

## CARACTERIZAÇÃO E COMPARTIMENTOS DO CARBONO ORGÂNICO EM LATOSSOLOS DA REGIÃO DE JUIZ DE FORA, MG<sup>1</sup>

**Geraldo César Rocha**

Prof. Associado do Depto. de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, Brasil. Rua José Lourenço Kelmer, s/n - Campus Universitário, Bairro São Pedro - CEP: 36036-900 - Juiz de Fora - MG.  
E-mail: geraldoroc@yahoo.com.br

**Haibo Li**

Pesquisador do Instituto de Geografia e Agroecologia do Nordeste da China (NEIGAE / Harbin / China)

**Xiaozeng Hang**

Pesquisador do Instituto de Geografia e Agroecologia do Nordeste da China (NEIGAE / Harbin / China)

---

### Resumo

O carbono orgânico do solo é importante como fornecedor e sequestrador do gás de efeito estufa CO<sub>2</sub>. Isso fortalece a necessidade de se conhecer e quantificar esse elemento nos vários solos, e nos diferenciados padrões de uso da terra. Estudaram-se horizontes A de latossolos sob diferentes sistemas de uso na região de Juiz de Fora, MG. Empregou-se o método de determinação do carbono retido a diferentes densidades, separando-se as frações leve livre, leve oclusa e pesada. Concluiu-se que o carbono da fração pesada predomina em todos os solos, seguido pelo da leve livre e finalmente pelo carbono da fração leve oclusa. Na fração pesada destaca-se o carbono da humina, a qual se mostra como maior sequestradora desse elemento.

**Palavras-chave:** Carbono orgânico do solo; latossolos; método densimétrico.

### Abstract

The soil organic carbon is considered both as a pool and as a source of CO<sub>2</sub>, a fact that encourages researches to quantify this element in the various kinds of soils, as well as in its different uses. This work shows a study at the Juiz de Fora region, Minas Gerais state in Brazil, where A horizons of oxisols under different land uses were sampled. It was used the density fractionation method to separate the heavy fraction, the free light fraction and the occluded light fraction. It was concluded that the heavy fraction carbon predominates in all soils, followed by the free light fraction and finally by the occluded light fraction. In the heavy fraction predominates the carbon of the protected humin portion, a fact that enables to consider this portion the most important soil carbon pool.

**Keywords:** Soil organic carbon; brazilian oxisols; density fractionation.

---

<sup>1</sup> Projeto financiado pela Academia Chinesa de Ciências (Pequim, China)

## Introdução

O carbono orgânico dos solos tem atraído crescente atenção da comunidade científica mundial, não só pelo seu papel como formador do CO<sub>2</sub>, um dos gases mais importantes do efeito estufa mas também pelo fato da descoberta de que os solos liberam mais CO<sub>2</sub> do que se pensava (SCHULZE e FREIBAUER, 2005). Essa saída de carbono do solo, além de perturbar o equilíbrio térmico do planeta, leva a uma diminuição marcante desse componente no solo, afetando sua fertilidade e produtividade (RASTOGI et al., 2002), já que a matéria orgânica contribui para melhorar características físicas e bioquímicas do solo, sendo também considerada como um indicador de sua qualidade ambiental (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2008).

Entretanto, é hoje sabido que a simples determinação do carbono total, informação essa normalmente constante nas tabelas de análise química dos solos, não se mostra suficiente para caracterizar esse componente. Assim, pesquisas recentes têm mostrado que, na realidade, o carbono se “esconde” e pode ser encontrado em vários compartimentos do solo, com taxas de decomposição diferenciadas da matéria orgânica, além de sujeito a variadas forças de retenção (KAHLE et al., 2003; JASTROW et al., 2007; MARIN-SPIOTTA et al., 2008).

A questão principal liga-se à identificação e extração desses vários tipos de carbono do solo, procurando o entendimento de sua dinâmica como um parâmetro chave para a efetivação de ações de manejo adequado (JOHN et al., 2005; SIX et al., 2001).

O modelo aceito atualmente para se identificar e diferenciar os vários compartimentos do carbono no solo relaciona-se com as diferentes densidades nas quais esse componente pode estar presente. Assim, pode-se falar em frações leves e pesadas do carbono, tendo-se como referência uma densidade padrão de 1,8 g.cm<sup>-3</sup> (PAUL et al., 2008; FREIXO et al., 2002; RANGEL et al., 2007). As frações consideradas como leves estariam abaixo desse valor, sendo que as frações pesadas se localizariam acima desse número de referência. Além disso, considera-se que na fração leve pode haver uma diferenciação adicional entre a chamada fração leve livre (mais sujeita a processos de decomposição) e a fração leve oclusa (um pouco mais protegida e com taxas de decomposição mais baixas). O modelo considera que as frações mais pesadas seriam aquelas que realmente seriam as mais protegidas da decomposição, onde o carbono se encontra intimamente associado à fração mineral do solo, desse modo ficando mais retido e imune à liberação como CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Já as frações mais leves conteriam as formas mais desprotegidas e desse

modo mais sujeitas à saída para a atmosfera; por outro lado, essas últimas seriam as frações mais adequadas para detectar mudanças do carbono devido aos vários sistemas de uso da terra e manejo empregados no solo (MACEDO et al., 2008; ROSCOE e BUURMAN, 2003; JINBO et al., 2007).

Poucos estudos existem no Brasil empregando-se essa metodologia, e os mesmos se restringem à determinações do carbono em poucos compartimentos dos solos, não mostrando assim como estaria o carbono em todos os seus possíveis “esconderijos”; além disso torna-se sem dúvida relevante esse tipo de investigação levando-se em conta nossos solos mais comuns, os latossolos, e o acompanhamento da dinâmica do carbono como resultante das várias formas de uso da terra nesse tipo de solo. Assim, o objetivo dessa pesquisa é a caracterização e determinação do carbono nos vários compartimentos de latossolos sob diferentes sistemas de uso da terra na região de Juiz de Fora, em Minas Gerais.

## Materiais e Métodos

### Área de Estudo

O local desse estudo abrange a chamada microregião de Juiz de Fora, especificamente os municípios de Juiz de Fora e Belmiro Braga, a sudeste do estado de Minas Gerais (figura 1). O clima se caracteriza como tropical de altitude, com invernos brandos e verões não muito quentes (Cwa na classificação de Koppen). A topografia é montanhosa com altitudes variando entre 650 e 900 metros. As rochas são representadas por metamórficas como gnaisses e charnockitos, com idades próximas a 2,5 bilhões de anos, sendo os solos predominantemente latossolos vermelho amarelos (ROCHA, 2006). A média anual de precipitações pluviométricas está em torno de 1.500 mm, sendo a temperatura média anual de

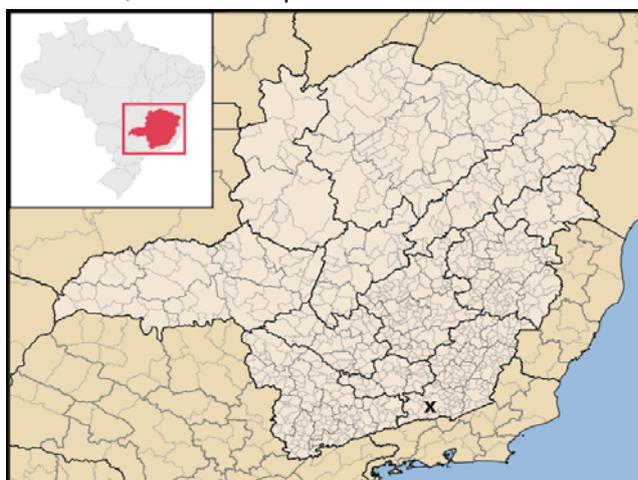


Figura 1. Localização (X) da área de estudo

19°C; no verão a média gira em torno de 24°C, com altas próximas a 35°C; no inverno a média é de 12°C, com mínimas chegando a 5°C. O local se situa no bioma Mata Atlântica.

### Amostragem de Solos

Três amostras de horizontes A (0-20cm) de latossolos vermelho amarelos foram coletadas em locais diferentes da área em estudo. A primeira amostra (perfil A) é de um solo situado sob um campo antropizado de gramíneas no campus da Universidade Federal de Juiz de Fora. A segunda amostra (perfil B) foi obtida em horizonte superficial de solo encontrado em mata secundária do Parque Municipal da Lajinha, ainda no município de Juiz de Fora, e a terceira amostra (perfil C) vem de solo sob plantação de eucalipto situada em área rural do município vizinho de Belmiro Braga (Figura 2).

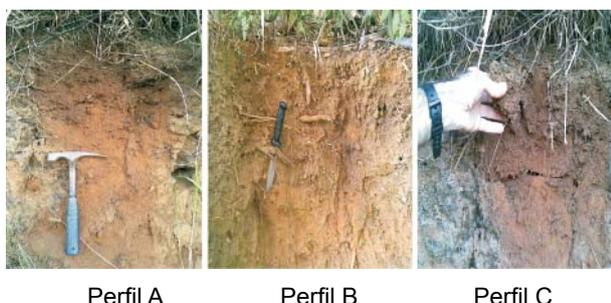


Figura 2. Aspectos dos horizontes A amostrados para análise.

### Fracionamento por Densidade

O fracionamento do solo por densidade seguiu a metodologia proposta por GOLCHIN et al. (1994), modificada por LI et al. (2007). A marcha analítica foi desenvolvida nos laboratórios do Instituto de Geografia e Agroecologia do Nordeste da China (NEIGAE). Como primeiro passo, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas (<0,25 mm). 10 gramas de cada amostra foram colocados em tubos de centrifuga de 100ml com 50ml de uma solução de NaI (densidade =1,8 g.cm<sup>-3</sup>). Os tubos foram agitados manualmente por cinco vezes e deixados em repouso por uma noite a temperatura ambiente. Após centrifugar (centrifuga Jouan C3) por 15 minutos a 3500 rpm, o sobrenadante foi passado em filtro de membrana de 0,45 µm sob vácuo. A fração que ficou no filtro foi lavada com 50 ml de uma solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol/l, e 100ml de água destilada; após isso foi transferida para becker pré-pesado de 50 ml. O precipitado foi colocado em 40 ml da solução de NaI, centrifugado e filtrado como descrito acima. A fração obtida foi adicionada à já obtida anteriormente, deixada

em repouso por 24 hs, e seca em banho maria a 50°C até peso constante; esse material foi caracterizado como a fração leve livre (FLL). No segundo passo o precipitado foi recolocado em 50 ml da solução de NaI e agitado por 2 hs (agitador SHZ 82A China) a 175 rpm. Após isso, os tubos foram deixados em repouso durante a noite. A centrifugação e o procedimento de filtragem foram repetidos diversas vezes, e após isso o sobrenadante foi transferido para um becker pré-pesado e seco em banho maria a 50°C até peso constante; essa foi chamada de fração leve oclusa (FLO). No terceiro e último passo o precipitado final foi resuspenso em 50 ml de água destilada, agitado por 20 min e centrifugado por 20 min a 4000rpm. O precipitado foi lavado com etanol absoluto várias vezes até o sobrenadante se tornar claro e transparente; então foi transferido para becker pré-pesado e seco em estufa a 50°C até peso constante. Essa foi chamada de fração pesada associada a minerais (FP).

Subamostras das frações de solo separadas por densidade, assim como frações do solo total foram destorroadas e passadas em peneira de 0,25 mm para análise de carbono e nitrogênio por combustão seca. Foi usado o analisador Vario EL III CHN Elemental Analyser (Alemanha), e o carbono total foi considerado equivalente ao carbono orgânico total já que não existe carbonato nos solos estudados.

### Extração de Substâncias Húmicas

Na fração pesada do solo (FP) encontram-se as substâncias húmicas associadas aos minerais de argila, para as quais foram também quantificados carbono e nitrogênio. A extração química das substâncias húmicas dessa fração foi feita usando-se os procedimentos analíticos sugeridos por LU (2000). Para 5 gramas de uma subamostra da fração pesada foram adicionados 50 ml de uma solução de NaOH 0,1 mol/l (pH 12-13), mantendo-se a 30°C por 1 hora em estufa, em seguida fazendo-se centrifugação. O sobrenadante foi transferido para uma garrafa de PVC de 250 ml, sendo que esse procedimento foi repetido 4 vezes. Essa fração obtida foi chamada de **húmus fracamente combinado**, uma mistura de ácido húmico e ácido fúlvico. Determinou-se o conteúdo de carbono e nitrogênio dessas substâncias. Em seguida precipitou-se o ácido húmico com HCl em concentração 6mol.L<sup>-1</sup>, fazendo-se lavagens sucessivas com NaOH a 0,1mol.L<sup>-1</sup> + Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> a 0,1mol.L<sup>-1</sup>, com lavagens e centrifugação como feito anteriormente. O precipitado do tubo de centrifuga contendo humina foi lavado com etanol absoluto; nesse precipitado encontra-se a fração chamada **húmus fortemente combinado**, da qual também se determinou o carbono.

## Resultados e Discussão

Os latossolos estudados suportam três diferentes tipos de uso da terra: campo antropizado, floresta e cultivo, usos esses que modificam a dinâmica do carbono orgânico dos solos. Na tabela 1 podem ser vistas algumas propriedades dos solos estudados, assim como os estoques de carbono e nitrogênio.

Sítio	Densidade do Solo g.cm <sup>-3</sup>	pH em água	Carbono Orgânico g.kg <sup>-1</sup>	Nitrogênio Total g.kg <sup>-1</sup>	ESTOQUES	
					Carbono Mg.hm <sup>-2</sup>	Nitrogênio Mg.hm <sup>-2</sup>
PA*	0,98	4,8	26,25	2,07	51,4	4,06
PB	0,97	4,7	25,21	1,72	48,9	3,34
PC	1,0	4,9	18,17	1,62	36,3	3,25

●PA, PB e PC são horizontes de solos em campo, floresta e cultivo de eucalipto

Tabela 1. Características dos solos dos sítios estudados e parâmetros de carbono e nitrogênio.

Pode-se observar que o teor de carbono, assim como seu estoque, são menores na área de cultivo, indicando uma diminuição desse elemento para o solo trabalhado, fato que concorda com a literatura (RANGEL e SILVA, 2007; MACEDO et al., 2008). O mesmo pode ser dito do nitrogênio, outro importante componente da matéria orgânica do solo. Entretanto, nota-se que os valores para carbono e nitrogênio encontrados nesse trabalho são maiores que os determinados por esses últimos autores citados. Entre as possíveis explicações para isso, pode-se mencionar os diferentes tipos de solos avaliados, assim como diferentes metodologias utilizadas nas determinações, fatos que indicam para uma necessidade de padronização das marchas analíticas de determinação desses elementos. A tabela 2 mostra os conteúdos de carbono e nitrogênio nas diferentes frações de densidade, em g.kg<sup>-1</sup> do solo total.

Sítios	Fração Leve Livre		Fração Leve Oclusa		Fração Pesada	
	C	N	C	N	C	N
	g.kg <sup>-1</sup>					
PA	1,33	0,06	0,35	0,02	25,1	2,00
PB	1,96	0,12	0,34	0,02	22,9	1,61
PC	0,70	0,04	0,21	0,01	15,4	1,40

Tabela 2. Conteúdos de carbono e nitrogênio nas frações densimétricas

Observa-se a predominância de carbono e nitrogênio na fração pesada do solo, seguida da fração leve livre, e finalmente com os menores teores na fração leve oclusa. O gráfico 1, elaborado com base na distribuição dos percentuais do carbono orgânico entre as frações de densidade ilustra melhor essas relações.

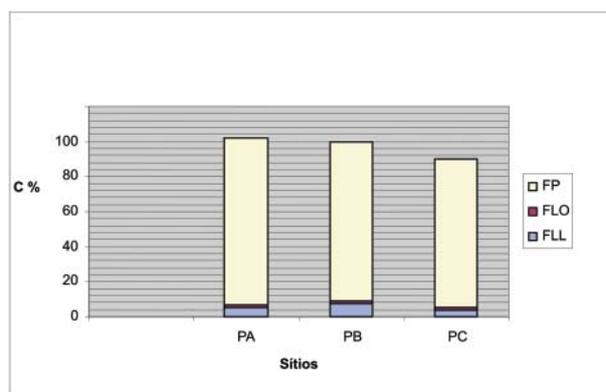


Gráfico 1. Distribuição do carbono orgânico nas diferentes frações de densidade.

Pode ser visto nesse gráfico que o carbono orgânico predomina na fração pesada, em acordo com a literatura (ALCÂNTARA et al., 2004; LI et al., 2007; RANGEL e SILVA, 2007). Torna-se interessante enfatizar que a fração leve oclusa exibe o menor percentual de carbono, concordando com os dados de ROSCOE e BUURMAN (2003) obtidos para latossolos do Brasil. Os autores explicam que as microestruturas dos latossolos, por terem um volume interno limitado em relação à superfície, reduzem sua capacidade de oclusão, o que parece também ocorrer nos solos desse estudo. E entre os sítios estudados pode ser visto que a área de plantio de eucalipto (PC) mostra os menores valores de carbono orgânico para todas as frações, confirmando o efeito do cultivo sobre a diminuição do carbono orgânico, como já visto por outros autores (PAUL et al., 2008; JINBO et al., 2007). Já comparando a fração leve livre entre os diferentes sítios estudados, pode-se notar que o maior percentual foi encontrado para a área de mata (floresta secundária), confirmando que essa fração é normalmente alta em regiões com inputs orgânicos advindos da parte aérea da vegetação (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2008).

Na fração pesada encontra-se o carbono orgânico mais retido pelo solo, o qual fica intimamente ligado com a fração mineral do solo, principalmente minerais secundários argilosos reativos, os quais adsorvem o carbono fortemente em suas lâminas (PASSOS et al., 2007; RANGEL e SILVA, 2007; LAIRD, 2001). Entretanto, é nessa fração que se encontra o húmus, um complexo e ainda pouco entendido composto orgânico. A tabela 3 mostra os resultados das determinações de carbono extraído da fração pesada, em g.kg<sup>-1</sup>.

Sítios	Humus Fracamente Combinado			Humina *
	Ácido Húmico	Ácido Fúlvico	HA/FA	
	----- g.kg <sup>-1</sup> -----			--- g.kg <sup>-1</sup> ---
PA	4,48	7,08	0,63	13,49
PB	7,00	4,88	1,43	11,01
PC	3,64	4,37	0,83	7,41

\* Humus Fortemente Combinado

Tabela 3. Teores de carbono orgânico no humus dos solos estudados.

Na fração pesada encontra-se os ácidos húmicos e fúlvicos, assim como a humina. Nota-se a predominância do carbono orgânico na fração humina de todos os solos, a qual pode também ser caracterizada como aquela que contém o humus fortemente combinado. Essa denominação indica que esse tipo de carbono se encontra fortemente preso à fração mineral argilosa dos solos estudados, fato que coloca a importância dessa associação para o seqüestro de carbono pelos solos, como também indicaram CABRIA et al., (2005) e LAIRD (2001). Olhando-se os dados referentes ao humus fracamente combinado (ácidos húmicos e fúlvicos), observam-se diferenças entre os sítios. Assim, para os solos sob campo (PA) e sob plantio de eucalipto (PC), o carbono do ácido fúlvico predomina, enquanto ocorre o contrário na área sob mata (PB), com predomínio de carbono do ácido húmico. Esses dados estão coerentes com a literatura, já que, segundo OLIVEIRA JÚNIOR et al., (2008), os maiores teores de carbono na fração dos ácidos húmicos em comparação ao carbono dos ácidos fúlvicos indica solos mais preservados, de manejo mais conservacionista. Assim, esse predomínio do carbono dos ácidos húmicos da mata secundária mostra que nesse local haveria um equilíbrio ecológico maior sob mata, em comparação com as outras duas áreas já manejadas pelo homem. Esse fato é corroborado pelos valores das relações entre ácidos húmicos e fúlvicos, também mostradas na tabela 3, sendo que a maior relação foi observada para a área de mata (1,43). OLIVEIRA JÚNIOR et al., (2008) justificam que maiores valores dessa relação sinalizam para uma maior condensação dos compostos húmicos, e conseqüentemente maior teor de carbono orgânico no solo.

## Conclusão

O estudo do carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso mostrou que o cultivo diminuiu seu teor. Entre as várias frações densimétricas, predominou o carbono da fração pesada dos solos, seguida da fração leve livre e finalmente da fração leve oclusa.

A fração leve livre, considerada como indicadora das variações de carbono devido ao cultivo, mostrou-se coerentemente como a fração predominante sob mata. Já no humus predominou o carbono da fração humina, apontando para a importância dessa fração no seqüestro do carbono pelo solo.

## Referências Bibliográficas

- ALCÂNTARA, F.A., BUURMAN, P., FURTINI NETO, A.E., CURI, N., ROSCOE, R. 2004. Conversion of grassy cerrado into riparian forest and its impact on soil organic matter dynamics in an Oxisol from southeast Brazil. *Geoderma* 123, 305-317.
- CABRIA, F.N., BIANCHINI, M.R., MEDIAVILLA, M.C. 2005. Óxidos de hierro libres asociados a carbono orgânico em agregados de suelos del partido de Balcarce. *Ci. Suelo* 23(1), 23-29.
- FREIXO, A.A., MACHADO, P.L.O.A., SANTOS, H.P., SILVA, C.A., FADIGAS, F.S. 2002. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Tillage & Research* 64, 221-230.
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O. 1994. Study of free and occlude particulate organic matter in soils by solid state <sup>13</sup>C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Australian Journal of Soil Research* 32: 285-309.
- JASTROW, J.D., AMONETTE, J.E., BAILEY, V.L. 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climatic Change* 80, 5-23.
- JINBO, Z., CHANGCHUN, S., SHENMIN, W. 2007. Dynamics of soil organic carbon and its fractions after abandonment of cultivated wetlands in northeast China. *Soil & Tillage Research* 96, 350-360.
- JOHN, B., YAMASHITA, T., LUDWIG, B., FLESSA, H. 2005. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma* 128, 63-79.
- KAHLE, M., KLEBER, M., TORN, M.S., JAHN, R. 2003. Carbon storage in coarse and fine clay fractions of illitic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 1732-1739.
- LAIRD, D. 2001. Nature of clay-humic complexes in an agricultural soil: II. Scanning electron microscopy analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Journal.* 65:1419-1425.
- LI, H., HAN, X., WANG, F., QIAO, Y., XING, B. 2007. Impact of soil management on organic carbon content and aggregate stability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38, 1673-1690.
- LU, R.K. 2000. *Agricultural Chemistry Analysis of Soils*. Chinese Agricultural Science and Technology Press. Beijing.

- MACEDO, M.O., RESENDE, A.S., GARCIA, P.C., BODDEY, R.M., JANTALIA, C.P., URQUIAGA, S., CAMPELLO, E.F.C., FRANCO, A.A. 2008. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest Ecology and Management* 255, 1516-1524.
- MARÍN-SPIOTTA, E., SWANSTON, C.W., TORN, M.S., SILVER, W.L., BURTON, S.D. 2008. Chemical and mineral control of soil carbon turnover in abandoned tropical pastures. *Geoderma* 143, 49-62.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A.C., SILVA, C.A., CURI, N., GUILHERME, L.R.G., RANGEL, O.J.P. 2008. Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do Rio das Mortes sob manejos de cafeeiro. *Quim. Nova* 31(7), 1733-1737.
- PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; MENDONÇA, E.S.; CANTARUTTI, R.B. e SOUZA, A.P. 2007. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil e agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. *R. Bras. Ci. Solo* 31: 1119-1129. Viçosa. Soc. Bras. Ci. Solo.
- PAUL, S., VELDKAMP, E., FLESSA, H. 2008. Soil organic carbon in density fractions of tropical soils under forest-pasture-secondary forest land use changes. *European Journal of Soil Science* 59, 359-371.
- RANGEL, O.J.P. e SILVA, C.A. 2007. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo* 31:1609-1623. Viçosa. Soc. Bras. Ci. Solo.
- RASTOGI, M., SINGH, S., PATHAK, H. 2002. Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science* 82(5), 510-517.
- ROCHA, G.C. 2006. Riscos Ambientais – análise e mapeamento em Minas Gerais. Juiz de Fora. Editora da UFJF.
- ROSCOE, R. e BUURMAN, P. 2003. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil & Tillage Research* 70, 107-119.
- SCHULZE, E.D. e FREIBAUER, A. 2005. Carbon unlocked from soils. *Nature* vol. 437 – pg 205-206.
- SIX, J., GUGGENBERGER, G., PAUSTIAN, K., HAUMAIER, L., Elliot, E.T., Zech, W. 2001. Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. *European Journal of Soil Science* 52, 607-618.