, e aplicação de 550 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 2-20-18. Na maturação da soja, foram semeadas a lanço sementes de <i>Brachiaria decumbens</i> ; após a colheita da soja, a área foi fechada para o desenvolvimento da pastagem sendo, portanto, utilizado soja na safra em sistema de plantio direto. Área total de 32 ha.

Continua...

**Quadro 1. Continuação**

Sistema de uso e manejo do solo	Descrição
	<b>Neossolo Quartzarênico órtico</b>
Milho em plantio direto	De 1993 até 2001, a área foi ocupada por pastagem. A braquiária foi dessecada e aplicados 2 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico em superfície. Semeou-se milho (cultivar Dekalb 350) conjuntamente com <i>Brachiaria decumbens</i> , aplicando-se 451 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 08-20-18 + 0,3 % de Zn. Após a colheita do milho, a espécie <i>Brachiaria decumbens</i> estabelecida foi dessecada novamente no próximo ano agrícola para semeadura de milho, portanto em sistema plantio direto sempre utilizando milho na safra. Área total de 38 ha.
	<b>Latossolo Vermelho distrófico</b>
Cerrado nativo	Área de Cerrado nativo com serapilheira densa, utilizado como referência. Área total de 57 ha.
Pastagem cultivada	Em 2001 foi aplicado 1 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico incorporado utilizando grade. Semeou-se milho (cultivar precoce NK Fort) com aplicação de 300 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 08-20-20 + 0,3 % de Zn e cobertura de 372 kg ha <sup>-1</sup> na fórmula 25-00-15. Após a colheita do milho semeou-se <i>Brachiaria decumbens</i> , com aplicação de 80 kg ha <sup>-1</sup> de KCl. Atualmente vem sendo realizada adubação de cobertura de 80 kg ha <sup>-1</sup> de N. Sequência: milho/braquiária. Presença de animais (gado) em pastejo contínuo. Área total de 38 ha.
Milheto em preparo convencional	Em 2001 foi realizada a aplicação de 1 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico (CaO: 22 %; MgO: 18 % PRNT: 85 %) e semeadura do milho (cultivar precoce NK Fort) aplicando-se 454 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 08-20-20 + 0,3 % de Zn e como cobertura aplicou-se uma média de 340 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 25-00-15. Após a colheita do milho, semeou-se milheto na safrinha para palhada. Em 2002, semeou-se soja (cultivar Pintada), aplicando-se 250 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 00-18-18. Após a colheita da soja, semeou-se milheto na safrinha em sistema de plantio convencional. Após sequência na área foi a de milho/milheto/soja/milheto. Área total de 40 ha.
Nabo em plantio direto	Em 2001 foi realizada a aplicação de 1 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico (CaO: 22 %; MgO: 18 %; PRNT: 85 %) e semeadura de soja (cultivar Monsoy 8400), aplicando-se 374 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 00-18-18. Após a colheita da soja em PD, semeou-se nabo forrageiro na safrinha. Em 2002 semeou-se milho (cultivar Pioneer 3027), aplicando-se 389 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 08-20-20 e nabo na safrinha, e assim sucessivamente, sempre em sistema de plantio direto. A sequência desde 2001 foi: soja/nabo/milho/nabo. Área total de 42 ha.
Sorgo em plantio direto	Em 2001 foi realizada a aplicação de Mg ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico e plantio direto da soja (cultivar Monsoy 8400) na safra, com adubação de 221 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 0-18-18. Em 2002 semeou-se milho (cultivar DINA 657 semiprecoce), com aplicação de 307 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 00-20-20 + 0,3 % de Zn e cobertura de 377 kg ha <sup>-1</sup> de 25-00-15. Após a colheita do milho, semeou-se sorgo (Agroceres – AG 2501C), com aplicação de 200 kg ha <sup>-1</sup> de NPK na fórmula 08-20-20. A sequência desde 2001 foi: soja/milho/sorgo/soja. Área total de 39 ha.

**Quadro 2. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo e métodos utilizados para sua determinação**

Atributo	Método	Referências
	<b>Físicos</b>	
Granulometria do solo	Pipeta	Embrapa (1997)
Densidade do solo	Anel volumétrico	Blake & Hartage (1986)
Volume total de poros, macro e microporosidade	Mesa de tensão	Embrapa (1997)
Resistência do solo à penetração	Penetrômetro de Impacto	Stolf (1991)
	<b>Químicos</b>	
Acidez do solo	Determinado através de peagâmetro	Embrapa (1997)
Al, Ca e Mg	Cloreto de potássio	Embrapa (1997)
H + Al	Acetato de cálcio	Embrapa (1997)
K e P	Uso de extrator Mehlich-1	Embrapa (1997)
Carbono orgânico total	Oxidação por dicromato de potássio	Embrapa (1997)
Fração do carbono leve	Fracionamento densimétrico com NaI	Roscoe & Machado (2002)
	<b>Biológicos</b>	
Carbono da biomassa microbiana	Fumigação e extração	Vance et al. (1987)
Respiração microbiana do solo	CO <sub>2</sub> evoluído com extração pelo NaOH	Alef & Nannipieri (1995)
Quociente metabólico, qCO <sub>2</sub>	Relação entre respiração e o carbono da biomassa microbiana	Anderson & Domsch (1993)
Quociente microbiano	Relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo	Anderson & Domsch (1993)
Urease	Determinação da amônia liberada após a incubação do solo	Tabatabai & Bremner (1972)
Fosfatase ácida	Leitura em espectrofotômetro do p-nitrofenol	Dick et al. (1996)
Colonização micorrízica	Coloração de raízes finas com tripano blue	Giovannetti & Mosse (1980)
Densidade de fungos micorrízicos arbusculares	Extração úmida de esporos de FMAs do solo	Gerdermann & Nicolson (1963)

Os resultados foram submetidos à análise de variância e a teste de médias, utilizando o teste de Tukey a 5 % (SAEG). Como análise complementar, foi utilizada a técnica multivariada por meio da análise canônica, envolvendo todas as variáveis em estudo, a partir da qual foi reduzido o conjunto de dados em combinações lineares, gerando os escores das duas primeiras variáveis canônicas que explicam mais de 80 % da variação total, conforme recomendado por Cruz & Regazzi (1994). Esses escores são projetados em gráficos bidimensionais. Além dessa técnica, foi ainda utilizado o método de agrupamento de Tocher, com o propósito de discriminar os tratamentos que apresentaram maior similaridade, e para agrupar os diferentes tipos de manejo, a matriz de distância generalizada de Mahalanobis. O gráfico com base na análise canônica foi gerado e os grupos formados por meio do agrupamento de Tocher. As análises foram realizadas de acordo com Cruz & Regazzi (1994), utilizando-se o programa Genes (Cruz, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os manejos e usos do solo, no Neossolo, promoveram alterações ( $p < 0,05$ ) na densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP) e na macroporosidade (Ma), quando comparados ao Cerrado (Quadro 3). O efeito do pisoteio das pastagens pelo gado e o uso de máquinas agrícolas nas demais áreas podem ter contribuído para maior densidade do solo nas áreas estudadas, em relação ao Cerrado, a exemplo do verificado por Corsini & Ferraudo (1999) em áreas com tráfego intenso. Mesmo havendo alteração da densidade do solo em relação ao Cerrado, os valores encontrados foram menores que o índice crítico do crescimento radicular de solos arenosos,  $1,75 \text{ kg dm}^{-3}$  (Medina, 1985; Corsini & Ferraudo, 1999). Nos primeiros anos de plantio direto, ocorreu aumento na densidade do solo pelo rearranjo das partículas de solo; no entanto, com a consolidação do sistema, houve aumento nos teores de C orgânico e, com isso, diminuição na densidade do solo (Machado & Brum, 1978; Tormena et al., 1998).

A redução no VTP e na Ma em todas as áreas, com relação ao Cerrado, excetuando-se a área sob pastagem nativa (Quadro 3), também está de acordo com as observações de Tormena et al. (1998), que verificaram redução de até 24 % no VTP, quando comparado com áreas que não sofreram ação antrópica. O pisoteio de animais, máquinas agrícolas e manejo inadequado irão acarretar interferências na estrutura do solo, promovendo redução no VTP. A microporosidade não foi influenciada pelo manejo do solo e é considerada baixa neste solo, decorrente do alto teor de areia nele encontrado ( $920 \text{ g kg}^{-1}$ ).

As áreas sob integração agricultura-pecuária, pastagem e milho em PD apresentaram a mesma

resistência mecânica do solo à penetração que a encontrada na área sob Cerrado (Quadro 3), nas mesmas condições de umidade do solo. Esses resultados devem-se, provavelmente, à menor interferência antrópica no solo das áreas de integração agricultura-pecuária e pastagem, além do fato de esse solo possuir estrutura fraca, imprimindo baixa resistência à penetração. Apesar de a área com milho em PD apresentar a mesma resistência mecânica que a área com Cerrado, verifica-se tendência de aumento deste atributo. Provavelmente, o valor da resistência do solo à penetração encontrada na pastagem nativa, aproximadamente 91 % maior que a área com Cerrado, pode ser atribuído ao pisoteio animal nessa área por mais de 20 anos. Entretanto, esses valores de resistência à penetração não são considerados impeditivos ao crescimento e desenvolvimento de plantas, que podem variar de 3 a 5 MPa, dependendo do tipo de solo, manejo e uso do solo, culturas, umidade, entre outros (Arshad et al., 1996; Souza & Alves, 2003).

No Latossolo, verificou-se que os manejos e usos do solo promoveram aumento na Ds e efeito menos pronunciado na Ma em relação ao Cerrado; o VTP e a Mi não diferiram da área de referência (Quadro 3). A Ds aumentou 7 % em relação ao Cerrado, porém os valores obtidos nos diferentes manejos e uso do solo não atingiram valores impeditivos ao crescimento radicular, que se situa em torno de  $1,27 \text{ kg dm}^{-3}$  para solos argilosos (Alvarenga et al., 1996). O VTP não foi influenciado pelos sistemas de uso e manejo do solo ( $p > 0,05$ ); entretanto, houve tendência de maior VTP nas áreas sob sorgo em PD, Cerrado e pastagem e menor nas áreas sob sistema plantio direto com as culturas do nabo em PD e milho em PC. Estudo realizado por Corsini & Ferraudo (1999), em áreas submetidas a cultivo, mostrou diminuição da porosidade do solo e do potencial de crescimento radicular na camada superficial. A área sob milho em PC teve redução de 38 % nos valores de Ma; nas demais áreas, a redução foi de 29 %, comparativamente ao Cerrado. A Ma variou de  $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na área em que se cultivou nabo em PD a  $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no Cerrado nativo, tendo-se verificado redução de 29 %, o que corrobora dados de Tormena et al. (1998), que observaram redução de até 28 % nos macroporos em relação a uma área não cultivada. Apesar dessas variações na Ma, os sistemas de uso e manejo do solo não provocaram variações significativas.

No Latossolo Vermelho, a área sob Cerrado nativo apresentou os menores valores de resistência do solo à penetração (Quadro 3) e umidade em torno de 28 %. As áreas sob pastagem, milho em PC e nabo em PD apresentaram os maiores valores de resistência à penetração, provavelmente devido ao pastejo intensivo e pelo fato de o sistema radicular da gramínea ser fasciculado, promovendo aumento na resistência à penetração em razão do contato do cone do penetrômetro com as raízes (Medina, 1985) e em consequência do uso de máquinas agrícolas no nabo em PD. As alterações promovidas no solo pelo tráfego

**Quadro 3. Características físicas nos diferentes sistemas de manejo e uso em um Neossolo Quartzarênico órtico e um Latossolo Vermelho distrófico**

Sistema de uso e manejo do solo	Ds	VTP	Ma	Mi	RSP
	kg dm <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		MPa
Neossolo Quartzarênico					
Cerrado	1,42 b	0,42 a	0,34 a	0,08 a	1,03 c
Pastagem Nativa	1,56 a	0,39 ab	0,30 ab	0,08 a	1,96 a
Integ. Agri.-Pec.	1,57 a	0,35 bc	0,28 bc	0,07 a	1,19 bc
Pastagem	1,57 a	0,34 c	0,25 c	0,07 a	1,06 c
Soja em PD	1,60 a	0,35 bc	0,27 bc	0,08 a	1,52 b
Milho em PD	1,56 a	0,36 bc	0,28 bc	0,08 a	1,35 bc
Latossolo Vermelho					
Cerrado	1,08 b	0,56 <sup>ns</sup>	0,24 a	0,33 <sup>ns</sup>	1,32 c
Pastagem	1,13 ab	0,54	0,17 ab	0,37	2,27 a
Milheto em PC	1,16 a	0,51	0,15 b	0,36	2,21 a
Nabo em PD	1,16 a	0,51	0,17 ab	0,34	2,34 a
Sorgo em PD	1,16 a	0,57	0,17 ab	0,40	1,92 b

PD: plantio direto; PC: preparo convencional. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Ds: densidade do solo, VTP: volume total de poros, Ma: macroporosidade, Mi: microporosidade e RSP: resistência do solo à penetração.

durante o processo de plantio, pulverizações e colheita podem ter contribuído para esse aumento da resistência à penetração. Contudo, esses valores de resistência à penetração não são considerados impeditivos ao crescimento radicular, mesmo porque não ocorrem aumentos de Ds do solo que poderiam indicar sua degradação física (Quadro 3).

Os atributos químicos mostraram pequena variação entre as áreas sob diferentes manejos e uso do solo: no entanto, diferiram na maioria das variáveis quando comparados com os do Cerrado (Quadro 4). Nos dois solos, as áreas sob vegetação de Cerrado apresentaram maior H + Al e Al<sup>3+</sup> e menor concentração de Ca, Mg e P 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 valores de pH não diferiram no Neossolo, mas sim no Latossolo, indicando que a calagem, antes da implantação das culturas, contribuiu para o seu aumento, o que é corroborado com a diminuição do teor de Al<sup>3+</sup> e aumento dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. O valor de K observado para a pastagem nativa no Neossolo mostra que a erosão e a lixiviação podem ter contribuído para a perda deste nutriente. O menor teor de cátions trocáveis no Neossolo em relação ao Latossolo pode ser atribuído à baixa CTC deste solo e às perdas de nutrientes pouco retidos nos sítios de troca, devendo, dessa forma, ser manejados com critérios rigorosos, a fim de atingirem seu máximo potencial produtivo, sem que provoque a sua degradação. No Neossolo, o teor de P no solo sob pastagem não diferiu dos valores encontrados para o Cerrado e pastagem nativa. Para o Latossolo, o aporte de P pela adubação promoveu aumento desse elemento no tratamento sob milheto em PC e no nabo em PD

em relação ao teor encontrado no Cerrado. Tem-se adotado como critério para a adubação fosfatada o teor da fração argila nos solos, devido à alta afinidade de P com óxidos. Isso tem levado a doses excessivas de P aplicadas ao solo, o que pode ter contribuído para esse fato.

Para o C orgânico total (COT), verificou-se que os manejos e uso do solo apresentaram influência, com maior concentração no solo sob pastagem cultivada e menor no solo sob pastagem nativa no Neossolo (Quadro 4). Este atributo mostrou-se pouco sensível ao manejo e ao uso do solo, onde somente áreas com grande interferência antrópica e longo tempo de uso mostram diferenças entre si, corroborando outro estudo realizado nessa mesma área (Souza et al., 2006). No entanto, o C da fração leve (CFL) foi severamente alterado pelos manejos, apresentando redução de 50 % em solo de pastagem nativa e de até 71 % em solo sob pastagem, em relação ao Cerrado (Quadro 4). No Latossolo, observou-se que a área sob Cerrado apresentou menor concentração de COT e maior de CFL. Essa maior concentração de CFL deve-se ao não revolvimento do solo, o que favorece a maior proteção da matéria orgânica. A proteção física da matéria orgânica contra a ação microbiana exercida pela estrutura do solo promovida pelas raízes fasciculadas das gramíneas pode explicar a maior concentração de COT nas demais áreas (Balesdent et al., 2000).

O CFL é um importante componente do C orgânico do solo e atua na manutenção da atividade microbiana do solo e na ciclagem de nutrientes, sendo severamente alterado pelo manejo e uso do solo. O CFL representou 21 e 15 % do COT, no Neossolo e Latossolo, respectivamente, sofrendo acentuada redução conforme se intensificou o uso do solo em



relação ao Cerrado. Essa maior concentração de CFL nas áreas sob o Cerrado, tanto no Neossolo quanto no Latossolo, deve-se à constante entrada de C via serapilheira e rizodeposição (Souza et al., 2006), além do fato da preservação da estrutura do solo, que contribui, via agregação, para a proteção e manutenção do C no solo. Verifica-se que os sistemas de manejo do solo, no Neossolo, têm conseguido adicionar quantidades de resíduos suficientes para manter os teores de COT, com exceção da pastagem nativa, que tem promovido perdas nos teores de COT. Já para o Latossolo, o que se constata é que os sistemas de manejo do solo têm promovido maiores adições de resíduos ao solo, pois todos os tratamentos apresentaram maiores teores de COT, além do fato de que, no Latossolo, a proteção física da matéria orgânica é maior do que no Neossolo.

O C da biomassa microbiana do solo (C-BM) apresentou menor concentração nas áreas de pastagem nativa e na pastagem cultivada, diferindo ( $p \leq 0,05$ ) das demais áreas no Neossolo (Quadro 5). Pode-se observar que a respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) foi menor na pastagem e na área com milho em PD e maior no solo sob Cerrado. O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi maior na pastagem nativa e menor nas demais áreas sob manejo e uso do solo. A relação entre C na biomassa microbiana e C orgânico total (C-BM/COT) foi reduzida nas áreas de pastagem nativa e pastagem cultivada em relação ao Cerrado. Essa relação reflete quanto do C orgânico está imobilizado na biomassa microbiana e mostra o potencial de reserva desse elemento no solo (Anderson & Domsch, 1993). Nesse sentido, as áreas sob pastagem nativa e pastagem cultivada apresentaram menores valores de

maneira geral, o que indica menor reserva de energia e nutriente imobilizado na biomassa microbiana. O resultado está coerente com o estado da pastagem, pois a área de pastagem nativa apresentava sinais de degradação do solo e atualmente está em processo de recuperação. Já a pastagem apresentou baixos teores de C imobilizado na biomassa microbiana, devido à monocultura da pastagem, uma vez que ocorre a seleção de determinados grupos de microrganismos, que são maiores em sistemas com mais de uma cultura.

Estudos sobre manejos do solo devem buscar sistemas que promovam menores  $qCO_2$ , pois, nesses sistemas, a biomassa microbiana está em equilíbrio, com menores perdas de CO<sub>2</sub> pela respiração, e, com isso, maior é a incorporação de C à biomassa microbiana (Gama-Rodrigues, 1999). No entanto, não se observa isso em todos os manejos e usos do solo, com exceção da pastagem nativa, na qual a população microbiana do solo consome mais C para manutenção, promovendo, portanto, perda deste elemento, o que já pode ser observado na concentração do COT (Quadro 4).

No Latossolo, todos os manejos e usos do solo alteraram a concentração do C-BM, apresentando reduções de 56, 72 e 80 % para área com sorgo em PD, nabo em PD e milheto em PC, respectivamente, em relação ao Cerrado (Quadro 5). Para a respiração microbiana, com exceção da área sob milheto em PC, as demais não diferiram da área de Cerrado, porém a área sob cultivo de nabo em PD apresentou elevado  $qCO_2$ , demonstrando a perda de C do solo, comprovada pela concentração de C retido na biomassa microbiana (Quadro 5). Um dos atributos biológicos mais

**Quadro 4. Atributos químicos nos diferentes sistemas de manejo e uso em um Neossolo Quartzarênico órtico e um Latossolo Vermelho distrófico**

Sistemas de uso e manejo do solo	pH	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				mg dm <sup>-3</sup>		COT <sup>(1)</sup>	CFL <sup>(2)</sup>
		H + Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K	P		
Neossolo Quartzarênico									
Cerrado	4,9 <sup>ns</sup>	3,8 a	0,79 a	0,13 b	0,19 c	9,0 ab	1,4 b	8,8 ab	1,87 a
Pastagem Nativa	4,7	2,4 b	0,60 a	0,20 b	0,15 c	4,4 b	1,7 b	6,6 b	0,70 b
Integ. Agri. -Pec.	5,4	2,6 b	0,21 b	0,82 a	0,34 bc	7,4 ab	13,0 a	8,6 ab	0,87 b
Pastagem	5,6	2,1 b	0,19 b	0,78 a	0,42 ab	12,4 a	3,2 b	10,6 a	0,69 b
Soja em PD	5,7	1,8 b	0,09 b	1,06 a	0,63 a	12,4 a	10,2 a	9,2 ab	0,65 b
Milho em PD	5,8	1,7 b	0,18 b	0,77 a	0,52 ab	10,4 ab	10,5 a	8,5 ab	0,671b
Latossolo Vermelho									
Cerrado	5,04 b	5,9 a	0,81 a	0,14 b	0,20 c	23,0 c	0,7 c	25,5 b	3,21 a
Pastagem	5,61 a	4,9 ab	0,17 b	2,74 a	0,91 b	78,5 abc	12,0 bc	34,3 a	1,51 b
Milheto em PC	5,88 a	4,5 ab	0,15 b	3,11 a	1,05 b	120,7 a	29,6 a	34,2 a	1,08 b
Nabo em PD	5,86 a	5,0 ab	0,21 b	2,54 a	1,18 ab	98,1 ab	16,5 ab	31,1 ab	1,08 b
Sorgo em PD	5,83 a	4,2 b	0,13 b	2,71 a	1,63 a	52,1 bc	13,9 bc	30,6 ab	1,53 b

<sup>(1)</sup> COT: C orgânico total. <sup>(2)</sup> CFL: C da fração leve. PD: plantio direto; PC: preparo convencional. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Quadro 5. Características biológicas em diferentes sistemas de manejo e uso em um Neossolo Quartzarênico órtico e um Latossolo Vermelho distrófico**

Sistemas de uso e manejo do solo	C-BM µg g solo <sup>-1</sup>	Respiração mg h <sup>-1</sup> C-CO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub> mg C-CO C-BM h <sup>-1</sup>	C- BM/COT		Urease µg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Fosfatase ácida µg PNF g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	FMAs	
				µg	%			Esporos n (50 ml solo) <sup>-1</sup>	Colonização %
Neossolo Quartzarênico									
Cerrado	275 a	5,9 a	0,022	3,1	4,2 bc	137 ab	428 b	37 b	
Pastagem Nativa	89 c	2,9 ab	0,033	1,3	4,0 c	102 c	884 a	79 a	
Integ. Agri. -Pec.	332 a	3,2 ab	0,010	3,9	7,4 b	140 a	907 a	43 b	
Pastagem	197 b	1,1 b	0,005	1,9	6,2 bc	136 ab	910 a	51 b	
Soja em PD	321 a	4,0 ab	0,012	3,5	10,9 a	140 a	941 a	40 b	
Milho em PD	413 a	2,3 b	0,005	4,9	3,7 c	125 b	940 a	40 b	
Latossolo Vermelho									
Cerrado	541 a	7,9 a	0,015	2	22,5 a	144 <sup>ns</sup>	373 <sup>ns</sup>	35 <sup>ns</sup>	
Pastagem	334 b	5,6 ab	0,017	1	7,7 b	141	587	41	
Milheto em PC	106 c	2,6 b	0,024	< 1	5,4 b	147	734	34	
Nabo em PD	149 c	7,8 a	0,052	< 1	3,8 b	143	532	38	
Sorgo em PD	236 bc	4,8 ab	0,021	< 1	6,4 b	143	704	48	

PD: plantio direto; PC: preparo convencional. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

importantes é a biomassa microbiana do solo, que é a parte viva da matéria orgânica do solo, pois atua como agente da transformação bioquímica dos resíduos adicionados ao solo e compostos orgânicos e como reservatório de nutrientes (Moreira & Siqueira, 2002). É utilizada como indicador biológico da qualidade do solo. Estudos conduzidos em solos de Cerrado demonstram que a adoção do sistema de plantio direto contribuiu para o aumento da biomassa microbiana em relação ao plantio convencional (D'Andréa et al., 2002). Neste estudo, no Latossolo, observou-se que, em todos os manejos e usos do solo, a C-BM e a relação entre o C microbiano e o C orgânico total foram reduzidas, em relação ao Cerrado.

As atividades da urease e da fosfatase ácida no Neossolo foram alteradas pelos manejos e usos do solo (Quadro 5). A urease foi mais elevada na área sob soja em PD em relação às demais áreas estudadas, e a atividade da fosfatase ácida foi menor na área sob pastagem nativa, sendo diferente das demais áreas estudadas ( $p \leq 0,05$ ). No Latossolo, todos os manejos e usos do solo promoveram redução na atividade da urease em relação ao Cerrado; contudo, não foram observadas diferenças significativas entre eles. Resultado semelhante foi encontrado para a atividade da fosfatase ácida.

O sistema de uso do solo tem grande influência sobre a atividade enzimática do solo (Doran & Parkin, 1994). Estudo desenvolvido em Latossolo Vermelho mostrou que a atividade da urease foi reduzida em 33 e 72 % em solos sob pastagens (10 anos) e algodão, respectivamente, quando comparado com solos sob mata (Marchiori-Júnior, 1998); resultados semelhantes foram encontrados em outros solos cultivados com trigo e milho nos EUA (Hector & Robert, 1989; Riffaldi

et al., 1994) e em solos da Amazônia (Fernandes, 1999). Doran (1987) e Dick (1994) verificaram aumento da atividade enzimática na superfície do solo em sistema de plantio direto comparado com plantio convencional, devido ao menor distúrbio no solo neste sistema. Esses resultados divergem do encontrado neste estudo para o Latossolo, o que pode ser explicado pela recente adoção do sistema de plantio direto nas áreas estudadas. Já para o Neossolo, os resultados encontrados pelos autores supracitados corroboram este estudo, porém não há estudos dessa natureza em solos arenosos, principalmente em solos de Cerrado.

No Neossolo, foi observado menor número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na área de Cerrado e maior colonização micorrízica das raízes na área de pastagem nativa. Esse fato não foi observado no Latossolo, não havendo diferença entre as áreas estudadas para número de esporos de FMA e colonização micorrízica. Os FMAs são um dos principais componentes da microbiota do solo e mais comumente encontrados nos biomas tropicais, ocupando importante nicho ecológico nos ecossistemas, sendo influenciados pelas práticas de manejo e uso, que podem reduzir a incidência de algumas espécies de FMA, ocasionando a perda da biodiversidade (Moreira & Siqueira, 2006). Isso adquire relevância no bioma Cerrado devido à intensidade de uso do solo, fragilidade e grande diversidade edáfica e climática, além do avanço da agricultura, que vem incorporando cada vez mais áreas de Cerrado nativo ao processo de produção de grãos, carne e energia. Neste estudo, não foi encontrado efeito dos manejos e uso do solo na população e na colonização micorrízica.

Na análise canônica dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo sob diferentes manejos e usos do



solo para o Neossolo, a primeira e a segunda variável canônica corresponderam a 48,6 e 37,3 % da variação total, respectivamente. Isso representa 85,9 % da variação total, o que, de acordo com Cruz & Regazzi (1994), é satisfatório para avaliação por meio da dispersão gráfica dos escores em relação às primeira e segunda variáveis canônicas. Além da dispersão gráfica, o método de agrupamento de Tocher foi utilizado e evidenciou a formação de três grupos: dois formados por um único manejo e uso (o primeiro pelo Cerrado e o segundo pela pastagem nativa em processo de reabilitação) e um terceiro formado por soja em PD, milho em PD, pastagem e integração agricultura-pecuária (Figura 1), demonstrando que os manejos e uso deste solo com o plantio direto, nas áreas de soja em PD e milho em PD, da integração agricultura-pecuária e pastagem apresentaram comportamento similar quando considerado o conjunto das variáveis em estudo, fato também determinado nos atributos avaliados pelo teste de médias. No entanto, com relação à área de Cerrado, esses manejos e uso do solo provocaram reduções em vários atributos estudados, o que pode levar à degradação deste solo com o tempo, como já observado em várias áreas em torno do experimento deste estudo. Isso é bem evidente na área de pastagem nativa em processo de reabilitação, que se apresenta afastada das demais áreas estudadas.

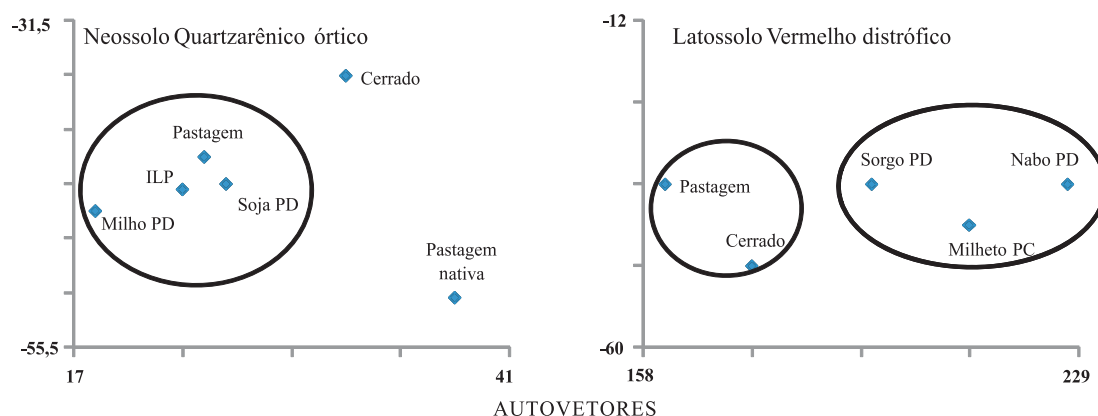
As variáveis de menor importância, por apresentarem maior coeficiente de ponderação nas últimas variáveis canônicas, ou seja, aquelas que retêm pequena parte da variação total disponível, são volume total de poros, microporos, macroporos e densidade do solo. Isso mostra que os atributos mencionados pouco contribuem para discriminar os tipos de manejo e uso do solo, corroborando outros estudos que evidenciam maior discriminação pelos atributos biológicos (Maluche-Baretta et al., 2006).

Para o Latossolo, as duas primeiras variáveis canônicas explicam, respectivamente, 90,3 e 7,8 %, o

que representa 98,1 % da variância total disponível nas variáveis em estudo, também possibilitando o estudo por meio da dispersão gráfica dessas duas variáveis num espaço bidimensional. As áreas foram classificadas em dois grupos, sendo o primeiro composto pela área de Cerrado e pastagem e o segundo pelas áreas de sorgo em PD, milho em PC e nabo em PD (Figura 1). Portanto, a área sob pastagem em Latossolo foi a mais próxima da referência (Cerrado); nas demais áreas, o manejo e o uso do solo devem ser alterados para que se proporcionem melhorias nos atributos estudados. Isso pode ser feito mantendo-se a área sempre com vegetação de cobertura, o que proporciona aumento da adição de resíduos ao solo e, conseqüentemente, maiores teores de matéria orgânica do solo, contribuindo, assim, para a melhoria de todos os atributos do solo (Bayer, 1996). As variáveis que apresentaram menor discriminação dos manejos e uso do solo, por apresentarem maior coeficiente de ponderação nas últimas variáveis canônicas, foram: microporos, macroporos, densidade do solo, volume total de poros e teor de P. Evidenciou-se, assim como encontrado no Neossolo, na condição deste estudo, que os atributos físicos pouco contribuíram na detecção de diferenças entre os tipos de manejo e uso do solo.

## CONCLUSÕES

1. Os manejos e uso do solo alteram os atributos físicos, químicos e biológicos nos dois solos.
2. Os atributos físicos avaliados, agrupados, apresentaram as menores contribuições na discriminação dos manejos e usos dos solos.
3. No Neossolo Quartzarênico, nenhum dos sistemas e uso do solo foi agrupado com a área de referência; já no Latossolo Vermelho a área sob pastagem manteve-se mais próxima da área de Cerrado.



**Figura 1.** Dispersão dos diferentes sistemas de uso e manejo e agrupamento pelo método de Tocher das duas primeiras variáveis canônicas no Neossolo Quartzarênico órtico e no Latossolo Vermelho distrófico. ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto; PC: preparo convencional.

## AGRADECIMENTOS

Aos produtores rurais Milton Fries e Eduardo Peixoto, por cederem suas propriedades e pelo apoio logístico para realização deste estudo. Ao professor Ibanor Anghinoni pelas valiosas sugestões.

## LITERATURA CITADA

- ALEF, K. & NANNIPIERI, P., eds. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London, Academic Press, 1995. 576p.
- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W. & REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. R. Bras. Ci. Solo, 20:319-326, 1996.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biol. Biochem., 25:393-395, 1993.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. (SSSA Special Publication, 49)
- BALESDENT, J.; CHENU, C. & BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil Till. Res., 53:215-230, 2000.
- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 240p. (Tese de Doutorado)
- BLAKE, G.R. & HARTAGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.
- BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biol. Fert. Soils, 19:269-279, 1995.
- CORSINI, P.C. & FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. Pesq. Agropec. Bras., 34:289-298, 1999.
- CRUZ, C.D. Programa GENES – Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 442p.
- CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 394p.
- CRUZ-CASTILHO, J.G.; GANESHANANDAM, S.; MACKAY, B.R.; LAWES, G.S.; LAWOKO, C.R.O.O. & WOOLLEY, D.J. Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. Hort. Sci., 29:1115-1119, 1994.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O. & CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. R. Bras. Ci. Solo, 26:913-923, 2002.
- DICK, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STUART, B.A., eds. Defining soil quality for sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.107-124.
- DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P. & TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.247-272.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21.
- DORAN, J.W. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. Biol. Fert. Soils, 5:68-75, 1987.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERNANDES, S.A.P. Propriedades do solo na conversão de floresta em pastagem fertilizada e não fertilizada com fósforo na Amazônia (Rondônia). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999. 131p. (Tese de Doutorado)
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.227-244.
- GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc., 46:235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol., 84:484-500, 1980.
- KLUTHCOWSKI, J.; STONE, L.F. & AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570p.
- HECTOR, J.B. & ROBERT, L.W. Soil urease activity in management systems. Winter wheat residue. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:1455-1458, 1989.
- MARCHIORI-JÚNIOR, M. Carbono, nitrogênio, biomassa microbiana e atividade enzimática num solo sob mata natural ou cultivado com pastagem ou algodoeiro. Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo, 1998. 89p. (Tese de Mestrado)

- MACHADO, J.A. & BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. R. Bras. Ci. Solo, 2:81-84, 1978.
- MALUCHE-BARRETA, C.R.D.; AMARANTE, C.V.T. & KLAUBERG-FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. Pesq. Agropec. Bras., 41:1531-1539, 2006.
- MEDINA, B.F. Influência de dois métodos de preparo de área na compactação de um Latossolo Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 9:67-71, 1985.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626p.
- NICOLODI, M. Desafios à caracterização de solo fértil em química do solo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., Passo Fundo, 2006. Anais. Passo Fundo, Embrapa, 2006. CD-ROM.
- RIFFALDI, R.; SAVOZZI, A.; LEVI-MINZI, R. & MENCHETTI, F. Chemical characteristics of soil after 40 years of continuous maize cultivation. Agric. Ecosystem. Environ., 49:239-245, 1994.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. 86p.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:191-199, 2000.
- SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 7:18-23, 2003.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZZETTI, S. Alterações nas frações do C em um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. Acta Sci. Agron., 28:323-329, 2006.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. R. Bras. Ci. Solo, 15:229-235, 1991.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Assay of urease activity in soil. Soil Biol. Bioc., 4:479-487, 1972.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. R. Bras. Ci. Solo, 22:301-309, 1998.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem., 19:703-707, 1987.