

CARACTERIZAÇÃO E BIODEGRADABILIDADE DE MATERIAIS EMPREGADOS NA ADUBAÇÃO DA CAFEICULTURA ORGÂNICA¹

Eddi V. CHACÓN²; Eduardo S. MENDONÇA³ esm@ufv.br; Paulo C. LIMA⁴; Rodrigo C. TAVARES⁵; Waldênia M. MOURA⁴; Paulo H. COUTINHO⁶; Cleverson V. PIRES⁶.

²Doutorando UFV/DPS; ³PhD. Prof. UFV/DPS; ⁴D.Sc. Pesq. EPAMIG/CTZM; ⁵Bolsista CBP&D-Café UFV/DPS; ⁶Estagiários UFV/DPS.

Resumo

A caracterização dos materiais utilizados como fertilizantes é fundamental para a otimização dos sistemas orgânicos. Uma questão chave na compreensão da dinâmica de mineralização-imobilização é conhecer a velocidade da liberação de nutrientes para o sistema solo-planta. Essa liberação de nutrientes pode ser explicada pela qualidade da matéria orgânica e pelas relações C/N/P/S. Este trabalho caracterizou esterco, resíduos industriais, adubos verdes e compostos utilizados como fertilizantes orgânicos com respeito a: matéria orgânica, carbono total, fracionamento do carbono, carbono solúvel em água, carboidratos, evolução de C-CO₂, nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, e enxofre. De maneira geral os materiais estudados são fontes adequadas de carbono total, com maiores valores nos adubos verdes e menores nos resíduos industriais em média 43,64 e 19,95 dag.kg⁻¹. Considerando o fracionamento do carbono, as frações fúlvicas variaram de 6 a 34,8 g.kg⁻¹ e as húmicas de 3 a 23 g.kg⁻¹, em geral a fração fúlvica foi maior que a húmica indicando que a matéria orgânica destes materiais não está completamente humificada. De acordo com as relações C/N/P/S em sua maioria, os materiais são de mineralização intermediária. As taxas de evolução relativa de C-CO₂ correlacionaram-se positivamente com o carbono solúvel em água (r²=0,95), e com os carboidratos (r²=0,89), indicando que estes parâmetros estão diretamente relacionados às quantidades de carbono facilmente mineralizáveis. Assumindo uma eficiência de assimilação de C pelos microrganismos de 60%, determinaram-se índices relativos de carbono oxidado de 128,57% para *Crotalaria juncea*; 115,48% para *Brachiaria decumbens*, e 103,27% para *Amaranthus spinatum*, indicando que as massas destes materiais foram totalmente oxidadas e ainda favoreceram oxidação adicional do carbono da matéria orgânica do solo “efeito priming”. A avaliação qualitativa da matéria orgânica indicou que os materiais facilmente biodegradáveis produziram altas taxas de C-CO₂ em curto tempo, provavelmente imobilizando nitrogênio até atingir o equilíbrio na relação C/N do sistema e mineralizando posteriormente. Conseqüentemente materiais com frações de carbono mais recalcitrantes permaneceriam por mais tempo no solo, induzindo melhoras nas propriedades físicas do solo e mineralizando mais lentamente, incrementando a sustentabilidade do sistema agrícola.

Palavras chaves: Café orgânico; matéria orgânica; fracionamento da matéria orgânica; respiração no solo; mineralização.

CHARACTERIZATION AND BIODEGRADATION OF MATERIAL EMPLOYEES IN COFFEE FARMING ORGANIC MANURING

Abstract

The excellence of organic systems is based in the knowledge of the materials used as fertilizers, due to allows the comprehension of the mineralization-immobilization dynamic, it means nutrients release to the system soil-plant. This nutrient release can be explained by the qualification of the organic matter and C/N/P/S ratios. Therefore, this research focused in the characterization of the organic matter pools of animal manures, industrial residues, green manures, and composts regarding to: organic matter, total carbon, fractionation of the organic carbon, water soluble organic carbon, carbohydrates, evolution of C-CO₂, nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, potassium, and sulphur; to evaluate organic matter stability as a soil sustainability indicator. Generalizing, the studied materials are a good sources of total organic carbon, with highest values in crops and lowers in industrial residues with mean values of 43,64 e 19,95 dag kg⁻¹. Regarding the carbon fractionation, the fulvic fractions were in the range of 6 to 34,8 and the humic of 3 to 23 g kg⁻¹, regularly the fulvic fraction was greater than the humic one, indicating that the organic matter of these materials is not humified, and according with the C/N/P/S ratios are materials of intermediate mineralization. The ratios of evolved C-CO₂ were correlated positively with the water-soluble organic carbon (r²=0,95), and carbohydrates (r²=0,89), indicating that these parameters are directly related with the easily biodegradable organic compounds. Assuming an assimilation efficiency of organic carbon by microorganisms of 60%, it was showed that the relative total oxide carbon of *Crotalaria juncea* 128,57%, *Brachiaria decumbens* 115,48%, and *Amaranthus spinatum* 103,27% suggest that the mass of these green manures was totally mineralized and created and environment to oxidate native carbon from the soil, producing the so called “priming effect”. The qualification of the organic matter indicated that easily biodegraded materials produced high C-CO₂ evolution in short period of time, probably immobilizing nitrogen to reach equilibrium in the C/N ratio, afterwards

¹ Apoio financeiro: CBP&D-Café

producing mineralization. Therefore materials with more recalcitrant fractions of carbon will remain for longest periods of time in the soil, inducing improvements on the physical soil properties, mineralizing slowly and increasing the sustainability of the system.

keywords: organic coffee; organic matter; division of the organic matter; breathing in the soil; mineralization.

Introdução

Em contraste com as práticas de manejo convencional, a agricultura orgânica se caracteriza pelo uso de fontes de nutrientes de baixa solubilidade que necessitam de transformações químicas ou de reações do solo para os nutrientes tornarem-se disponíveis às plantas ou, no caso de fontes orgânicas, necessitam da ação dos microrganismos para disponibilizar os nutrientes lentamente, otimizando desta maneira a cinética de mineralização – absorção de nutrientes pelas culturas de interesse.

Recentemente com a expansão da agricultura orgânica, a demanda destes materiais e resíduos vem aumentando, já que são fontes adequadas de nutrientes e que podem adquirir-se a baixo preço, mas pela diversidade de suas origens e natureza intrínseca não se sabe sua caracterização básica e cinética de mineralização-absorção, e portanto carecendo de estratégias de manejo que otimizem seu uso.

Nessa ordem de idéias, esta pesquisa caracteriza física e quimicamente esterco “in natura”, produtos e resíduos da indústria e adubos verdes e compostos, visando a qualificação da matéria orgânica como indicador de sustentabilidade. Esta qualificação permitirá identificar características próprias de cada material em relação à estabilidade da matéria orgânica; compreender e modelar a biodegradabilidade destes materiais por meio de ensaio de respirometria; determinar o potencial de oxidação do carbono no solo; inferir a potencialidade de mineralização de N/P/S; e identificar as formas facilmente mineralizáveis e recalcitrantes do carbono orgânico. Critérios que permitirão selecionar materiais de excelência em função dos objetivos e práticas de manejo do solo, para atingir a conservação do solo e meio ambiente, é a proposta desse trabalho.

Materiais e métodos

Os materiais utilizados na agricultura orgânica foram amostrados e coletados em diversas localidades do estado de Minas Gerais, classificando-os em quatro categorias. Categoria 1, Esterco: bovino, suíno de galinha e coelho. Categoria 2, Resíduos industriais: farinha de carne e osso, lixo domiciliar, torta de filtro e lodo de esgoto. Categoria 3, adubos verdes: *Brachiaria decumbens*, *Amaranthus spinatum*, *Leucaena leucocephala*, *Crotalaria juncea*. Categoria 4, Compostos orgânicos: vermicomposto, casca de café, muscilagem+chorume e esterco bovino+casca de café. Para determinar as diferentes frações e parâmetros de estabilidade da matéria orgânica, os materiais foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, durante 72 horas, moídos, e passados por peneira de 2 mm. Foram caracterizados quanto ao teor de umidade, granulometria, matéria orgânica total, e cinzas (Kiehl, 1985). Os teores totais de C, e C solúvel em água foram determinados por meio de combustão úmida Yeomans & Bremner (1988), o N total por meio do método Kjeldahl, citado por Tedesco et al. 1995, e carboidratos pelo método da Antrona (Brink et al. 1960). Os elementos totais (Ca, Mg, K, S) foram extraídos por digestão nítrico - perclórica, e os teores dos elementos nos extratos foram determinados por espectrometria de emissão de plasma (ICP), e o P foi determinado por colorimetria. Foi realizado o fracionamento das substâncias húmicas da matéria orgânica em: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, e huminas, para aqueles materiais que sofreram processos de fermentação ou não foram coletados “in natura” (Hayes, 1989). O índice de humificação foi calculado como $IH = ((\text{Carbono da fração húmica} / \text{Carbono total}) * 100)$.

Biodegradabilidade do carbono

Em sala de incubação, avaliou-se a evolução do C-CO₂ em forma estática através de ensaio de respirometria (Anderson, 1996). Utilizou-se como substrato de incubação, solo proveniente do horizonte B de um Latossolo vermelho amarelo distrófico, sem correção de acidez nem adubação, com as seguintes características: pH em água de 4,57; P e K de 0,6 e 6 mg.dm⁻³; H+AL de 5,9; SB 0,04; CTC de 5,94 cmol_c.dm⁻³, e teor de matéria orgânica de 3,08 dag.kg⁻¹.

A massa de cada material equivalente a 2 g de carbono foi misturada a 100 cm³ do solo (Paul & Clark, 1989), e acondicionada em potes plásticos de forma cilíndrica com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro (unidades experimentais), incluindo também uma testemunha (somente solo). O CO₂ respirado foi capturado em solução de NaOH 0,5 mol.L⁻¹, formando carbonato com a adição de BaCl₂ 0,05 mol.L⁻¹, e dosado com ácido clorhídrico 0,20 mol.L⁻¹. As quantificações foram feitas em intervalos de dois e três dias até atingir estabilização na evolução do CO₂.

Análise dos resultados

O experimento foi conduzido com quatro repetições, segundo delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, no qual os materiais corresponderam às parcelas e as avaliações sucessivas, às subparcelas. A massa de C-CO₂ evoluída foi expressa em termos relativos em relação à quantidade de carbono adicionado, e sua cinética ajustada ao modelo de saturação de Hill (Morgan et al., 1975). Análise de correlação simples foi realizado para estabelecer a relação entre a taxa máxima de evolução de C-CO₂, o carbono solúvel em água, e os carboidratos. As análises estatísticas foram processadas utilizando o programa SAEG (Ribeiro Júnior, 2001).

Resultados e discussão

Os materiais estudados são fontes adequadas de matéria orgânica, sendo que os teores de matéria orgânica provenientes de esterco foi de 80,71 dag.kg⁻¹; resíduos industriais, 36,44 dag.kg⁻¹; adubos verdes, 91,39 dag.kg⁻¹; e compostos, 60,93 dag.kg⁻¹. Os esterco apresentaram níveis adequados de nitrogênio e cálcio; a farinha de carne e osso mostrou-se rica em nitrogênio, fósforo e cálcio; e os adubos verdes podem ser considerados fontes potenciais de nitrogênio (Tabela 1).

Com base nas relações C/N/P/S (Tabela 1), utilizando o critério de classificação de substratos de Stevenson & Cole (1999), com respeito à potencialidade de mineralização de fontes orgânicas, o esterco de galinha, o lixo domiciliar e o lodo de esgoto são substratos ricos. A casca de café, devido aos baixos conteúdos de P e de S, seria considerado um substrato pobre, e os demais materiais poderiam ser classificados como substratos intermediários.

Considerando as diferentes frações da matéria orgânica, os valores do carbono total foram maiores nos adubos verdes e menores nos resíduos industriais em média 43,64 e 19,95 dag kg⁻¹, respectivamente. As frações fúlvicas variaram de 6 a 34,8 e as húmicas de 0,3 a 2,3 g kg⁻¹. Em geral, a fração fulvica foi maior que a húmica indicando que a matéria orgânica destes materiais não se encontravam completamente humificada (Tabela 1).

As taxas de evolução relativa de C-CO₂ correlacionaram-se positivamente com o carbono solúvel em água ($r^2 = 0,95$), e com os carboidratos ($r^2 = 0,89$), indicando que estes parâmetros estão diretamente relacionados às quantidades de carbono facilmente mineralizáveis. Entre os esterco, as maiores taxas foram obtidas para o esterco de galinha e de coelho; nos resíduos industriais para a farinha de carne e osso, e lodo de esgoto; nos adubos verdes para *Amaranthus* e *Crotalaria*; e no composto para muscilagem+chorume e casca de café (Tabela 2). Assumindo-se uma eficiência de assimilação de C pelos microrganismos de 60%, determinou-se que os maiores índices de carbono total oxidado relativo em cada categoria corresponderam a: esterco de galinha 86,95% e suíno 63,52%; farinha de carne e osso 97,90% e torta de filtro 33,62%; *Crotalaria juncea* 128,57% e *Brachiaria decumbens* 115,48%; muscilagem+chorume 74,75% e casca de café 50,34% (Tabela 2). As estimativas sugerem que as massas dos resíduos *B. decumbens* e *C. juncea* foram totalmente oxidados e ainda favoreceram oxidação adicional do carbono da matéria orgânica do solo “efeito priming”.

Conclusões

No processo de ciclagem da matéria orgânica do solo, para liberação de nutrientes ao sistema solo-planta, não só a quantidade (input de biomassa), mais também a qualidade deve ser considerada no manejo do solo visando a implementação de sistemas agrícolas sustentáveis. Isto porque os diferentes reservatórios do carbono se decompõem de diferente maneira, produzindo taxas diferentes de mineralização, potencializando efeitos a curto ou longo prazo sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Assim, a matéria orgânica constitui-se no indicador por excelência da qualidade do solo, como critério de sustentabilidade, já que é sensível às perturbações do meio pela atividade antrópica, e sua ciclagem está intrinsecamente ligada aos processos de liberação de nutrientes. Portanto a correta seleção dos insumos orgânicos na fertilização dos cafezais permitirá elaborar praticas de manejo que otimizem o uso destes materiais garantindo ao mesmo tempo a conservação do solo e meio ambiente.

Tabela 1. Diferentes frações e parâmetros de estabilidade da matéria orgânica de diversos materiais, utilizados na cafeicultura orgânica; Viçosa, MG., 2005 *.

MATERIAL	M. O.	Ct	Cff	Cfh	Cf hu	IH	Csa	Carb	Nt	Pt	Ca	Mg	K	S	C/N	C/P	C/S		
	dag kg ⁻¹		g kg ⁻¹				dag kg ⁻¹												
Esterco bovino	91,13	41,30					0,85	0,44	2,08	1,95	0,64	0,61	1,28	0,28	23	55	393		
Esterco suino	74,41	41,93					1,82	0,41	2,74	3,19	5,61	0,99	1,82	0,39	18	34	287		
Esterco de galinha	69,28	31,31					2,12	0,49	4,03	1,95	6,72	0,46	2,90	0,35	9	41	239		
Esterco de coelho	85,17	40,68					1,42	0,44	1,83	1,29	0,96	0,71	1,25	0,21	26	81	517		
Farinha de carne e osso	51,87	30,59	18,00	4,90	282,20	1,60	1,89	1,12	5,55	10,22	17,89	0,35	0,19	0,26	6	8	314		
Lixo domiciliar	20,20	13,11	16,60	7,00	107,40	5,33	0,34	0,09	0,87	1,09	1,81	0,30	0,61	0,24	18	31	146		
Torta de filtro	71,58	35,89	32,70	9,70	315,90	2,70	1,43	0,40	1,73	1,91	0,75	0,23	0,12	0,34	24	49	281		
Lodo de esgoto	47,75	27,60	16,30	7,60	251,80	2,75	0,52	0,08	3,47	1,34	0,88	0,10	0,16	1,19	9	53	62		
Brachiaria decumbens	91,44	42,23					5,64	2,46	1,78	0,18	0,60	0,66	1,03	0,15	28	606	751		
Amaranthus spinatum	80,23	37,64					5,25	5,11	3,94	0,40	2,34	0,50	4,38	0,30	11	243	335		
Leucena leucocephala	91,23	44,28					4,75	1,81	4,51	0,21	1,54	0,31	1,57	0,31	11	545	381		
Crotalaria júncea	96,09	46,85					6,10	3,96	3,42	0,19	0,81	0,25	1,36	0,13	16	637	961		
Vermicomposto	22,61	13,23	13,60	3,00	115,40	2,26	0,19	0,07	1,03	0,36	0,91	0,22	0,16	0,19	15	95	187		
Casca de café	94,64	48,68	35,00	21,00	430,50	4,31	3,24	0,60	1,56	0,17	0,37	0,09	1,57	0,11	36	740	1180		
Muscilagem+Chorume	46,84	26,28	6,00	6,20	250,00	2,35	4,12	0,80	1,74	1,09	2,59	0,32	0,55	0,17	18	62	412		
Esterco bovino + Casca de café	79,64	45,64	34,80	23,00	398,20	5,03	0,74	0,09	1,95	0,34	1,21	0,42	2,17	0,20	27	347	609		

* Resultados expressos com base na matéria seca.

M.O.= Matéria orgânica; Ct = Carbono total ; Cff = Carbono da fração ácidos fúlvicos; Cfh = Carbono da fração ácidos húmicos; Cfhum = Carbono da fração humina; IH= índice de humificação; Csa= carbono total solúvel em água; Carb= carboidratos; Nt = nitrogênio total; Pt = fósforo total; Ca= cálcio; Mg= magnésio; K= potássio; S= enxofre; C/N=relação atômica de carbono e nitrogênio; C/P relação atômica de carbono e fósforo; C/S= relação atômica de carbono e enxofre.

Tabela 2. Taxa máxima de evolução relativa, carbono assimilado, total oxidado absoluto, e total oxidado relativo, durante o período de incubação de materiais orgânicos com solo em ensaio de respirometria.

Material	Taxa máxima de evolução relativa de C-CO ₂ *	Carbono evoluído C-CO ₂ *	Carbono assimilado C **	Carbono total absoluto oxidado Cox ***	Carbono total relativo oxidado C-CO ₂ ox ****
	mg g ⁻¹ d ⁻¹	mg			%
Esterco bovino	11,83	440,94 I	661,41	1102,35	47,02
Esterco suíno	14,02	573,00 G	859,50	1432,50	63,53
Esterco de galinha	20,77	760,50 E	1140,75	1901,25	86,96
Esterco de coelho	15,37	515,64 H	773,46	1289,10	56,36
Farinha de carne e osso	32,76	848,12 D	1272,18	2120,30	97,90
Lixo domiciliar	10,08	147,56 L	221,34	368,90	10,34
Torta de filtro	8,96	333,76 J	500,64	834,40	33,62
Lodo de esgoto	11,62	227,36 K	341,04	568,40	20,32
Brachiaria decumbens	51,80	988,68 B	1483,02	2471,70	115,49
Amaranthus spinatum	61,60	890,96 C	1336,44	2227,40	103,27
Leucena leucocephala	48,44	748,16 E	1122,24	1870,40	85,42
Crotalaria júncea	52,36	1093,40 A	1640,10	2733,50	128,58
Vermicomposto	10,22	83,94 M	125,92	209,86	2,39
Casca de café	27,58	467,49 HI	701,23	1168,72	50,34
Muscilagem+Chorume	38,64	662,76 F	994,14	1656,90	74,75
Esterco bovino + Casca de café	9,38	133,90 L	200,84	334,74	8,64
Solo (Testemunha)	2,44	64,80 M	97,20	162,00	

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna carbono evoluído C-CO₂, não diferem pelo teste Tukey com $\alpha=5\%$. * Experiências de respirometria. ** Eficiência de assimilação de 60%. *** C-CO₂ + C.

****%C-CO₂ox = $\frac{(C - CO_2 \text{ total oxidado do solo} + \text{material orgânico}) - (C - CO_2 \text{ total oxidado do solo} - \text{material orgânico})}{C \text{ adicionado pelo material orgânico}} * 100$

Referências bibliográficas.

- Anderson, J.P.E. Soil respiration. In: Page, A. L.; Miller, R.H. & Keeney, D.R. eds. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2 Ed. Madison, Soil Science Society of America. ASA, 1982. p 831-845.
- Brink, R.H., Dubach, P., Lynch, D.L., 1960. Measurement of carbohydrates in soil hydrolyzates with anthrone. Soil. Sci. 89, 157-166.
- Hayes, M.H.B.; Maccarthy, P.; Malcolm, R.L. et al. The search for structure: setting the scene. In Hayes, M.H.B. et al. (Ed). Humic substances II. New York: John Wiley and Sons, 1989. p. 3-31.
- Kiehl, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: CERES, 1985. p. 407-459.
- Morgan, P.H.; Mercer L.P.; Flodin N.W. General model for nutritional responses of higher organisms. Proc. Nat. Acad. Sci., 72: 4327-4331, 1975.
- Paul, E. A. & Clark, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: Soil microbiology and biochemistry. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.
- Ribeiro Junior, J.I. Análise estatístico no SAEG. Viçosa: UFV., 2001. 301 p.
- Stevenson, F.J. & COLE, M.A. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Wiley & Sons. 1999 p. 66-68.
- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnem, H.; Volkweiss, S. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos. UFRGS. 1995. 174 p.
- Yeomans, J.C. & Bremner, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 19:1467-1476, 1988.