

DOUGLAS MONTEIRO CAVALCANTE

COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO DE SOLO
EM REABILITAÇÃO PÓS-MINERAÇÃO COM DIFERENTES ADUBAÇÕES E
PLANTAS DE COBERTURA

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Solos e Nutrição de Plantas, para
obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C376c
2014

Cavalcante, Douglas Monteiro, 1987-
Compartimentos da matéria orgânica e agregação de
solo em reabilitação pós-mineração com diferentes
adubações e plantas de cobertura / Douglas Monteiro
Cavalcante. - Viçosa, MG, 2014.
98f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Teógenes Senna de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Plantas para conservação do solo. 2. Plantas e solo.
3. Matéria orgânica. 4. Minas e Mineração. 5. Bauxita.
6. Degradação ambiental. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-graduação em
Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.43

DOUGLAS MONTEIRO CAVALCANTE

COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO DE SOLO
EM REABILITAÇÃO PÓS-MINERAÇÃO COM DIFERENTES ADUBAÇÕES E
PLANTAS DE COBERTURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 13 de agosto de 2014.

Raphael Bragança Alves Fernandes

Paulo César de Lima

Ivo Ribeiro da Silva
(Coorientador)

Teógenes Senna de Oliveira
(Orientador)

Dedico

Aos meus avôs Isaac José Costa Monteiro e João Rodrigues Cavalcante (in memoriam).

A minha avó Maria Alves Cavalcante e meus pais Magaly Monteiro e Adiel Cavalcante.

A minha irmã Amanda e minha sobrinha Alice.

A todos os meus familiares que contribuíram na minha formação pessoal e profissional. Especialmente aqueles que estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

A Maria Santíssima, por estar sempre ao meu lado.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade concedida para a realização do curso de Mestrado.

Ao CNPq por financiar meu estudo e trabalho de pesquisa.

Aos Professores Teógenes Senna de Oliveira e Ivo Ribeiro da Silva, pela orientação e coorientação, respectivamente.

Ao Prof. Dr. Ramon Cantalice, pela amizade, confiança, companheirismo e ensinamentos que me proporcionaram chegar a lugares distantes.

Aos Professores Víctor Hugo Alvarez V. e Júlio César Lima Neves pelas dicas e sugestões nas análises estatísticas.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Raphael Bragança Alves Fernandes, Dr. Paulo César de Lima e Prof. Dr. Ivo Ribeiro da Silva.

Ao Técnico de Laboratório Braz, por auxiliar nas análises e pela disposição em sempre tirar dúvidas.

Ao estagiário Marllon, pela participação e dedicação na condução do experimento.

A todos os funcionários e professores do Departamento de Solos da UFV.

Aos amigos incondicionais: Gustavo, Guilherme, Camila Assis, Gisely, Fernanda Bottega, Fernanda Almeida, Bianca, Roberto que dividiram tristezas e alegrias nessa etapa da minha vida.

Ao Silvano, pela disponibilidade em sempre tirar dúvidas.

A todos os outros amigos e colegas não mencionados, que contribuíram de alguma forma e pelo convívio nos estudos.

A Dayana, pela paciência, amor, compreensão e acima de tudo a grande amizade que nos fez permanecer unidos mesmo tão distantes.

A Solange e Erilson, pela agradável convivência e aceitação.

Por fim, Deus abençoe a todos nós e nos conduza por esse caminho de pedras e espinhos.

Obrigado.

BIOGRAFIA

DOUGLAS MONTEIRO CAVALCANTE, filho de Magaly Monteiro e Adiel Cavalcante, nasceu em 05 de dezembro de 1987, em Paulista, PE.

Em 2001, concluiu o 1º grau na Escola Paroquial Nossa Senhora de Fátima, em Paulista, PE.

Em 2004, concluiu o 2º grau na Escola Estadual Manuel de Bastos Tigre, em Paulista, PE.

Em 2008, concluiu o curso Técnico em Agropecuária pelo Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas – CODAI – UFRPE, São Lourenço da Mata, PE.

Em 2010, concluiu o curso Pós-Técnico em Agropecuária com Especialização em Cana-de-açúcar pelo CODAI – UFRPE, São Lourenço da Mata, PE.

Em 2012, diplomou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

Em novembro de 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, em nível de Mestrado, na área de concentração em Alterações de Propriedades Edáficas em Diferentes Sistemas de Manejo, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de dissertação em agosto de 2014.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	12
CAPÍTULO I	14
ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO, $\delta^{13}\text{C}$ EM FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLO EM REABILITAÇÃO PÓS-MINERAÇÃO COM DIFERENTES ADUBAÇÕES E PLANTAS DE COBERTURA.....	14
RESUMO	15
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1. Localização e caracterização da área experimental.....	17
2.2. Tratamentos avaliados e coleta das amostras.....	18
2.3. Análises dos atributos orgânicos do solo	22
2.4. Calibração e determinação da energia de sonificação	26
2.5. Análise estatística	288
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
3.1. Atributos orgânicos do solo	29
3.2. Estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica do solo	32
3.3. $\delta^{13}\text{C}$ e participação do C introduzido nas frações da matéria orgânica do solo.....	41
4. CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS	45
CAPÍTULO II	50
AGREGAÇÃO E ATRIBUTOS ORGÂNICOS DE SOLO EM REABILITAÇÃO PÓS-MINERAÇÃO COM DIFERENTES ADUBAÇÕES E PLANTAS DE COBERTURA	50
RESUMO	511
1. INTRODUÇÃO.....	522
2. MATERIAL E MÉTODOS	533

2.1.	Localização e caracterização da área experimental.....	533
2.2.	Tratamentos avaliados e coleta das amostras.....	544
2.3.	Análises de estabilidade de agregados.....	588
2.4.	Análises dos atributos orgânicos em classes de agregados.....	60
2.5.	Calibração e determinação da energia de sonificação	64
2.6.	Análise estatística	67
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
3.1.	Estabilidade e distribuição do tamanho de agregados	67
3.2.	Atributos orgânicos em agregados do solo	75
3.3.	Teores de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de classes de agregados	80
3.3.1.	Macroagregados	83
3.3.2.	Mesoagregados.....	86
3.3.3.	Microagregados	90
4.	CONCLUSÕES.....	94
	CONCLUSÕES GERAIS.....	95
	REFERÊNCIAS.....	9796

RESUMO

CAVALCANTE, Douglas Monteiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2014. **Compartimentos da matéria orgânica e agregação de solo em reabilitação pós-mineração com diferentes adubações e plantas de cobertura.** Orientador: Teógenes Senna de Oliveira. Coorientador: Ivo Ribeiro da Silva.

As atividades extrativas acarretam em grande mobilização do solo, o que, conseqüentemente, alteram suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Entretanto, logo após a mineração, a camada orgânica retirada durante o processo de lavra é reposta à superfície minerada e, então, promovido o uso do solo com vegetação de forma a recondicioná-lo. Objetivou-se avaliar a agregação e as frações da matéria orgânica de solo em reabilitação após extração de bauxita com o uso de diferentes plantas intercalares e tipos de adubações quando cultivado com cafeeiro. Amostras de solo na camada de 0 – 20 cm foram coletadas na área em reabilitação sob quatro tipos de adubações: sem adubação (T), orgânica (AC), química (AQ) e orgânica + química (AC+AQ) e três tipos de cobertura vegetal nas entrelinhas do cafeeiro: sem planta (SP), braquiária (B) e estilosantes (E). Nessas amostras avaliaram-se os estoques de carbono orgânico e nitrogênio totais (COT e NT), lábil (COL e NL), da matéria orgânica leve livre (C-MOL_L e N-MOL_L), oclusa (C-MOL_O e N-MOL_O), matéria orgânica particulada (C-MOP e N-MOP) e a associada aos minerais (C-MAM e N-MAM), a razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$, a massa e densidade de raízes e o índice de manejo de carbono (IMC). Também foi feito a separação de agregados estáveis em diferentes classes e determinados os índices de agregação: diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), percentagem de agregados > 2 mm estáveis em água (AGRI) e o índice de estabilidade de agregados (IEA). Os atributos orgânicos: COT, COL, NT, NL, relação C:N e IMC foram determinados em três classes de agregados: macroagregados (4,75 - 2,0 mm), mesoagregados (2,00 - 0,25 mm) e microagregados (0,25 - 0,053 mm). De modo geral, a aplicação de cama de aviário com/sem adubação mineral, juntamente com as forrageiras cultivadas em consórcio com cafeeiro, melhoraram os atributos orgânicos e a agregação do solo nas áreas mineradas de bauxita, principalmente com o uso da braquiária, podendo representar uma opção para o recondicionamento das propriedades do solo, após exploração mineral.

ABSTRACT

CAVALCANTE, Douglas Monteiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2014. **Organic matter compartments and soil aggregation in post mining rehabilitation with different fertilizers and coverage plants.** Advaisor: Teógenes Senna de Oliveira. Co-advisor: Ivo Ribeiro da Silva.

Compartments of organic matter and soil aggregation in post-mining rehabilitation with different fertilizers and cover crops

Extractive activities cause large mobilization of land, which, in turn, alter the physical, chemical and biological soil properties. However, soon after mining, the organic layer was removed during the mining process is response, and promoted the use of soil with vegetation in order to refurbish it. Aimed to evaluate the aggregation and organic matter fractions in soil area mined and rehabilitated after bauxite extraction using different types of intermediate plants and fertilizers in coffee. Soil samples in the 0 - 20 cm were collected in rehabilitated by planting coffee under four types of fertilization area: without fertilization (T), organic (AC), chemistry (AQ) and organic + chemistry (AC + AQ) and three types of vegetation cover between rows of coffee: without plant (SP), brachiaria (B) and estilosantes (E). These samples evaluated the organic carbon and total nitrogen (TOC and TN), labile (LOC and LN), free light organic matter (C-L-MOL and N-L- MOL), occluded (C-MOL-o and N-MOL-o), particulate (C-MOP and N-MOP) and mineral-associated (C-MAM e N-MAM) organic matter, in addition to isotope ratio $\delta^{13}\text{C}$. Were also determined aggregation indices: mean weight diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD), percentage of aggregates > 2 mm stable in water (AGRI) and the aggregate stability index (ESI). Besides organic attributes: TOC, LOC, TN, LN, C:N ratio and BMI in three aggregate classes: macroaggregates (> 2.0 mm), mesoagregados (2.00 to 0.25 mm) and microaggregates (0.25 – 0.053 mm). In general, the application of Aviary bed with/without mineral fertilization along with the cultivated forage in consortium with coffee in the mined-out areas of bauxite improved organic attributes and soil aggregation in the short term, especially with the use of grass, and may represent an option for the sustainability of the system by refurbishing the properties essential to the smooth functioning of the soil in areas of mineral exploration.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A atividade mineradora é de grande importância e influência na economia de um país, entretanto, pode causar degradação ambiental, por atingir diretamente a sustentabilidade dos recursos naturais. A mineração pode ser considerada uma das atividades mais impactantes ao solo, embora no geral, não afete grandes extensões territoriais (Reis, 2006). Os impactos ambientais gerados pelo setor mineral podem ser facilmente visualizados, pois as atividades extrativas são em sua maioria realizadas a céu aberto. Nos locais minerados, a vegetação original é inevitavelmente destruída, e os solos são perdidos ou enterrados com os resíduos, alterando suas condições estruturais e hídricas (Shukla et al., 2004).

Na Zona Mata de Minas Gerais, a bauxita é minerada nas partes mais elevadas do relevo (terço superior dos morros), grande maior parte em áreas de pastagem, café e eucalipto. Devido ao relevo declivoso, a remoção da vegetação e a grande mobilização da superfície, o solo é exposto aos agentes erosivos. Após a finalização da lavra, a camada superior de solo mais fértil e rica em matéria orgânica que foi retirada e estocada durante o processo de mineração é reposta para que se inicie o processo de reabilitação da área. O processo se constitui em proporcionar o condicionamento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, ao mesmo tempo, recuperar a capacidade produtiva e qualidade do solo.

Avaliar a qualidade de um solo de maneira simples e confiável e que possibilite o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo é um desafio atual na pesquisa. Essas alterações podem ser medidas por meio da quantificação de alguns atributos, como propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em nível de propriedade agrícola ou mais abrangente, como microbacias hidrográficas, região e outros (Araújo et al., 2007).

Segundo Tótola e Chaer (2002), os trabalhos que avaliam o efeito de práticas de manejo ou de distúrbios sobre vários atributos do solo, buscando avaliar seu efeito sobre a qualidade do solo, muitas vezes são pouco conclusivos e de difícil interpretação, principalmente pelo grande volume de dados gerados. Nesse sentido, a elaboração de índices de qualidade do solo que integrem indicadores químicos, físicos e biológicos pode ser de grande utilidade e praticidade na interpretação dos resultados e direcionamento das técnicas de manejo (Andrews e Carroll, 2001; Sharma et al., 2005; Mastro et al., 2008). Tanto a agregação como as frações da

matéria orgânica do solo (MOS) são componentes importantes na construção de tais índices e, portanto, devem ter seu comportamento avaliado em solos minerados em fase de reabilitação. A MOS é considerada um indicador chave da qualidade do solo (Doran e Parkin, 1994), além de ser um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados do solo, sendo que, a diminuição de seu conteúdo é uma das maiores causas de deterioração da estrutura do solo (John et al., 2005). Os mecanismos de formação das diferentes classes de tamanho dos agregados são influenciados pela matéria orgânica, cuja quantidade irá permitir maior ou menor agregação, resultando em menor ou maior perda de solo (Castro Filho e Logan, 1991) em decorrência da maior resistência à desagregação e dispersão (Wischmeier e Smith, 1965).

A proteção física da MOS está diretamente relacionada à formação e à estabilidade dos agregados no solo. A MOS pode ser protegida do ataque microbiano pela sua incorporação no interior de microagregados (Edwards e Bremner, 1967), em microporos inacessíveis (Adu e Oades, 1978; Ladd et al., 1993) ou dentro de macroagregados estáveis (Elliott, 1986).

A agregação é uma das propriedades que podem ser utilizadas para avaliar a qualidade do solo, uma vez que a manutenção de sua estrutura facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade (Neves et al., 2006). O arranjo das partículas primárias em agregados revela as características de estrutura do solo e a distribuição do tamanho dos agregados indica o estado de estruturação. Portanto, a estabilidade dos agregados constitui um aspecto de grande importância prática na avaliação de áreas impactadas pela mineração.

Nesse contexto, a avaliação da qualidade do solo de áreas impactadas pela mineração de bauxita, por meio de atributos do solo, apesar de complexa, devido à multiplicidade de inter-relações entre os fatores físicos, químicos e biológicos que os controlam, faz-se importante como uma estratégia de monitoramento e recuperação de áreas mineradas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio da avaliação de atributos orgânicos do solo e da agregação, a qualidade do solo de área minerada para extração de bauxita e em fase de reabilitação com a cultura do cafeeiro, consorciada com diferentes plantas de cobertura e aplicação de adubações.

REFERÊNCIAS

- ADU, J.K.; OADES, J.M. Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates. **Soil Biology Biochemistry**, v.10, p.109-115, 1978.
- ANDREWS, S.S.; CARROLL, C.R. Designing a decision tool for sustainable agroecosystem management: Soil quality assessment of a poultry litter management case study. **Ecological Applications**, v. 11, n. 6, p. 1573-1585, 2001.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p. 1099-1108, 2007.
- CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society America Journal**, v. 55, p. 1407-1413, 1991.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, Soil Science Society America Journal, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35)
- EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.18, n.1, p.64-73, 1967.
- ELLIOTT, E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorous in native and cultivated soils. **Soil Science Society America Journal**, v.50, p.627-633, 1986.
- JOHN, B.; YAMASHITA, T.; LUDWIG, B.; FLESSA, H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. **Geoderma**, v. 128 p. 63-79, 2005.
- LADD, J.N.; FOSTER, R.C.; SKJEMSTAD, J.O. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. **Geoderma**, v.56, p.401-434, 1993.
- MASTO, R.E.; CHHONKAR, P.K.; SINGH, D.; PATRA, A.K. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 136, 419–435, 2008.
- NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo Argiloso. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1410–1415, 2006.
- REIS, L. L. **Monitoramento da Recuperação Ambiental de Áreas de Mineração de Bauxita na Floresta Nacional de Sacará-Taquera, Porto Trombetas (PA)**. 2006. 159 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

SHARMA, K.L.; MANDAL, U.K.; SRINIVAS, K.; VITTAL, K.P.R.; MANDAL, B.; GRACE, J.K.; RAMESH, V. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. **Soil and Tillage Research**, v. 83, p. 246–259, 2005.

SHUKLA, M.K.; LAL, R.; UNDERWOOD, J.; EBINGER, M. Physical and hydrological characteristics of reclaimed mine soils in Southeastern Ohio. **Soil Science Society America Journal**, v. 68, p. 1352-1359, 2004.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.195-276.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the rocky mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation**. Washington, Agricultural Research Service, 1965. 47p. (Agriculture Handbook, 282).

CAPÍTULO I

ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO, $\delta^{13}\text{C}$ EM FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLO EM REABILITAÇÃO PÓS-MINERAÇÃO COM DIFERENTES ADUBAÇÕES E PLANTAS DE COBERTURA

RESUMO

Após a exploração mineral, o processo de reabilitação proporciona o recondicionamento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo de modo a devolver a área a sua capacidade produtiva, como é o caso dos cafezais na Zona da Mata mineira. No presente estudo objetivou-se avaliar frações da matéria orgânica do solo (MOS) em alternativas de reabilitação de área minerada pela extração de bauxita utilizando-se diferentes plantas intercalares e tipos de adubações na cultura do cafeeiro. Amostras de solo na camada de 0 – 20 cm foram coletadas em área sob quatro tipos de adubações: sem adubação (T), orgânica (AC), química (AQ) e orgânica + química (AC+AQ) e três tipos de cobertura vegetal na entrelinha do cafeeiro: sem planta (SP), braquiária (B) e estilosantes (E). Nessas amostras avaliaram-se os estoques de carbono orgânico e nitrogênio totais (COT e NT), lábil (COL e NL), da matéria orgânica leve livre (C-MOL-L e N-MOL-L), oclusa (C-MOL-O e N-MOL-O), matéria orgânica particulada (C-MOP e N-MOP) e associada aos minerais (C-MAM e N-MAM), além da composição isotópica do C ($\delta^{13}\text{C}$) e o índice de manejo de carbono (IMC). O C-MOL-L e N-MOL-L foram os compartimentos mais sensíveis aos sistemas de manejo implantados na reabilitação da área minerada. A composição isotópica do C nas frações MOP_G, MOP_F e MAM mostraram que mesmo com o impacto causado pela mineração, o carbono original do solo na fase pré- mineração foi preservado, demonstrando serem indicadores de qualidade do solo sensíveis às mudanças decorrentes do manejo adotado, contribuindo para a resiliência do ambiente edáfico. De modo geral as adubações aplicadas (AC, AQ e AC+AQ) contribuíram para o melhor desenvolvimento das plantas de cobertura introduzidas na entrelinha do cafeeiro, com destaque para a adubação orgânica + química (AC+AQ), principalmente quando aplicadas nas áreas de café consorciado com braquiária, proporcionando maiores estoques de carbono e nitrogênio no solo, assim como nos compartimentos da matéria orgânica do solo.

Palavras-chave: Bauxita, recuperação de áreas degradadas, fracionamento físico.

1. INTRODUÇÃO

A extração mineral é de extrema importância para o desenvolvimento econômico de uma determinada região e do país, no entanto, tem-se constituído em tema de crescente relevância em questões ambientais, por afetar a sustentabilidade dos recursos naturais, especialmente do solo e da água. A mineração pode ser considerada uma das atividades mais impactantes ao solo, embora no geral, não afete grandes extensões territoriais (Reis, 2006). Os impactos ambientais gerados pelo setor mineral podem ser facilmente visualizados, pois as atividades extrativas são em sua maioria realizadas a céu aberto. Dentre os principais impactos causados pela atividade mineradora está o aumento dos diversos processos erosivos e consequente perda da qualidade do solo. Um dos indicadores de maior importância na avaliação da evolução da qualidade de um solo ou substrato é o teor de matéria orgânica (Doran e Parkin, 1994). As atividades mineradoras causam grandes perdas dos teores de matéria orgânica, o que interfere em processos vitais à funcionalidade dos ecossistemas, em especial do C (Carneiro et al., 2008). A redução dos teores de C e N, considerados atributos essenciais ao bom funcionamento do solo, tem sido constatada em trabalhos de avaliação de áreas em reabilitação após mineração (Trindade, Graziotti e Tótola, 2000; Neto et al., 2008; Carneiro et al., 2008). Estudos realizados em solos de mineração de bauxita em Minas Gerais mostraram redução de até 99% nos teores de carbono orgânico, nitrogênio total, na biomassa microbiana e na atividade enzimática do solo (Carneiro et al., 2008).

A reabilitação dessas áreas é motivo de esforços por parte das empresas do setor e dos órgãos ambientais, universidades e institutos de pesquisas, que buscam procedimentos eficazes para restabelecer os processos essenciais do solo e dos ecossistemas alterados (Carneiro et al., 2008). Práticas utilizadas na reabilitação de áreas degradadas que proporcionam maior aporte de matéria orgânica são mais bem sucedidas pela melhoria das propriedades do solo e por ser um importante constituinte na manutenção da qualidade ambiental de ecossistemas (Santos et al., 2011; Pillon et al., 2011).

O monitoramento da matéria orgânica do solo (MOS) constitui um indicador da qualidade do sistema de uso adotado. Entretanto, a matéria orgânica é complexa e, para um melhor entendimento de sua dinâmica em um determinado sistema de cultivo ou para identificar o seu nível de sustentabilidade, pode ser

dividida em diferentes compartimentos. Decorrente disso, o carbono orgânico total do solo (COT), muitas vezes, não demonstra alta sensibilidade às alterações provocadas por determinado sistema de manejo no curto e médio prazo, razão pela qual a distribuição das diferentes frações da matéria orgânica pode ser utilizada para verificar as diferentes suscetibilidades ao tipo de manejo empregado pelas diferenças de labilidade que apresentam, como também, melhor avaliar a qualidade da matéria orgânica do solo (Gregorich et al., 1988; Pinheiro et al., 2004; Conceição et al., 2008; Conceição et al., 2014).

O estudo dos compartimentos orgânicos no solo, a partir do fracionamento da matéria orgânica, tem sido referência para o melhor entendimento da liberação de nutrientes e estabilização da matéria orgânica em função das alterações no manejo do solo e no ambiente (Lima, 2008; Neto et al., 2011; Pessoa et al., 2012). Dois grupos de métodos podem ser utilizados no fracionamento físico: os baseados na diferença em densidade entre os compartimentos (métodos densimétricos) e os que levam em consideração diferenças no tamanho de partículas (métodos granulométricos), os quais podem ser usados em combinação para se verificar as alterações nos compartimentos da matéria orgânica por práticas de manejo adotadas.

É relevante a avaliação dos compartimentos da MOS por técnicas de fracionamento físico na atual estratégia de monitoramento da reabilitação de áreas mineradas para bauxita por práticas de manejo que promovam a melhoria na sustentabilidade produtiva e ambiental. Assim, objetivou-se avaliar atributos orgânicos de solo em área minerada em fase de reabilitação com a cultura do cafeeiro com diferentes plantas intercalares de cobertura e tipos de adubações.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado em condições de campo em propriedade localizada no município de São Sebastião da Vargem Alegre, na Zona da Mata de Minas Gerais, com coordenadas geográficas: 42°35'02,18" de longitude Oeste e 21°01'58,98" de latitude Sul, em área onde houve extração de bauxita, sob concessão da Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim Metais. O relevo da região é

forte ondulado, a precipitação média anual é de 174 mm, concentrada entre os meses de outubro a janeiro, e a temperatura média anual é em torno de 25 – 32°C (Borges, 2013). O solo dominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). A área em reabilitação encontrava-se, anteriormente ao processo de lavra, ocupada com cultivo de cafeeiro por 10 anos, tendo sido implantado em área de pastagem e que, por sua vez, era coberta por vegetação nativa de Mata Atlântica. A área foi minerada para bauxita nos anos de 2009 e 2010. Após o processo de lavra, a área foi reconfigurada, o que consistiu em operações de subsolagem, recapeamento da área e construção de terraços em nível. O experimento de reabilitação da área minerada com cafeeiro foi instalado oito meses após a reconfiguração (01/02/2011), sendo o plantio das mudas de cafeeiro (*Coffea arabica*, var. Catuaí vermelho IAC 144) realizado em sulcos com 0,4 m de profundidade e espaçados 2,0 m, perpendicularmente a declividade do terreno. O plantio das sementes de braquiária e de estilosantes nas entrelinhas do cafeeiro foi feito em 15/03/2011, manualmente, em quatro sulcos de 0,02 m de profundidade e espaçados 0,25 m, cobrindo uma faixa de 1,0 m da parte central da entrelinha. O experimento vem sendo mantido há três anos e sete meses.

2.2. Tratamentos avaliados e coleta das amostras

O experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo os blocos experimentais alocados entre os terraços em nível. As parcelas possuíam tamanho 28 m x 14 m, as quais receberam os tratamentos com adubação de plantio (Tabela 1): T - sem adubação; AC - adubação orgânica, sendo 50 t ha⁻¹ (base seca) de cama de aviário, 1/2 dose aplicada no sulco de plantio e 1/2 a lanço na entrelinha; AQ - adubação química: 8 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com 80 % de PRNT foram aplicados, sendo 1/3 da dose no sulco de plantio e os 2/3 restantes nas entrelinhas. Também foram aplicados: 1,5 t ha⁻¹ de fosfato natural reativo Bayóvar no fundo do sulco e 0,70 t ha⁻¹ nas entrelinhas; e AC+AQ – adubação orgânica + adubação química.

No primeiro ano após a implantação dos cafeeiros foram feitas adubações de formação com adubos minerais nos tratamentos AC+AQ e AC, na linha de

plantio, ao lado das plantas de café (Tabela 2). A partir do segundo ano as adubações de produção dos cafeeiros foram realizadas em cobertura nas linhas de plantio, debaixo da saia do cafeeiro utilizando fertilizante NPK 20-05-20 em doses similares ($600 \text{ g planta}^{-1}$, dividida em duas aplicações na estação de crescimento) entre os tratamentos (Tabela 2), exceto na testemunha sem adubação.

Tabela 1 - Fontes e quantidades totais de nutrientes e carbono orgânico aplicados na implantação de cafeeiro e das plantas de cobertura intercalares nos diferentes tratamentos para reabilitação de área minerada de bauxita

Adubação	Local	Fonte	MS	COT	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	Cu	Zn
			----t ha ⁻¹ ----		-----kg ha ⁻¹ -----									
			-		---									
Orgânica (C)	EL	CA	25,0	8,8	605,4	235,0	578,9	531,6	91,4	123,3	8,3	188,6	1,3	7,0
		Total EL		8,8	605,4	235,0	578,9	531,6	91,4	123,3	8,3	188,6	1,3	7,0
Orgânica + Química (C+Q)	EL	Calcário	5,3	-	-	-	-	1513,1	385,9	-	-	-	-	-
		CA	25,0	8,8	605,4	235,0	578,9	531,6	91,4	123,3	8,3	188,6	1,3	7,0
		FNR	0,7	-	4,6	91,0	0,7	225,4	2,5	9,5	0,0	0,0	0,0	0,1
		Total EL		8,8	610,1	326,0	579,6	2.270,1	479,7	132,8	8,3	188,6	1,3	7,1
Química (Q)	EL	Calcário	5,3	-	-	-	-	1.513,1	385,9	-	-	-	-	-
		FNR	0,7	-	4,6	91,0	0,7	225,4	2,5	9,5	0,0	0,0	0,0	0,1
		Total EL		-	4,6	91,0	0,7	1.738,5	388,4	9,5	0,0	0,0	0,0	0,1
Testemunha (T)		Sem adubação												

CA = cama de aviário; EL = entrelinha; MS = massa seca; FNR = fosfato natural reativo (Borges, 2013).

Tabela 2 - Fertilizantes aplicados em cobertura na linha de plantio do cafeeiro nos tratamentos AQ e AC+AQ, nos diferentes tratamentos para reabilitação de área minerada de bauxita

Forma de adubação	Tipo de Adubo	Quantidade/Aplicação	Unidade	Tempo após plantio
Via solo	N-P-K 08-28-16	100	g planta^{-1}	2 e 20 dias
	N-P-K 20-05-20	100	g planta^{-1}	11 meses
	KCl + 1% de Boro	100	g planta^{-1}	14 meses
Via foliar	Micronutrientes*	100	g ha^{-1}	2 meses
	Micronutrientes*	300	g ha^{-1}	4 meses
	Micronutrientes*	1.000	g ha^{-1}	11 meses
	Micronutrientes*	1.600	g ha^{-1}	19 meses

*Produto comercial Plantin II[®] (N:10,0; Ca: 1,5; Mg: 1,0; S: 3,5; Zn: 6,0; B: 3,0; Fe: 0,5; Mn: 0,5; Cu: 0,5; Mo: 0,05%) (Borges, 2013).

As parcelas eram formadas por três subparcelas, medindo 14 m x 7 m, as quais receberam os tratamentos: SP – subparcela mantida sem plantas de cobertura, ou seja, manteve-se a área limpa com aplicação de herbicida pré-emergente quando necessário; B – subparcela semeada com *Brachiaria brizantha*, cv. Piatã, na dose de 25 kg ha⁻¹ de sementes viáveis; E – subparcela com semeadura de estilosantes cultivar Campo Grande e que consiste numa mistura de sementes de duas espécies: 80 % de *Stylosanthes capitata* e 20 % de *Stylosanthes macrocephala*, na dose de 2,5 kg ha⁻¹ de sementes viáveis. As plantas de cobertura, após seu estabelecimento inicial, foram cortadas a 10 - 20 cm de altura com roçadeira manual a intervalos médios de 60 dias (maiores no período seco e menores no período chuvoso) e os resíduos da parte aérea dispostos debaixo das plantas de cafeeiro, visando maximizar a reciclagem de nutrientes. Portanto, os efeitos aqui reportados são derivados principalmente da ação do sistema radicular das plantas de cobertura, além daquelas do cafeeiro.

Amostras indeformadas e deformadas de solo foram coletadas em agosto de 2013 nas entrelinhas de cada subparcela na profundidade de 0-20 cm. No primeiro caso foram utilizados dois blocos de solo com dimensões aproximadas de 30 cm x 30 cm x 20 cm coletados aleatoriamente, destorroados manualmente à umidade de campo e combinados formando uma amostra composta, e que, após secagem ao ar, foram peneiradas (< 2 mm) e acondicionadas em sacos plásticos para posterior caracterização e análises desse estudo (Tabela 3). Três amostras não estruturadas contidas em anéis volumétricos foram coletadas em cada subparcela, com auxílio de um trado tipo Uhland, para determinação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Também foram coletadas amostras de solo em uma área adjacente coberta por fragmento de vegetação nativa (Mata Atlântica), sendo considerada como referência para fins de comparação.

Tabela 3 - Características físicas e químicas nas camadas de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Atributo	Sem Adubação				Adubação Orgânica			Adubação Química			Adubação Química + Orgânica		
	Mata	SP	B	E	SP	B	E	SP	B	E	SP	B	E
pH em água (1;2,5)	5,10	4,90	5,33	5,16	5,77	6,44	5,63	6,02	6,43	6,11	6,59	6,56	6,37
COT (dag kg ⁻¹)	6,54	1,24	1,66	1,40	1,40	1,95	1,82	1,52	1,89	1,79	1,86	2,21	1,77
NT (dag kg ⁻¹)	0,53	0,09	0,11	0,09	0,11	0,14	0,13	0,09	0,12	0,11	0,13	0,15	0,12
P (mg dm ⁻³)	6,78	1,13	1,28	0,93	19,35	28,80	14,40	30,03	16,30	8,45	46,30	33,63	44,30
K (mg dm ⁻³)	57,50	4,50	33,50	16,00	24,00	287,00	63,75	21,75	209,75	59,75	95,25	225,00	89,25
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,44	0,32	0,61	0,26	1,89	2,43	1,59	2,66	2,86	2,28	3,96	3,34	3,52
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,30	0,09	0,22	0,08	0,43	0,61	0,35	0,41	1,00	0,45	0,76	0,67	0,66
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,61	0,15	0,12	0,20	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,03	0,03	0,07	0,00
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	16,63	5,05	5,48	5,13	4,03	2,88	5,15	3,35	2,58	3,68	2,70	3,40	2,90
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,89	0,42	0,92	0,38	2,38	3,78	2,10	3,13	4,40	2,89	4,96	4,58	4,41
T (cmol _c dm ⁻³)	17,52	5,47	6,39	5,51	6,41	6,65	7,25	6,48	6,97	6,56	7,66	7,98	7,31
T (cmol _c dm ⁻³)	2,50	0,56	1,04	0,58	2,38	3,78	2,27	3,13	4,40	2,91	4,99	4,65	4,41
V (%)	5,10	6,95	12,10	6,60	37,50	56,75	32,20	47,83	61,03	47,10	65,13	57,45	58,73
m (%)	64,50	33,58	13,43	36,43	0,00	0,00	11,55	0,00	0,00	1,25	0,73	3,15	0,00
P-rem (mg L ⁻¹)	14,25	6,00	7,73	6,85	8,23	11,30	8,63	10,00	9,65	7,78	10,73	10,38	9,83
Argila (g kg ⁻¹)	535	690	657,50	640	670	720	655	622,50	657,50	657,50	560	652,5	675
Silte (g kg ⁻¹)	105	77,50	90	70	77,50	77,50	72,50	107,50	107,50	105	142,50	112,50	92,50
Areia (g kg ⁻¹)	360	232,50	252,50	290	252,50	202,50	272,50	270	235	237,50	297,50	235	232,50
Ds (kg dm ⁻³)	1,02	1,31	1,25	1,33	1,28	1,28	1,29	1,30	1,29	1,30	1,35	1,26	1,33
Dp (kg dm ⁻³)	2,34	2,77	2,68	2,66	2,66	2,68	2,68	2,67	2,62	2,64	2,59	2,57	2,62
Macro (dm ³ dm ⁻³)	0,27	0,18	0,18	0,16	0,19	0,18	0,16	0,18	0,16	0,15	0,17	0,13	0,13
Micro (dm ³ dm ⁻³)	0,29	0,35	0,35	0,34	0,33	0,34	0,36	0,33	0,35	0,36	0,36	0,37	0,36
PT (dm ³ dm ⁻³)	0,56	0,53	0,53	0,50	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,48	0,51	0,49

Mata = mata nativa; SP = sem forrageira; E = estilosantes; B = braquiária; COT = carbono orgânico total; NT = nitrogênio total; SB = soma de bases trocáveis; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; t = capacidade de troca catiônica efetiva; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; P-rem = fósforo remanescente; Ds = densidade do solo; Dp = densidade da partícula; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; PT = porosidade total.

2.3. Análises dos atributos orgânicos do solo

Em cada subparcela, subamostras foram retiradas e trituradas em almofariz e passadas em peneira de 60 mesh (0,250 mm) para análise dos atributos orgânicos abaixo. Para a determinação da abundância natural do isótopo ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$), as subamostras depois de trituradas foram passadas em peneira de 100 mesh (0,149 mm).

O carbono orgânico total (COT) foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido pelo H_2SO_4 juntamente com uma fonte externa de aquecimento (Yeomans; Bremner, 1988). O carbono orgânico lábil (COL), foi determinado por oxidação em permanganato de potássio (KMnO_4) e quantificado por espectrofotometria conforme Blair et al. (1995), adaptado para solos tropicais por Shang e Tiessen (1997). O nitrogênio total (NT) foi determinado pelo método Kjeldahl, modificado por Tedesco (1985), empregando-se digestão sulfúrica, destilação e quantificação por titulação com HCl $0,02 \text{ mol L}^{-1}$. Para a determinação do nitrogênio lábil (NL) (adaptado de Sahrawat, 1982) foram utilizados 10 mL do mesmo extrato utilizado para a determinação do COL, tendo sido submetido à mesma digestão sulfúrica do método Kjeldahl, porém com alterações da quantidade de NaOH 10 mol L^{-1} , no caso 25 mL previamente ao processo de destilação, e titulação com HCl a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$.

O índice de manejo de carbono do solo (IMC) (Blair et al., 1995), foi calculado a partir dos dados de COT, COL e CNL (carbono orgânico não lábil, calculado pela diferença entre COT e COL), utilizando os valores obtidos na área de mata nativa como referência, por meio da seguinte equação:

$$IMC = \left[\left(\frac{COT_1}{COT_2} \right) \times \left(\frac{\frac{COL_1}{CNL_1}}{\frac{COL_2}{CNL_2}} \right) \right] \times 100 \quad (1)$$

em que: COT_1 é o carbono orgânico total do solo; COT_2 é o carbono orgânico total do solo referência (mata nativa); COL_1 é o carbono lábil do solo; CNL_1 é o carbono não lábil do solo; COL_2 é o carbono lábil do solo referência (mata nativa); e CNL_2 é o carbono não lábil do solo referência (mata nativa).

A análise da abundância natural do isótopo ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) do solo foi determinada em espectrômetro de massa de razão isotópica (ANCA GSL 20-20, Sercon, Crewe, UK). A razão isotópica foi expressa em partes por 1000 (‰) em relação ao padrão Pee Dee Belemnita (PDB), conforme a equação (Bernoux et al., 1998):

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}_{\text{amostra}} - \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}_{\text{padrão}}}{\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}_{\text{padrão}}} \right) \times 1000 \quad (2)$$

O compartimento de C derivado de planta C_4 foi calculado conforme Vitorello et al. (1989):

$$\%C_4 = \left(\frac{(\delta - \delta_S)}{\delta_P - \delta_S} \right) \times 100 \quad (3)$$

em que: δ é a abundância natural do ^{13}C nas amostras de solo; δ_S é a abundância natural do ^{13}C nas amostras de solos sem nenhuma contribuição das plantas C_4 ; δ_P é a abundância natural do ^{13}C nas amostras das plantas C_4 . A contribuição percentual do C originário de planta C_3 foi calculada conforme equação abaixo:

$$\%C_3 = 100 - \%C_4 \quad (4)$$

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizado conforme método proposto por Sohi et al. (2001) com algumas adaptações. Foram obtidas as frações leve livre (FLL) e oclusa (FLO) pelo método densimétrico, matéria orgânica particulada grossa (MOP-G) e fina (MOP-F) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM) por meio do fracionamento granulométrico.

A separação da fração leve livre (FLL) foi realizada por centrifugação de 5 g de TFSA em triplicatas, precedida de agitação manual com NaI ($d = 1,60 \text{ g cm}^{-3}$), sendo o sobrenadante com a FLL filtrado lentamente com auxílio de bomba de vácuo, separando a FLL da solução de NaI. Após lavagem abundante com água destilada para eliminação do NaI, a FLL foi transferida para lata de alumínio e seca em estufa a 65°C por 24 h, sendo pesada e macerada em almofariz de ágata, passando-se em peneira de 0,149 mm de abertura para posterior análise em relação

aos teores de C e N pelo método da combustão seca, em analisador elementar CHNS (Perkin Elmer).

Após a remoção da FLL, a extração da fração leve oclusa (FLO) foi efetuada por meio da sonificação das amostras centrifugadas, utilizando-se processador de ultrasom com sonda operando a 20 kHz na amplitude de 63%, fornecendo uma potência de $62,95 \pm 0,35$ W, calculada a partir de técnicas calorimétricas, como descrito em Carolino de Sá (1998). A sonificação foi feita com água destilada na relação 1:8 (solo:água) por cinco minutos a uma energia de $473,77 \text{ J mL}^{-1}$ para o solo dos sistemas de manejo e $475,02 \text{ J mL}^{-1}$ para o solo de mata nativa (energias obtidas a partir da curva de dispersão do solo) (Figura 1). Procedeu-se outra centrifugação, remoção da FLO, secagem e pesagem como descrito na separação da FLL. A FLO do solo foi analisada em relação aos teores de C e N pelo método da combustão seca, em analisador elementar CHNS (Perkin Elmer).

Figura 1 - Curva de dispersão para solo de mata nativa e diferentes sistemas de manejo de área reconfigurada após mineração de bauxita

O material de solo correspondente à fração pesada (FP), obtido após separação da FLL e FLO foi separado por tamizagem utilizando-se peneiras de 0,210 e 0,053 mm, separando-se, assim, a MOP grossa, (MOP_G , 2,00 – 0,210 mm) e a MOP fina (MOP_F , 0,210 – 0,053 mm). Esse material foi seco em estufa a 65°C e posteriormente utilizado para determinar o C orgânico e N dessas frações,

aos teores de C e N pelo método da combustão seca, em analisador elementar CHNS (Perkin Elmer).

Após a remoção da FLL, a extração da fração leve oclusa (FLO) foi efetuada por meio da sonificação das amostras centrifugadas, utilizando-se processador de ultrasom com sonda operando a 20 kHz na amplitude de 63%, fornecendo uma potência de $62,95 \pm 0,35$ W, calculada a partir de técnicas calorimétricas, como descrito em Carolino de Sá (1998). A sonificação foi feita com água destilada na relação 1:8 (solo:água) por cinco minutos a uma energia de $473,77 \text{ J mL}^{-1}$ para o solo dos sistemas de manejo e $475,02 \text{ J mL}^{-1}$ para o solo de mata nativa (energias obtidas a partir da curva de dispersão do solo) (Figura 1). Procedeu-se outra centrifugação, remoção da FLO, secagem e pesagem como descrito na separação da FLL. A FLO do solo foi analisada em relação aos teores de C e N pelo método da combustão seca, em analisador elementar CHNS (Perkin Elmer).

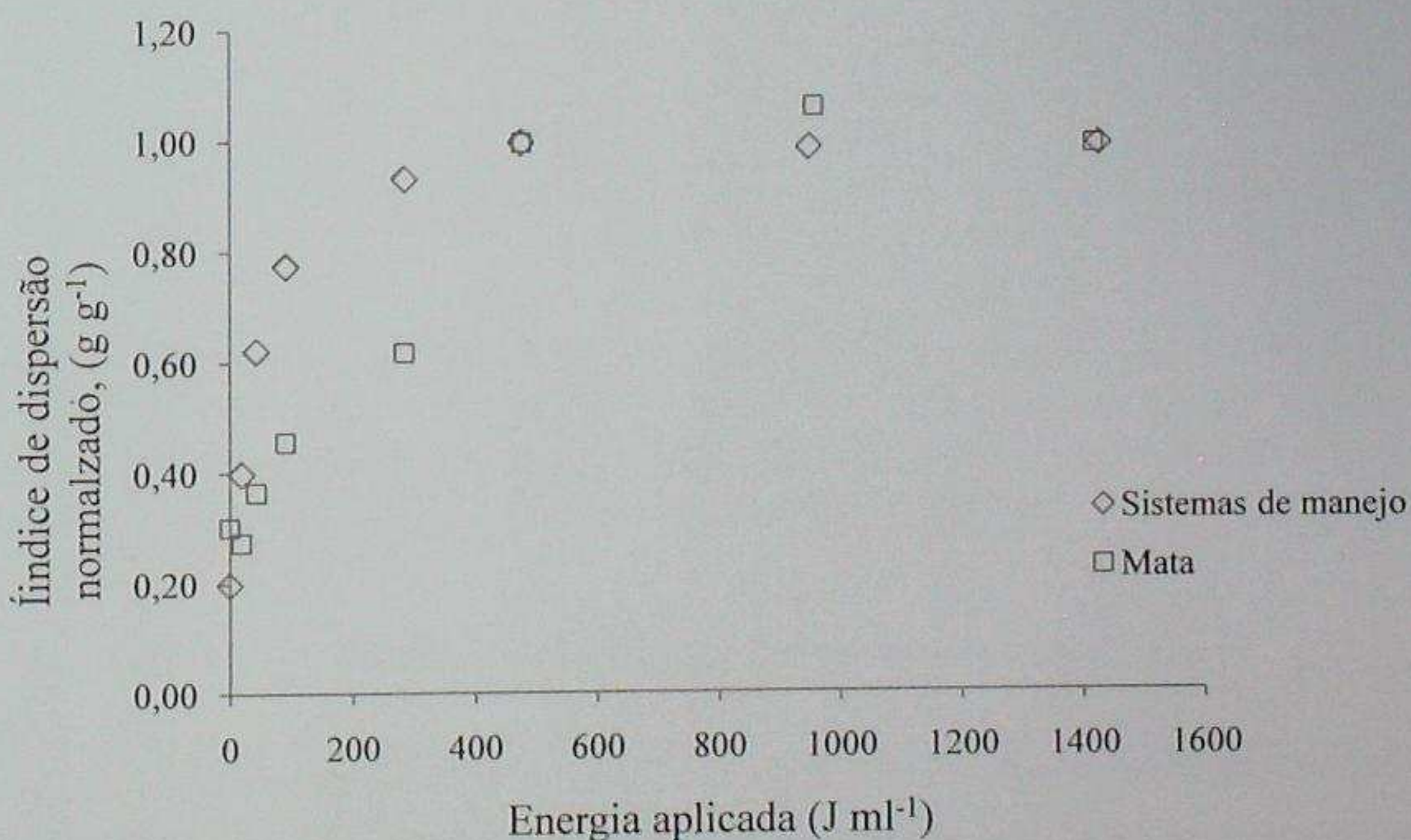


Figura 1 - Curva de dispersão para solo de mata nativa e diferentes sistemas de manejo de área reconfigurada após mineração de bauxita

O material de solo correspondente à fração pesada (FP), obtido após separação da FLL e FLO foi separado por tamizagem utilizando-se peneiras de 0,210 e 0,053 mm, separando-se, assim, a MOP grossa, (MOP_G , 2,00 – 0,210 mm) e a MOP fina (MOP_F , 0,210 – 0,053 mm). Esse material foi seco em estufa a 65°C e posteriormente utilizado para determinar o C orgânico e N dessas frações,

respectivamente pelos métodos de oxidação via úmida com aquecimento externo (Walkey Black) (Yeomans; Bremner, 1988) e digestão sulfúrica seguido de destilação (Kjeldahl), modificado por Tedesco (1985). O C da matéria orgânica associada aos minerais (MAM) foi calculado por diferença entre o C orgânico do solo e o C das frações: $FLL + FLO + MOP_G + MOP_F$.

Os estoques de C e N no solo e das diferentes frações da MOS, na camada de 0 – 20 cm, foram calculados multiplicando-se o teor de C ou N pelo volume de solo nessa profundidade e a densidade do solo sob mata nativa. Tal procedimento evita que o aumento da densidade do solo induzido pelo manejo nas áreas cultivadas resulte em maiores estoques de C (Pulrolnik et al., 2009). Dessa forma, os estoques de C aqui reportados são uma estimativa conservadora da realidade de campo.

O fluxograma das etapas da separação da MOP e MAM estão apresentados na figura 2.

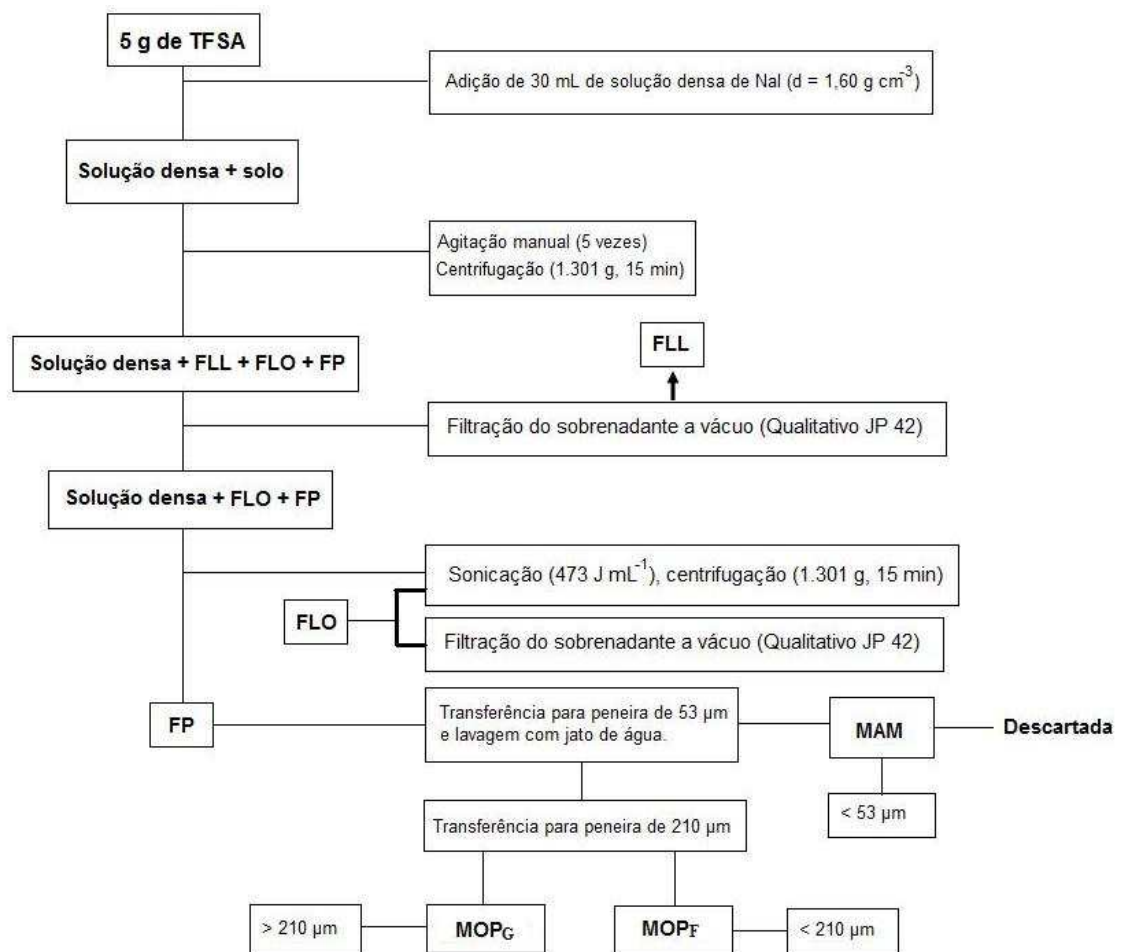


Figura 2 - Esquema simplificado do fracionamento físico densimétrico com iodeto de sódio (NaI), visando a separação da fração leve-livre (FLL), fração leve-oclusa (FLO), matéria orgânica particulada (MOP) de granulometria tamanho areia grossa e areia fina e matéria orgânica associada aos minerais (MAM)

2.4. Calibração e determinação da energia de sonificação

A energia de sonificação utilizada na separação de FLO foi determinada a partir da elaboração de uma curva de desagregação do solo, cujos resultados foram expressos em índices de dispersão (ID), como proposto por Sá et al. (1999), com algumas modificações. Amostras de TFSA (5 g) pré-umedecidas foram submetidas à energia ultra-sônica com água destilada na relação 1:8 (solo:água) durante 15, 30, 60, 180, 300, 600 e 900 s, o que corresponde às energias aplicadas (EA) de 18,70; 43,07; 91,32; 283,72; 473,83; 947,02 e 1425,35 J mL⁻¹, expressas, segundo Christensen (1985), por meio da equação abaixo:

$$EA = [P_e \cdot t_s] / v \quad (5)$$

em que: EA é a energia aplicada à suspensão (J mL^{-1}); Pc é a potência emitida pelo aparelho, obtida por meio de calibração (W); ts é o tempo de sonificação (s) e v é o volume da suspensão (mL).

A ponta da haste do aparelho, de dimensões 127 mm de comprimento por 19 mm de diâmetro, foi introduzida na suspensão a uma profundidade de 15 mm utilizando banho de gelo durante a sonificação, garantindo que a temperatura da suspensão ficasse abaixo de 40°C, como indicado por Christensen (1985) e Gregorich et al. (1989). Logo após a sonificação, as amostras foram passadas em peneira de 0,053 mm, quantificando-se a fração dispersa (silte + argila) por diferença, ou seja, a massa inicial de solo menos a fração retida na peneira, ambos massa seca em estufa a 105°C. O tempo zero de sonificação consistiu apenas em colocar as amostras no béquer, completar o volume para 40 mL de água destilada e passar imediatamente pela peneira, com o intuito de quantificar a desagregação causada apenas pelo manuseio. Foi então calculado o índice de dispersão para cada tempo de sonificação:

$$ID = [(fração < 0,053)/(massa inicial de solo)] \quad (6)$$

Os índices de dispersão foram normalizados (IDN) em função do ID Máximos:

$$IDN = ID / ID \text{ Máximo} \quad (7)$$

Os resultados normalizados para os teores de silte + argila das amostras foram plotados em curvas de dispersão, conforme Sá et al. (1999). As curvas foram linearizadas (Figura 3) e ajustadas matematicamente (Tabela 4). A linearização foi feita, plotando-se no eixo das abscissas, o nível de energia aplicado à suspensão (EA) em J mL^{-1} , e, no eixo das ordenadas, esse mesmo nível de energia dividido pelo índice de dispersão normalizado (EA/IDN), ajustando-se uma equação do tipo $y = a + bx$ para cada repetição por meio de regressão. A suscetibilidade do solo à desagregação foi expressa a partir do termo b/a , cuja unidade é mL J^{-1} . Assim, o modelo ajustado foi uma equação do tipo $y = [x/(a + bx)]$, sendo y o índice de

dispersão (ID), x a energia aplicada à amostra (EA), em J mL⁻¹, e a e b os coeficientes da equação, segundo Sá et al. (1999).

Tabela 4 - Equações ajustadas e valores do índice de desagregação (b/a) para os sistemas de manejo e mata nativa.

Tratamentos	Equações ajustadas	b/a (mL J ⁻¹)	
			%
Sistemas de manejo	IDN = EA / [0,9853EA + 19,555]	0,050	5,039
Mata nativa	IDN = EA / [0,9279EA + 72,809]	0,013	1,274

Figura 3 - Curvas de dispersão linearizadas para os sistemas de manejo e mata nativa.

2.5. Análise estatística

Tabela 4 - Equações ajustadas e valores do índice de desagregação (b/a) para os sistemas de manejo e mata nativa.

Tratamentos	Equações ajustadas	b/a (mL J ⁻¹)	
			%
Sistemas de manejo	IDN = EA / [0,9853EA + 19,555]	0,050	5,039
Mata nativa	IDN = EA / [0,9279EA + 72,809]	0,013	1,274

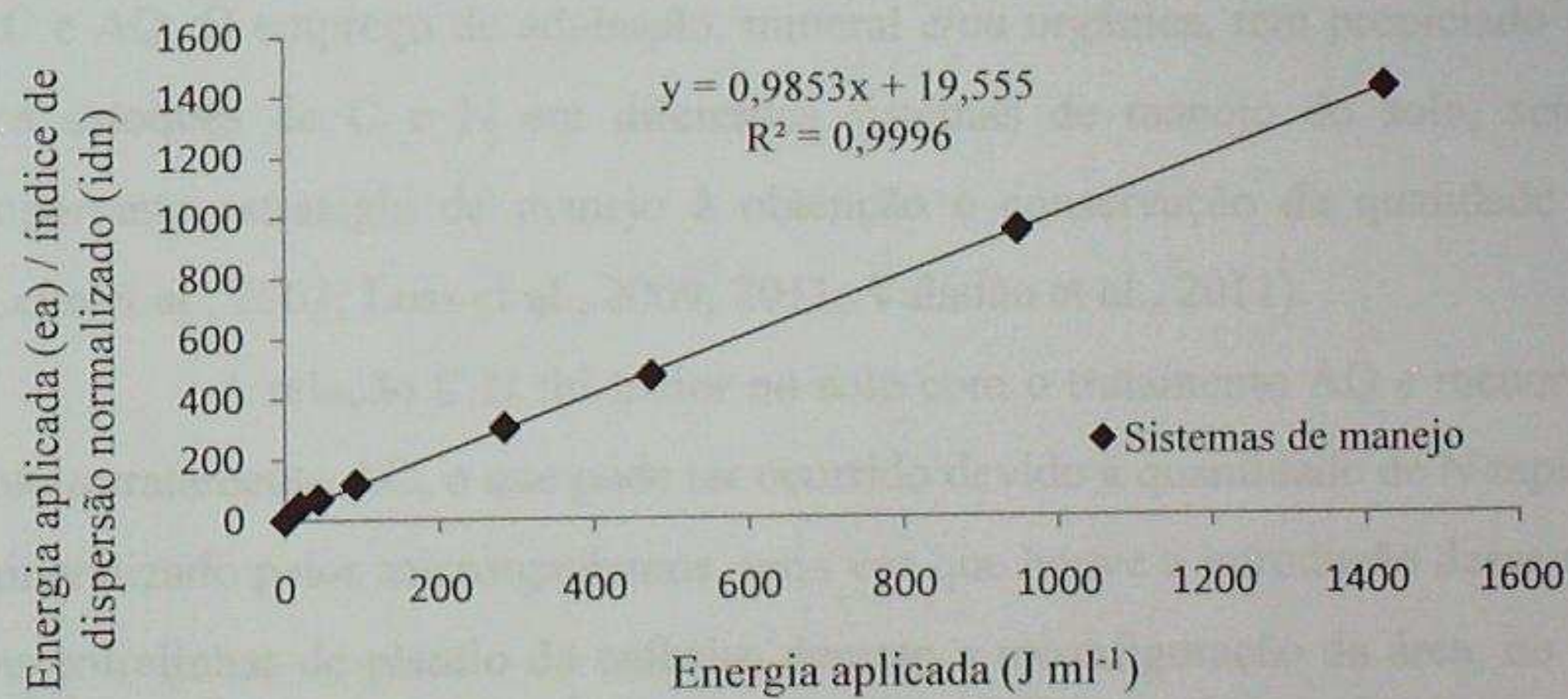
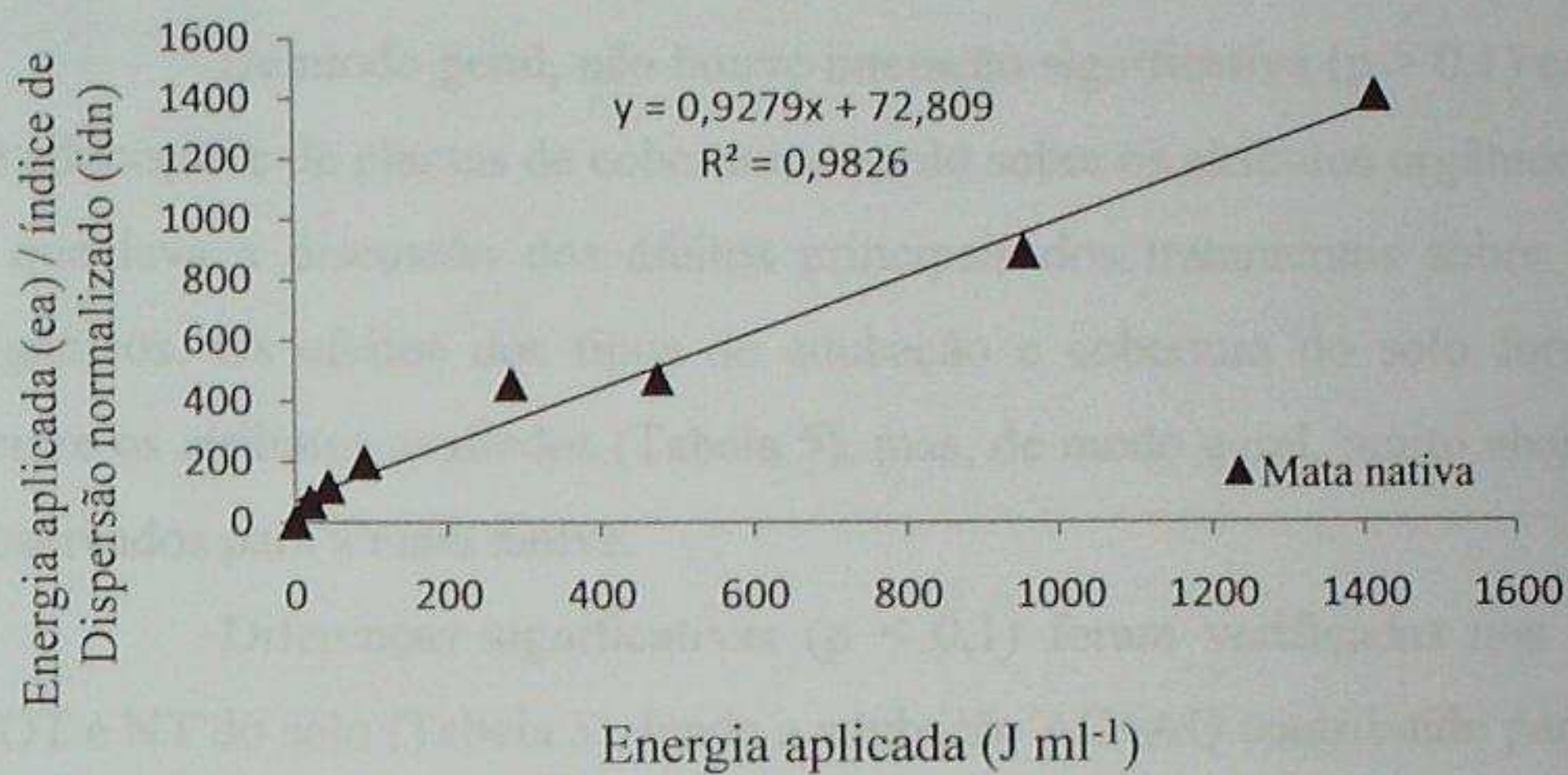


Figura 3 - Curvas de dispersão linearizadas para os sistemas de manejo e mata nativa.

2.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e comparados pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). As comparações entre os sistemas de manejo e a mata nativa foram

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e comparados pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). As comparações entre os sistemas de manejo e a mata nativa foram feitas utilizando os seus respectivos intervalos de confiança com até 90% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Atributos orgânicos do solo

De modo geral, não houve interação significativa ($p > 0,1$) entre os tipos de adubação e de plantas de cobertura do solo sobre os atributos orgânicos avaliados, o que leva a discussão dos efeitos principais dos tratamentos sobre os atributos orgânicos. Os efeitos dos tipos de adubação e cobertura do solo foram variados dentre os atributos avaliados (Tabela 5), mas, de modo geral, muito abaixo daqueles observados para a mata nativa.

Diferenças significativas ($p < 0,1$) foram verificadas nos estoques de COT e NT do solo (Tabela 5), tendo a adubação AC+AQ contribuído para o aumento desses estoques, diferindo da testemunha (T), embora seja equivalente às adubações AC e AQ. O emprego de adubação, mineral e/ou orgânica, tem propiciado aumento dos estoques de C e N em diferentes sistemas de manejo do solo, sendo uma importante estratégia de manejo à obtenção e conservação da qualidade do solo (Leite et al., 2003; Loss et al., 2009, 2011; Valadão et al., 2011).

A relação C:N foi maior no solo com o tratamento AQ e menor naquele com o tratamento AC, o que pode ter ocorrido devido à quantidade de N rapidamente mineralizado pelos microrganismos, uma vez que houve a introdução desse nutriente nas entrelinhas de plantio do cafeeiro durante a reconfiguração da área, no caso 4,6 kg ha⁻¹ e 605,4 kg ha⁻¹, respectivamente para AQ e AC. Essa grande quantidade de N introduzido e rapidamente mineralizado pela microbiota do solo pode ter influenciado as concentrações de COT, NT e NL do solo, o que, entretanto, não perdura por muito tempo. Assim, os efeitos das adubações química e orgânica sobre esses atributos, parecem estar mais relacionados ao crescimento e características intrínsecas da braquiária e estilosantes, como a captação de nutrientes pelo sistema

radicular abundante e à fixação de N₂ (Silva e Corrêa, 2010), respectivamente, contribuindo com o aumento ou manutenção desses atributos no solo.

Não houve diferença significativa ($p > 0,1$) entre os tipos de adubação no estoque de COL e no IMC do solo. Entretanto, adubação AC+AQ aumentou o estoque de NL do solo, não diferindo das AC e AQ, apenas da testemunha.

Tabela 5 - Estoques de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação C:N, carbono orgânico lábil (COL), nitrogênio lábil (NL) e índice de manejo de carbono (IMC), na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Tipos de Adubação	Cobertura do solo				Média	Cobertura do solo				Média
	SP	B	E	SP		B	E			
	COT (t ha ⁻¹)					NT (t ha ⁻¹)				
Mata	133,46 ± 12,00					10,90 ± 1,64				
T	25,37	33,83	28,54	29,25	B	1,77	2,19	1,88	1,95	B
AC	28,69	39,90	37,11	35,23	AB	2,18	2,79	2,65	2,54	AB
AQ	31,08	38,65	36,45	35,39	AB	1,88	2,45	2,31	2,21	AB
AC+AQ	38,03	45,14	36,17	39,78	A	2,57	3,04	2,49	2,70	A
Média	30,79 b	39,38 a	34,57 b	34,91 ± 2,5		2,10 b	2,62 a	2,33 ab	2,35 ± 0,2	
	C:N					COL (t ha ⁻¹)				
Mata	12,25 ± 0,78					8,85 ± 0,53				
T	14,32	15,42	15,18	14,97	AB	1,32	1,71	1,61	1,55	A
AC	13,18	14,30	14,00	13,83	B	1,39	2,55	1,94	1,96	A
AQ	16,52	15,76	15,80	16,03	A	1,78	2,54	1,89	2,07	A
AC+AQ	14,79	14,85	14,53	14,72	AB	2,08	2,93	2,00	2,34	A
Média	14,70 a	15,08 a	14,88 a	14,89 ± 0,4		1,64 b	2,44 a	1,86 b	1,98 ± 0,2	
	NL (t ha ⁻¹)					IMC (%)				
Mata	0,275 ± 0,034					100,00 ± 0,00				
T	0,067	0,071	0,064	0,07	B	14,65	19,06	17,96	17,22	A
AC	0,078	0,099	0,096	0,09	AB	15,47	28,76	21,63	21,95	A
AQ	0,078	0,103	0,071	0,08	AB	19,96	28,71	21,00	23,22	A
AC+AQ	0,110	0,110	0,096	0,10	A	23,25	33,12	22,31	26,23	A
Média	0,083 a	0,096 a	0,081 a	0,09 ± 0,007		18,33 b	27,41 a	20,73 b	22,16 ± 2,00	

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; ± = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

Observou-se que a cobertura das entrelinhas com a braquiária promoveu o aumento dos estoques de COT e NT do solo em relação às subparcelas sem planta, enquanto que o uso de estilosantes, apesar de contribuir com aumento dos estoques de COT e NT, estatisticamente não diferiu da área sem planta. A contribuição de

forrageiras no aporte de matéria orgânica, principalmente as do gênero *Brachiaria*, são verificadas em diversos trabalhos (Pillon et al., 2011; Wendling et al., 2011; Carmo et al., 2012; Rossi et al., 2012). A grande massa de raízes incorporadas ao solo pelo seu rápido turnover e pela rizodeposição por essas gramíneas (Tabela 6) refletem-se na agregação e teores de matéria orgânica do solo e, consequentemente, nos estoques de C e N.

O estilosantes, por apresentar características anuais e bianuais e depender do repovoamento a partir do ressemeio natural para permanecer no sistema, apresenta menor aporte de C e N ao solo por meio do seu sistema radicular (Tabela 6), limitando, portanto, sua capacidade de recuperar a agregação e MOS.

Tabela 6 - Valores de massa e densidade de raízes fresca e seca, na camada de 0-20 cm e volume de 18 dm³ de solo de área minerada em reabilitação com plantas de cobertura e adubações

Tratamento	Massa Fresca	Densidade de Raízes Fresca	Massa Seca	Densidade de Raízes Seca
	(g)	(g dm ⁻³)	(g)	(g dm ⁻³)
T/SP	4,11	0,23	0,66	0,04
T/B	44,51	2,47	8,70	0,48
T/E	15,93	0,88	5,16	0,29
AC/SP	5,43	0,30	0,66	0,04
AC/B	77,61	4,31	16,13	0,90
AC/E	15,10	0,84	2,54	0,14
AQ/SP	3,63	0,20	0,64	0,04
AQ/B	32,29	1,79	4,95	0,27
AQ/E	13,32	0,74	2,68	0,15
AC+AQ/SP	3,80	0,21	0,54	0,03
AC+AQ/B	51,08	2,84	9,80	0,54
AC+AQ/E	11,61	0,65	2,37	0,10

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química.

A braquiária (B) também aumentou os estoques de COL (2,44 t ha⁻¹) e os valores de IMC (27,41%), enquanto que o estilosantes (E) apresentou efeito equivalente à área sem planta (SP). Esse comportamento também foi observado nos estoques de C total e lábil do solo, corroborando com as alegações de Blair et al. (1995) e Nicoloso et al. (2008), nas quais, o IMC mostra-se sensível ao estoque de C do solo e sua labilidade, subsidiando informação acerca do melhor sistema de manejo empregado. Guimarães et al. (2014) avaliaram o impacto de sistemas de produção de cafeeiro orgânico e agroflorestal sobre os estoques de C e N e a qualidade da matéria orgânica. Esses autores concluíram que o sistema cafeeiro agroflorestal proporcionou maiores IMC em relação ao cafeeiro orgânico sem consórcio e convencional, o que

implicou na melhoria da qualidade do solo. Os valores dos IMCs inferiores a 100, encontrados nesse estudo, são indicativos de que após o impacto inicial pela mineração, ainda não houve total recuperação dos estoques e qualidade da MOS pelas práticas de manejo adotadas, o que pode ser atribuído ao tempo relativamente curto de implantação do experimento. No entanto, ficou evidenciado que o café consorciado com forrageiras, especialmente a braquiária, tem potencial para aumentar o IMC devido ao maior aporte de matéria orgânica.

O tempo de implantação e a área que exprime a condição ideal do solo devem ser levados em consideração na avaliação da reabilitação da área minerada. Entretanto, o tipo de manejo empregado é fator chave no tempo de reabilitação da qualidade do solo. Carneiro et al. (2008), estudando áreas mineradas para bauxita, constatou concentrações de COT semelhantes às da referência, apresentando tendências estáveis de reabilitação a partir de 18 anos. Estudos realizados em solos de mineração de bauxita na Austrália mostraram que são necessários em torno de 33 anos para que os estoques de COT e NT atinjam teores equivalentes aos de áreas adjacentes não mineradas (Schwenke et al., 2000a,b,c).

De uma maneira geral, os valores dos atributos orgânicos obtidos pelos sistemas de manejo empregados na área reconfigurada com cafeeiro e plantas intercalares ainda encontram-se muito abaixo dos observados na mata nativa, ou seja, a condição ideal de referência considerada neste trabalho. Entretanto, os resultados deste estudo mostram que os atributos essenciais ao funcionamento adequado do solo são recuperáveis pelas práticas de manejo adotadas.

3.2. Estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica do solo

De modo geral, houve interação significativa ($p < 0,1$) entre os tipos de adubação e de plantas de cobertura do solo sobre as frações orgânicas avaliadas (Tabelas 7, 8 e 9). Assim serão discutidos os efeitos das interações entre adubações e coberturas do solo sobre as frações da MOS.

Os resultados experimentais mostram que os estoques de C e N na matéria orgânica leve livre (MOL_L), para os tipos de adubação, foram estatisticamente iguais sob as áreas SP e E. Entretanto, para as adubações AC e AQ, os estoques de C e N da MOL_L, foram superiores às demais quando aplicadas na área com braquiária (B) (Tabelas 7 e 8). Para as coberturas do solo, os estoques de C

e N da MOL_L, sob a testemunha (T) e a adubação AC+AQ, foram iguais. A área com braquiária sob as adubações AC e AQ, apresentou estoques superiores de C e N na fração MOL_L.

Tabela 7 - Estoques de carbono em frações da matéria orgânica, na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
C-MOL+MOP		(kg ha ⁻¹)			
	Mata	9.348 ± 2.176			
	T	3,163 Aa	3,649 Aa	3,861 Aa	3,558
	AC	3,731 Aa	4,281 Aa	3,486 Aa	3,833
	AQ	2,739 Aab	4,380 Aa	2,155 Ab	3,091
	AC+AQ	3,087 Aab	4,725 Aa	2,327 Ab	3,380
	Média	3,180	4,259	2,957	3,465 ± 248,86
C-MOL _L	Mata	171,88 ± 244,24			
	T	3,50 Aa	60,42 Ba	18,38 Aa	27,43
	AC	10,53 Ab	149,45 Aa	45,08 Ab	68,35
	AQ	3,55 Ab	172,36 Aa	23,10 Ab	66,34
	AC +AQ	8,76 Aa	36,40 Ba	16,71 Aa	20,62
	Média	6,59	104,66	25,82	46,69 ± 21,69
C-MOL _o	Mata	10,72 ± 8,55			
	T	0,005 Aa	0,008 Ba	0,004 Aa	0,006
	AC	0,005 Ab	0,089 Aa	0,004 Ab	0,033
	AQ	0,001 Aa	0,011 Aba	0,020 Aa	0,011
	AC+AQ	0,001 Aa	0,004 Ba	0,003 Aa	0,003
	Média	0,003	0,028	0,008	0,013 ± 0,008
C-MOP _G	Mata	3004 ± 380			
	T	383 Aa	439 Ba	385 Aa	402
	AC	650 Aab	904 Aba	321 Ab	625
	AQ	292 Aa	626 Aba	501 Aa	473
	AC+AQ	522 Ab	1185 Aa	210 Ab	639
	Média	462	789	354	535 ± 96
C-MOP _F	Mata	6,161 ± 2,233			
	T	2,777 Aa	3,149 Aa	3,458 Aa	3,128
	AC	3,070 Aa	3,228 Aa	3,121 Aba	3,140
	AQ	2,443 Aab	3,581 Aa	1,631 Bb	2,552
	AC+AQ	2,556 Aa	3,504 Aa	2,100 Aba	2,720
	Média	2,712	3,365	2,577	2,885 ± 199
C-MAM	Mata	124,113 ± 11,312			
	T	22,206 Ba	30,184 Aa	24,679 Aa	25,690
	AC	24,957 ABb	35,623 Aa	33,707 Aab	31,429
	AQ	28,344 Aba	34,422 Aa	34,425 Aa	32,397
	AC+AQ	34,941 Aa	40,714 Aa	33,835 Aa	36,497

	Média	27,612	35,236	31,661	31,503 ± 2,390
Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; A C+AQ = adubação orgânica + química; MOL-L = matéria orgânica leve livre; MOL-O = matéria orgânica leve oclusa; MOP-G = matéria orgânica particulada grossa; MOP-F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; ± = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.					

Tabela 8 - Estoques de nitrogênio em frações da matéria orgânica, na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita					
Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
N-MOL+MOP		(kg ha ⁻¹)			
	Mata	476,47 ± 202,15			
	T	50,69 Aa	68,42 Aa	59,16 Aa	59,42
	AC	70,84 Aa	128,09 Aa	88,53 Aa	95,82
	AQ	55,58 Ab	128,18 Aa	49,94 Ab	77,90
	AC+AQ	123,23 Aa	124,09 Aa	97,32 Aa	114,88
Média	75,09	112,19	73,74	87,01 ± 15,18	
N- MOL _{-L}	Mata	10,88 ± 16,86			
	T	0,14 Aa	1,80 Ba	0,91 Aa	0,95
	AC	0,79 Ab	7,78 Aa	2,65 Ab	3,74
	AQ	0,16 Ab	9,02 Aa	1,35 Ab	3,51
	AC+AQ	0,53 Aa	1,87 Ba	1,54 Aa	1,31
	Média	0,41	5,12	1,61	2,38 ± 1,39
N-MOL _{-o}	Mata	0,93 ± 0,74			
	T	2,69x10 ⁻⁰⁴ Aa	3,02 x10 ⁻⁰⁴ Ba	2,30 x10 ⁻⁰⁴ Aa	2,67 x10 ⁻⁰⁴
	AC	2,43 x10 ⁻⁰⁴ Ab	4,00 x10 ⁻⁰³ Aa	1,92 x10 ⁻⁰⁴ Ab	1,48 x10 ⁻⁰³
	AQ	7,94 x10 ⁻⁰⁶ Aa	7,46 x10 ⁻⁰⁴ ABa	6,70 x10 ⁻⁰⁴ Aa	4,75 x10 ⁻⁰⁴
	AC+AQ	7,35 x10 ⁻⁰⁵ Aa	1,59 x10 ⁻⁰⁴ Ba	1,44 x10 ⁻⁰⁴ Aa	1,26 x10 ⁻⁰⁴
	Média	1,48 x10 ⁻⁰⁴	1,30 x10 ⁻⁰³	3,09 x10 ⁻⁰⁴	5,86 x10 ⁻⁰⁴ ± 5,21 x10 ⁻⁰⁴
N-MOP _G	Mata	148,34 ± 23,38			
	T	17,24 Ba	28,69 Aa	19,19 Aa	21,71
	AC	25,55 Aba	46,11 Aa	30,94 Aa	34,20
	AQ	19,38 Ba	31,83 Aa	16,44 Aa	22,55
	AC+AQ	45,51 Aa	45,56 Aa	36,63 Aa	42,57
	Média	26,92	38,05	25,80	30,26 ± 5,33
N-MOP _F	Mata	217,47 ± 84,48			
	T	33,30 Aa	37,93 Aa	39,06 Aa	36,76
	AC	44,49 Aa	74,18 Aa	54,93 Aa	57,87
	AQ	36,03 Ab	87,33 Aa	32,15 Ab	51,84
	AC+AQ	77,19 Aa	76,65 Aa	59,15 Aa	71,00
	Média	47,75	69,02	46,32	54,37 ± 9,49
N-MAM	Mata	10.520,38 ± 1.609,25			
	T	1.721,22 Aa	2.126,14 Aa	1.820,88 Aa	1.889,41
	AC	2.106,38 Aa	2.661,83 Aa	2.561,90 Aa	2.443,37
	AQ	1.825,39 Aa	2.324,08 Aa	2.256,61 Aa	2.135,36
	AC+AQ	2.448,39 Aa	2.914,87 Aa	2.392,45 Aa	2.585,24
	Média	2.025,34	2.506,73	2.257,96	2.263,35 ± 172,51

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_{-L} = matéria orgânica leve livre; MOL_{-O} = matéria orgânica leve oclusa; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; ± = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

Os estoques de C (149,45 kg ha⁻¹) e N (7,78 kg ha⁻¹) na MOL_{-L} proporcionados por AC (cama de aviário) sob a braquiária (B), refletem na manutenção da produtividade dos sistemas de manejo, podendo ser considerada prática eficiente na melhoria da qualidade do solo. Borges (2013) observou maior produção de matéria seca por forrageiras em área recuperada após mineração quando da utilização de cama de aviário. Esse mesmo autor verificou que, além de contribuir com o aporte de matéria orgânica, a adubação orgânica aplicada em plantio de forrageiras, reduziu as perdas de solo e água em 70,1% e 61,9%, respectivamente. Tais resultados confirmam a adubação orgânica como estratégia de manejo importante para a melhoria da qualidade do solo.

Entretanto, a adubação química (AQ) sob B proporcionou estoques superiores de C (172,36 kg ha⁻¹) e equivalentes de N (9,02 kg ha⁻¹) ao da mata nativa (C = 171,88 kg ha⁻¹; N = 10,88 kg ha⁻¹) na MOL_{-L}. De certa forma, as adubações AC e AQ contribuíram para o estabelecimento da braquiária, promovendo o seu rápido estabelecimento nessas áreas, formando um sistema radicular abundante (Tabela 6), favorecendo o incremento de C e N na MOL_{-L} pela grande quantidade de resíduos, especialmente raízes aportadas ao solo. Dentre as frações leves (MOL_{-L} e MOL_{-O}), a MOL_{-L} foi a que apresentou maiores estoques de C e N, representando, respectivamente, em média 0,12% e 0,09% dos estoques totais do solo (Figura 4).

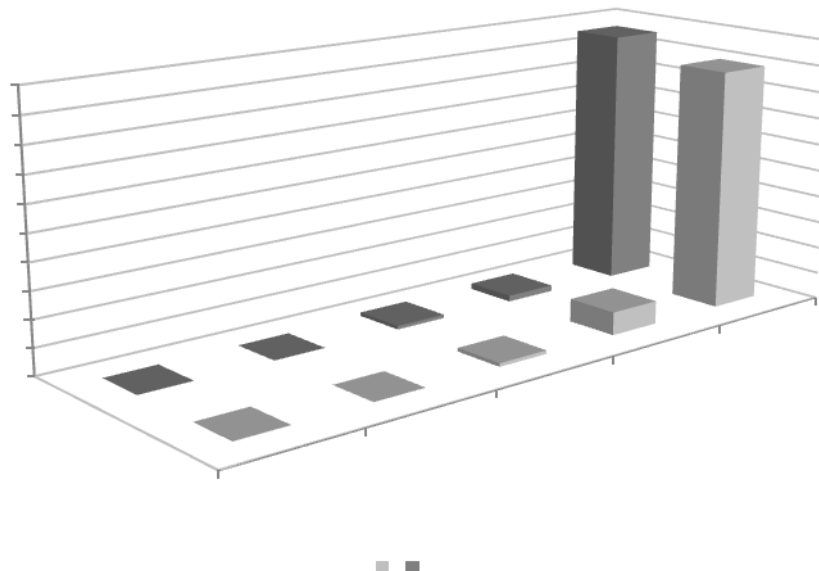


Figura 4 - Proporção de carbono e nitrogênio da matéria orgânica leve livre (MOL_L), matéria orgânica leve oclusa (MOL_O), matéria orgânica particulada grossa (MOP_G), matéria orgânica particulada fina (MOP_F) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM) de área minerada em recuperação com café e plantas intercalares sob diferentes adubações.

A fração leve livre (FLL) constitui o compartimento orgânico mais sensível à degradação do solo pelo cultivo (Freixo et al., 2002), podendo ser considerada um indicador precoce do declínio da matéria orgânica do solo (Six et al., 2002; Wu et al., 2004; Lima et al., 2008; Pulrolnik et al., 2009; Santos et al., 2013). Segundo Pinheiro et al. (2004), as variações do conteúdo das FLL e FLO são resultantes das mudanças na quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados ao solo, da relação entre a entrada por superfície e subsuperfície desses resíduos e, principalmente das diferentes formas de manejo adotadas. Santos et al. (2011) observaram que, na camada superficial da entrelinha de sistemas florestais, maiores teores de COT, NT, MOL_L, MOL_O e MAM foram encontrados, justificados possivelmente pelo maior aporte de resíduo culturais. Maiores estoques de C e N na MOL_L, encontrados na camada superficial (0-20 cm) nas áreas estudadas neste trabalho, reforçam a contribuição do sistema radicular das espécies gramíneas utilizadas nos sistemas de manejo implantados (Tabela 6), pelo aporte de matéria orgânica na superfície e redistribuição em subsuperfície (Pillon et al., 2011).

Os estoques de C e N da matéria orgânica leve oclusa (MOL_O), para os tipos de adubação foram estatisticamente iguais sob as áreas SP e E, o que não ocorreu para as adubações AC e AQ, sendo superiores às demais quando aplicadas

sob B ($C = 0,089 \text{ kg ha}^{-1}$; $0,011 \text{ kg ha}^{-1}$) e N ($4,00 \times 10^{-03} \text{ kg ha}^{-1}$; $7,46 \times 10^{-04} \text{ kg ha}^{-1}$). Entretanto, a MOL-O mostrou-se um indicador pouco sensível ao manejo empregado na recuperação da área minerada ($C = 0,00003\%$; $N = 0,00002\%$), em comparação a MOL-L (Figura 4). Comportamento semelhante foi relatado por Lima et al. 2008 e Pulrolnik et al. 2009. Esse fato pode ser atribuído ao tempo de implantação dos sistemas de manejo, não tendo sido suficiente para os mecanismos de oclusão da matéria orgânica atuarem no sistema solo, ou, então, pode ser explicado, a partir das alegações de Conceição et al., (2008; 2014), os quais afirmam que a utilização de NaI é menos eficiente na recuperação da fração leve oclusa (intra-agregados) da matéria orgânica do solo em comparação a outros compostos como o politungstato de sódio $[(\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}))]$.

Na matéria orgânica particulada grossa (MOP_G), o estoque de C foi estatisticamente igual para os tipos de adubações sob as áreas SP e E, entretanto, sob a área B, onde foram aplicadas as adubações AC e AQ, não foi observado diferenças em relação a AC+AQ, como também foram equivalentes a testemunha (T). A área com braquiária em todos os tipos de adubações apresentou resultados superiores a SP e E. O estoque de N na MOP_G para as adubações foi estatisticamente igual sob as áreas B e E, sendo que sob a testemunha, os tratamentos com adubação com cama de aviário AC e AC+AQ foram superiores a AQ e T.

Os estoques de C na matéria orgânica particulada fina (MOP_F) foram estatisticamente iguais para os tipos de adubações sob as áreas SP e E, com a testemunha não diferindo de AC e AC+AQ, sendo superior a AQ. O estoque de N na MOP_F foi estatisticamente igual para as adubações sob todas as coberturas do solo. Os estoques de C e N para as coberturas do solo diferiram estatisticamente apenas sob AQ, com B sendo equivalente a SP, e por sua vez também equivalente a E. De modo geral, a MOP_G apresentou estoques de C (535 kg ha^{-1}) e N ($30,26 \text{ kg ha}^{-1}$) inferiores a MOP_F ($C = 2.885 \text{ kg ha}^{-1}$; $N = 54,37 \text{ kg ha}^{-1}$), apresentando respectivamente as seguintes proporções no solo ($C\text{-MOP}_G = 1,31\%$; $N\text{-MOP}_G = 1,30\%$; $C\text{-MOP}_F = 8,60\%$; $N\text{-MOP}_F = 2,24\%$). As diferenças de proporção entre as frações particuladas observadas nesse estudo poderiam estar relacionadas aos mecanismos de estabilização química da matéria orgânica, ou, por assim dizer, ao grau de humificação da matéria orgânica contida nessas frações. Segundo Rossi et al. (2012), o acúmulo de carbono na fração particulada assim como na fração leve, está intimamente associado com o aporte recente de material vegetal, o que corrobora

com a atuação da braquiária na manutenção desse estoque. De acordo com esse mesmo autor, a fração particulada pode ser um parâmetro eficaz em demonstrar diferenças entre sistemas de manejo.

Na matéria orgânica associada aos minerais (MAM) os estoques de C foram estatisticamente iguais para as adubações sob as coberturas B e E. A adubação AC+AQ apresentou o maior valor, mas estatisticamente não diferiu de AC e AQ, as quais apresentaram valores equivalentes à testemunha (T). Os estoques de C para as coberturas do solo apresentaram diferenças estatísticas apenas sob AC, com a cobertura B não diferindo de E e esta não diferindo da área SP. Os estoques de N na MAM não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,1$) entre as adubações sob as coberturas do solo e vice-versa.

De modo geral, a distribuição do C e N nos diferentes compartimentos da matéria orgânica (MOL, MOP e MAM), apresenta-se em menores proporções nas frações mais lábeis (MOL+MOP), refletindo na dinâmica e disponibilidade desses nutrientes no solo (C = 10,0%; N = 3,60%), comparativamente aos maiores estoques na MAM (C = 90,0%; N = 96,4%), cuja dinâmica estaria intimamente relacionada à textura (Feller e Beare, 1997; Freixo et al., 2002). A interação entre os complexos organo-minerais também estaria diretamente relacionada com a superfície das partículas minerais. Segundo Campos (2003), quanto maior a superfície específica da partícula, maior é a sua capacidade de interagir com a matéria orgânica. A grande proporção de C e N nessa fração também pode ser associado ao aporte de matéria orgânica, principalmente por parte da braquiária (Tabela 6), com relatado por Carmo et al. (2012).

Santos et al. (2011) observaram em área de campo nativo maiores teores de carbono associado aos minerais, relacionando esse efeito aos mecanismos de proteção química da matéria orgânica com os teores de argila. Solos com baixos teores de argila tem menor proteção da matéria orgânica e baixa capacidade da fração mineral em manter um estoque relativo de carbono na MAM, impondo uma certa condição de vulnerabilidade ao sistema de manejo empregado (Santos et al., 2013). Todavia, a maior proporção de C e N na MAM indica que os mecanismos complexação têm maior relevância diante do mecanismo de oclusão (MOL-o; COT = 0,00003%; NT = 0,00002%), demonstrando ser essa fração mais estável às mudanças decorrentes do manejo, com pronunciada importância na estocagem e disponibilidade de C e N do solo.

Avaliando a relação C:N, houve grande variação entre os efeitos dos tipos de adubação e coberturas do solo na MOL-L e MOL-O (Tabela 9). O valor da relação C:N na MOL-L para adubação com cama de aviário foi inferior a testemunha sob a área SP. Entretanto sob a área B, a testemunha apresentou valor superior de relação C:N, sendo as adubações não diferindo estatisticamente. Na área E, a testemunha apresentou valor superior de C:N e AC+AQ o menor valor, com AC e AQ não diferindo estatisticamente. Observa-se a partir desses resultados, que, quando se aplicam adubos, principalmente aqueles ricos em N, em área sem planta, o efeito na relação C:N está associado à disponibilidade de nutrientes para a microbiota do solo pela aplicação dos adubos. Entretanto, quando se aplica em área com plantas que aportam grande quantidade de biomassa, ocorre a manutenção ou estabilização dessa relação entre C e N pela microbiota do solo, o que pode ser atribuído à qualidade dos resíduos aportados por essas gramíneas. De acordo com Wendling et al. (2011), apesar da braquiária apresentar resíduos com elevada relação C:N ($\cong 32$, Souza et al., 1999), presume-se que as adubações proporcionaram maior disponibilidade de N a atividade microbiana, o que contribuiu para a redução da relação C:N $\cong 20$. Mesmo com essa redução, o que conduziria a uma rápida mineralização de C e N, não houve perda pronunciada desses estoques, e sim uma recuperação dos estoques pelo maior aporte de resíduos orgânicos (Tabela 5 e 6).

O valor da relação C:N na MOL-O para adubação química (AQ) foi superior a AC+AQ sob a área SP. Entretanto sob a área B, a adubação AC+AQ apresentou valor superior de relação C:N e AQ valor inferior. Na área E, AQ apresentou valor superior e a testemunha valor inferior de C:N. De modo geral, a relação C:N da MOL-O foi maior que a MOL-L, indicando a baixa intervenção do microrganismos na decomposição desse material, ocasionada pelo processo de oclusão, ou seja, pela proteção física da matéria orgânica no interior de agregados.

A relação C:N na MOP_G para os tipos de adubação não diferiram estatisticamente sob as áreas SP e B, sendo que em E, AQ apresentou maior valor não diferindo de AC e T. A adubação AC+AQ apresentou menor relação C:N, não diferindo de AC e T. A menor relação C:N na MOP_G, estaria relacionada à maior suscetibilidade dessa fração a microbiota do solo e a maior relação C:N observada na MOP_F, o que pode estar relacionado à recalcitrância do material, dificultando a decomposição por microrganismos.

Tabela 9 - Relação C:N das frações da matéria orgânica, na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
C:N-MOL+MOP	Mata	25,36 ± 2,7			
	T	62,42 Aa	53,92 Aa	62,30 Aa	59,55
	AC	52,18 ABa	33,10 Aa	39,64 ABa	41,64
	AQ	48,82 ABa	50,88 Aa	46,93 ABa	48,87
	AC+AQ	24,68 Ba	42,73 Aa	23,84 Ba	30,41
	Média	47,02	45,16	43,17	45,12 ± 5,4
C:N-MOL _L	Mata	15,80 ± 0,00			
	T	24,50 Ab	33,64 Aa	20,28 Ac	26,14
	AC	13,30 Dc	19,20 Ba	16,98 Bb	16,49
	AQ	22,00 Ba	19,12 Bb	17,09 Bb	19,40
	AC+AQ	16,66 Cb	19,51 Ba	12,89 Dc	16,35
	Média	19,11	22,86	16,81	19,60 ± 2,00
C:N-MOL _O	Mata	11,52 ± 0,00			
	T	18,73 Cb	27,43 Ba	18,45 Dc	21,53
	AC	22,00 Bc	22,15 Ca	22,08 Bb	22,08
	AQ	147,00 Aa	14,53 Dc	30,35 Ab	63,96
	AC+AQ	14,84 Dc	28,03 Aa	21,99 Cb	21,62
	Média	50,64	23,04	23,22	32,30 ± 11,00
C:N-MOP _G	Mata	21,23 ± 0,005			
	T	21,62 Aa	15,77 Aa	20,47 ABa	17,72
	AC	25,76 Aa	21,94 Aa	10,10 ABa	22,72
	AQ	14,97 Aa	24,32 Aa	32,12 Aa	16,46
	AC+AQ	13,11 Aab	29,97 Aa	6,26 Bb	25,07
	Média	21,08	17,40	23,00	19,70 ± 2,00
C:N-MOP _F	Mata	28,86 ± 0,003			
	T	84,61 Aa	82,57 Aa	84,02 Aa	83,73
	AC	71,27 ABa	43,22 Aa	61,74 ABa	58,74
	AQ	67,76 ABa	71,33 Aa	56,43 ABa	65,17
	AC+AQ	37,32 Ba	51,19 Aa	37,38 Ba	41,96
	Média	65,24	62,07	59,89	62,40 ± 8,00
C:N-MAM	Mata	11,86 ± 0,001			
	T	12,96 Ba	14,60 Aa	13,97 Aa	13,85
	AC	12,10 Ba	13,44 Aa	13,33 Aa	12,96
	AQ	15,85 Aa	15,45 Aa	15,37 Aa	15,55
	AC+AQ	14,35 ABa	13,99 Aa	14,40 Aa	14,25
	Média	13,81	14,37	14,27	14,15 ± 0,50

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_L = matéria orgânica leve livre; MOL_O = matéria orgânica leve oclusa; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; ± = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

A relação C:N na MOP_F a adubação AC+AQ apresentou o menor valor em relação a AC e AQ, que não diferiram da testemunha sob as áreas SP e E. Não houve diferença estatística para as adubações sob a área B.

No presente estudo, foram observados na MOP_G valores em torno de 19, semelhantes aos encontrados por Feller e Beare (1997), entretanto, a MOP_F apresentou relação C:N maior ($\cong 62$).

De modo geral, dentre as frações, a MAM foi a que apresentou as menores relações C:N (Tabela 9). Na MAM, as relações C:N para as adubações AQ e AC+AQ apresentaram os maiores valores em relação a AC e T sob a área SP. Nas áreas B e E, os tipos de adubações não diferiram estatisticamente. A matéria orgânica associada à fração argila, chamada de complexo organo-argiloso, apresenta relação C:N variando de 7 a 12 (Feller e Beare, 1997; Freixo et al., 2002). Neste estudo, o valor médio da relação C:N na fração fina foi de 14. Apesar do baixo valor da relação C:N, o que indicaria maior disponibilidade desses nutrientes as plantas e aos microrganismos, pode-se dizer que esta fração é a mais estável as mudanças decorrentes do manejo adotado, além de um importante acumulador de carbono e nitrogênio do solo.

3.3. $\delta^{13}\text{C}$ e participação do C introduzido nas frações da matéria orgânica do solo

Os valores da $\delta^{13}\text{C}$ observados na matéria orgânica leve livre (MOL-L) mantiveram-se dentro dos padrões das plantas de metabolismo C3 e C4, como pode ser observado pela contribuição percentual, em média -22,32‰, para C3, e -15,14‰ para C4 (Tabela 10). Segundo Smith e Epstein (1971), a assinatura isotópica natural de plantas de ciclo fotossintético C3 encontra-se entre -32‰ e -22‰, em média de -27‰, enquanto para plantas de ciclo C4 está entre -17‰ e -9‰, em média de -13‰.

Os valores observados da $\delta^{13}\text{C}$ na MOL-L não refletiram mudanças no C antigo pelo novo, ou da estrutura das vegetações, devido a contínua incorporação de resíduos orgânicos ao solo, mesmo nos tratamentos sem adubação (T/SP, T/B e T/E) (Tabela 10), que de certa forma desfavoreceria o desenvolvimento das culturas pela ausência de reposição nutricional. Atribui-se esse comportamento a composição da MOL-L que é formada por fragmentos de raízes, sementes, folhas, galhos em estágio

menos avançado de decomposição. Segundo Christensen (2000) essa fração é a que apresenta maior variabilidade espacial e sazonal, pois está diretamente ligada ao suprimento de resíduos orgânicos do sistema solo.

Nas frações granulométricas também denominadas de frações pesadas (MOP_G , MOP_F e MAM), como visto anteriormente, são encontrados os maiores estoques de C e N no solo e, cuja interação está diretamente relacionada com o tamanho das partículas e com o grau de humificação dos compostos orgânicos. Os compostos mais humificados apresentam maior complexidade bioquímica, os quais, juntamente com a associação com as frações coloidais (silte e argila), dificulta sua decomposição por microrganismos e favorece sua estabilização no solo (Six et al., 2002). Verificou-se que nas três frações (MOP_G , MOP_F e MAM), as áreas sem adubação (T) com braquiária (B) apresentaram maiores porcentagem de C derivado de plantas C3 ao invés de C4 (Tabela 10), ou seja, os valores de $\delta^{13}C$ deveriam ser maiores (menos negativos). Tais resultados demonstram a capacidade dessas frações, mesmo aquelas cujas interações com os compostos orgânicos naturalmente são mais fracas, como a MOP_G e MOP_F , em preservar o C da vegetação anterior ao processo de lavra da área minerada, composta por mata nativa. Tal fato pode ser atribuído a grande quantidade de biomassa aportada ao solo pela braquiária mesmo na ausência de adubação. A baixa relação C:N ($\cong 20$) do material vegetal também pode favorecer uma maior atuação da população microbiana sobre o C adicionado pelas plantas de cobertura (C-Lábil), preservando os estoques de C existentes no solo antes da mineração. De acordo com Rossi et al. (2012), o acúmulo de carbono na fração particulada está intimamente associado com o aporte recente de material vegetal, o que corrobora com a maior quantidade de biomassa acumulada pela braquiária (B).

Da mesma forma na MOP_G , nas áreas sem planta de cobertura (SP), onde se aplicou AC+AQ, a grande quantidade de N adicionado ao solo pode ter favorecido a permanência do C derivado da mata nativa (C3). Outra informação relevante obtida no tratamento AC+AQ nas áreas SP, é que, os maiores valores (menos negativos) de $\delta^{13}C$ demonstram que antes da mineração e introdução de cafeeiro, também houve presença de gramíneas forrageiras nesta área. Segundo Borges (2013) as pastagens da região não são manejadas adequadamente e normalmente são infestadas por plantas daninhas do grupo C₃, o que poderia estar contribuindo para tornar a $\delta^{13}C$ próxima da encontrada na mata nativa.

Tabela 10 - Abundância natural de ^{13}C e contribuição percentual do C orgânico originário de plantas C3 e C4 nas frações da matéria orgânica, na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Fração	Tratamento	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	C derivado de plantas C3 %	C derivado de plantas C4 %
MOL _L	Mata	-23,97	-	-
	Café T/SP	-22,05	83,92	16,08
	Café T/B	-16,43	37,02	62,98
	Café T/E	-23,40	95,22	4,78
	Café AC+AQ/SP	-20,93	74,56	25,44
	Café AC+AQ/B	-13,85	15,42	84,58
	Café AC+AQ/E	-22,90	91,01	8,99
MOP _G	Mata	-23,94	-	-
	Café T/SP	-20,69	72,78	27,22
	Café T/B	-19,75	64,91	35,09
	Café T/E	-21,56	80,04	19,96
	Café AC+AQ/SP	-16,06	34,02	65,98
	Café AC+AQ/B	-14,03	16,97	83,03
	Café AC+AQ/E	-21,84	82,40	17,60
MOP _F	Mata	-23,79	-	-
	Café T/SP	-21,59	81,38	18,62
	Café T/B	-20,03	68,12	31,88
	Café T/E	-20,54	72,43	27,57
	Café AC+AQ/SP	-19,36	62,46	37,54
	Café AC+AQ/B	-15,50	29,68	70,32
	Café AC+AQ/E	-21,23	78,29	21,71
MAM	Mata	-23,63	-	-
	Café T/SP	-20,38	72,10	27,90
	Café T/B	-20,17	70,28	29,72
	Café T/E	-20,82	75,85	24,15
	Café AC+AQ/SP	-20,35	71,83	28,17
	Café AC+AQ/B	-19,27	62,55	37,45
	Café AC+AQ/E	-20,73	75,09	24,91

Matéria orgânica leve livre (MOL_L), matéria orgânica particulada grossa (MOP_G), matéria orgânica particulada fina (MOP_F) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM).

O desbalanço provocado pela mineração no sistema solo mostra-se reversível com o desenvolvimento da vegetação e aumento do tempo de reabilitação, sendo este considerado um fator-chave na recuperação de atributos orgânicos do solo (Carneiro et al., 2008). Em curto prazo, alterações na proporção das frações lábeis da matéria orgânica, como a MOL_L e MOL_O, podem fornecer informações importantes sobre a sustentabilidade ambiental e sobre a qualidade do solo,

permitindo correções nas estratégias de uso e de manejo adotadas (Santos et al., 2013).

A aplicação de corretivos e fertilizantes proporcionou o bom desenvolvimento das forrageiras na entrelinha do café, principalmente a braquiária, com abundante sistema radicular, podendo representar uma opção para a sustentabilidade do sistema pelo condicionamento dos atributos orgânicos do solo em áreas de exploração mineral. Entretanto, o uso de leguminosa forrageira como o estilodonta, apesar das limitações impostas pelo crescimento mais lento, menor produção de biomassa de parte aérea e raízes e perenização limitada pelo ressemeio natural, pode contribuir com a fixação simbiótica de N_2 no longo prazo. Dentre os atributos orgânicos avaliados, em virtude da maior sensibilidade, o estoque da $MOL-L$ foi e pode ser usado como indicador da interferência do sistema de manejo adotado na recuperação de áreas mineradas.

4. CONCLUSÕES

As adubações aplicadas (AC, AQ e AC+AQ) contribuíram para o melhor desenvolvimento das plantas de cobertura introduzidas nas entrelinhas do cafeeiro, com destaque para a adubação orgânica + química (AC+AQ).

Quando as adubações são aplicadas nas áreas de café consorciado com braquiária proporcionam maiores estoques de carbono e nitrogênio no solo, assim, como nos compartimentos da matéria orgânica do solo.

O $C-MOL-L$ e $N-MOL-L$ foram os compartimentos mais sensíveis aos sistemas de manejo implantados na reabilitação da área minerada.

A composição isotópica do C nas frações MOP_G , MOP_F e MAM mostraram que mesmo com o impacto causado pela mineração, o carbono original do solo na fase pré- mineração foi preservado, demonstrando serem indicadores de qualidade do solo sensíveis às mudanças decorrentes do manejo adotado, contribuindo para a resiliência do ambiente edáfico.

De modo geral, as forrageiras cultivadas em consórcio com cafeeiro nas áreas mineradas de bauxita melhoraram os atributos orgânicos do solo em curto prazo, principalmente, com o uso da braquiária, podendo representar uma opção para a sustentabilidade do sistema pelo condicionamento dos atributos orgânicos do solo em áreas de exploração mineral.

REFERÊNCIAS

- BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; NEILL, C.; MORAES, J.F.L. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. **Geoderma**, v. 82, p. 43-58, 1998.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agriculture Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- BORGES, S.R. **Qualidade do Solo em Áreas em Recuperação com Forrageiras e Cafeeiro Pós-Mineração de Bauxita**. 2013. 123 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.
- CAMPOS, D.V.B. **Uso da técnica de ^{13}C e fracionamento físico da matéria orgânica em solos sob cobertura de pastagens e cana-de-açúcar na região da mata atlântica**. 2003. 175 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2003
- CARMO, F.F.; FIGUEIREDO, F.F.; RAMOS, M.L.G.; VIVALDI, L.J.; ARAÚJO, L.G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 420-431. 2012.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; SOARES, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronosseqüências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 621-632, 2008.
- CAROLINO DE SÁ, M.A. **Quantificação da energia para dispersão dos agregados de Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada**. 1998. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1998.
- CHRISTENSEN, B.T. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish Arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 35, p. 175-187, 1985.
- CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tijele: DIAS, (DIAS Report. **Plant Production**, 30), 2000.
- CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 541-549, 2008.
- CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; SANTOS, D.C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p.794-800, maio, 2014.

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

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

FELLER, C., BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116. 1997.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotecnológica**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FREIXO, A.A., MACHADO P.L.O.A., GUIMARÃES C.M., SILVA C.A., FADIGAS F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 425-464. 2002.

GUIMARÃES, G.P.; SÁ MENDONÇA, E.; PASSOS, R.R.; ANDRADE, F.V. Stocks and oxidizable fractions of soil organic matter under organic coffee agroforestry systems. **Coffee Science** v. 9, n. 1, p. 132-141, jan./mar. 2014.

GREGORICH, E.G.; KACHANOSKI, R.G.; VORONEY, R.P. Ultrasonic 74 Fracionamento Físico do Solo em Estudos da Matéria Orgânica dispersion of aggregates: distribution of organic matter in size fractions. **Canadian Journal Soil Science**, v. 68, p. 395-403, 1988.

GREGORICH, E.G.; KACHANOSKI, R.G. & VORONEY, R.P. Carbon mineralization in Soil size fractions after various amounts of aggregate disruption. **Journal Soil Science**, v. 40, p. 649 659, 1989.

LEITE, L. F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 821-832, 2003.

LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R. ; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; SÁ MENDONÇA, E.; DEMOLINARI, M.S.M.; LEITE, F.P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no vale do rio doce-mg. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1053-1063, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v.39, p. 1067 – 1072, 2009.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **IDESIA**, v. 29, p. 11-19, 2011.

NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2425-2433, 2008.

NETO, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A.; MAFRA, A.L.; MEDEIROS, J.C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 1379-1388, 2008.

NETO, F.A.; LEITE, L.F.C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G.A.; CARNEIRO, R.F.V. Compartimentos de carbono em latossolo vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 849-856, 2011.

PESSOA, P.M.A.; DUDA, G.P.; BARROS, R.B.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; CORREA, M.M. Frações de carbono orgânico de um Latossolo Húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 97-104, 2012.

PILLON, C.N.; SANTOS, D.C.; LIMA, C.L.R.; ANTUNES, L. O. Carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho sob floresta, pastagem e mata nativa. **Ciência Rural**, v.41, n.3, p.447-453, mar, 2011.

PINHEIRO, E.F.M., PEREIRA, M.G., ANJOS, L.H.C., MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 731-737. 2004.

PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

REIS, L. L. **Monitoramento da Recuperação Ambiental de Áreas de Mineração de Bauxita na Floresta Nacional de Sacará-Taquera, Porto Trombetas (PA)**. 2006. 159 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 38-46, jan-mar, 2012.

SAHRAWAT, K.L. Assay of nitrogen supplying capacity of tropical Rice soils. **Plant Soil**, v. 65, p. 111 – 121, 1982.

SÁ, M.A.C.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; DIAS JUNIOR, M.S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 525-531, jul./set. 1999.

SANTOS, D.C.; PILLON, C.N.; FLORES, C.A.; LIMA, C.L.R.; CARDOSO, E.M.C.; PEREIRA, B.F.; MANGRICH, A.S. Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um argissolo vermelho sob sistemas de uso no bioma pampa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1735-1744, 2011.

SANTOS, D.C.; FARIAS, M.O.; LIMA, C.L.R.; KUNDE, R.J.; PILLO, C.N.; FLORES, C.A. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 838-844, 2013.

SCHWENKE, G.D.; MULLIGAN, D.R.; BELL, L.C. Soil stripping and replacement for the rehabilitation of bauxite-mined land at Weipa. I. Initial changes to soil matter and related parameters. **Australian Journal Soil Research**, v. 38, p. 345- 369, 2000a.

SCHWENKE, G.D.; AYRE, L.; MULLIGAN, D.R.; BELL, L.C. Soil stripping and replacement for the rehabilitation of bauxite-mined land at Weipa. II. Soil organic matter dynamics in mine. **Australian Journal Soil Research**, v. 38, p. 371-393, 2000b.

SCHWENKE, G.D.; MULLIGAN, D.R.; BELL, L.C. Soil stripping and replacement for the rehabilitation of bauxite-mined land at Weipa. III. Simulated long-term soil organic matter development. **Australian Journal Soil Research**, v. 38, p. 395-410, 2000c.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a Tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v. 162, p. 795–807, 1997.

SILVA, L.C.R.; CORRÊA, R.S. Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no cerrado revegetada com *Stylosanthes* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.835–841, 2010.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant Soil**, v. 241, p. 155–176, 2002.

SMITH, B.N.; EPSTEIN, S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. **Plant Physiology**, v. 47, p. 380–384, 1971.

SOHI, S.P.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S., MADARI, B.; GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modelling. **Soil Science Society America Journal**, v. 65, p. 1121-1128, 2001.

SOUZA, L.S.; VELINI, E.D.; MAIMONI-RODELLA, R.C.S; MARTINS, D. Teores de macro e micronutrientes e a relação c/n de várias espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.17, p. 163-167, 1999.

TEDESCO, H.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Rio Grande do Sul, 1985.

TRINDADE, A.V.; GRAZZIOTTI, P.H.; TÓTOLA, M.R. Utilização de características microbiológicas na avaliação da degradação ou recuperação de uma área sob mineração de ferro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 683-688, 2000.

VALADÃO, F.C.A.; MAAS, K.D.B.; WEBER, O.L.S.; JÚNIOR, D.D.V.; SILVA, T.J. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. :2073-2082, 2011.

VITORELLO, V.A.; CERRI, C.C.; ANDREAUX, F.; FELLER, C.; VICTORIA, R.L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated Oxisols. **Soil Science Society America Journal**, v. 53, p. 773-778, 1989.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; VINHAL-FREITAS, C. Mudanças no carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica sob sistema agrossilvipastoril. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 641-653, 2011.

WU, T.; SCHOENAU, J.J.; LI, F.; QIAN, P.; MALHI, S.S.; SHI, Y. & XU, F. Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China. **Soil Tillage Research**, v. 77, p. 59-68, 2004.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v. 19, p. 1467 – 1476, 1988.

CAPÍTULO II

AGREGAÇÃO E ATRIBUTOS ORGÂNICOS DE SOLO EM REABILITAÇÃO PÓS-MINERAÇÃO COM DIFERENTES ADUBAÇÕES E PLANTAS DE COBERTURA

RESUMO

O uso do solo pelas atividades extrativas acarreta em grande mobilização da superfície, o que provoca a desestruturação do solo e exposição aos agentes erosivos, além de promover a oxidação de compostos orgânicos e perdas de nutrientes por lixiviação e erosão. Objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes tipos de adubação e cobertura do solo sobre a estabilidade e os atributos orgânicos de classes de agregados do solo de área em reabilitação pós-mineração de bauxita. Amostras de solo na camada de 0 – 20 cm foram coletadas em área em reabilitação com cafeeiro sob quatro tipos de adubações: sem adubação (T), orgânica (AC), química (AQ) e química + orgânica (AQ+AC) e três tipos de cobertura vegetal nas entrelinhas do cafeeiro: sem planta (SP), braquiária (B) e estilosantes (E). Foram determinados índices de agregação (diâmetro médio ponderado-DMP, diâmetro médio geométrico-DMG, percentagem de agregados > 2 mm estáveis em água-AGRI e o índice de estabilidade de agregados-IEA), além de atributos orgânicos em três classes de agregados: macroagregados (4,75 - 2,0 mm), mesoagregados (2,00 - 0,25 mm) e microagregados (0,25 - 0,053 mm). Nessas classes foram determinados: carbono orgânico e nitrogênio totais (COT e NT), lábil (COL e NL), da matéria orgânica leve (C-MOL_L e N-MOL_L), oclusa (C-MOL_O e N-MOL_O), particulada (C-MOP e N-MOP) e, associada aos minerais (C-MAM e N-MAM), relação C:N e índice de manejo de carbono (IMC). Constatou-se que a aplicação de cama de aviário nas áreas com braquiária (AC/B), dentre os tratamentos com adubação avaliados, foi o que melhor contribuiu para a agregação do solo, refletindo na maior percentagem de macroagregados, além da dinâmica do C e N nos compartimentos da matéria orgânica em diferentes classes de agregados. De modo geral as análises dos atributos orgânicos e parâmetros do estado de agregação do solo demonstraram ser propriedades eficientes na avaliação da qualidade do solo da área minerada em fase de reabilitação.

Palavras-chave: Bauxita, recuperação de áreas degradadas, agregação do solo.

1. INTRODUÇÃO

Os solos em sua condição natural apresentam diferentes graus de suscetibilidade à erosão decorrentes de suas propriedades químicas e físicas, tais como textura, porosidade, densidade do solo, estrutura, dentre outros (Demarchi et al., 2011). O conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) é aceito como agente de formação e estabilização dos agregados e, tamanha importância, têm sido evidenciada em diversas pesquisas (Fernández et al., 2010; Loss et al., 2011; Junior et al., 2012). O uso do solo pelas atividades mineradoras, principalmente pela grande mobilização de terra, além de provocar a desestruturação do solo e exposição aos agentes erosivos, promove aumento da oxidação de compostos orgânicos e perdas por lixiviação e erosão (Vasconcelos et al, 2010).

A formação e a estabilidade dos agregados são resultado da interação entre os processos físicos, químicos e biológicos no solo (Tisdall e Oades, 1982). Entretanto, a manutenção de um bom estado de agregação e estabilidade pode ser condicionada ao aporte de resíduos orgânicos que os sistemas de manejo são capazes de introduzir ao solo. Diversos parâmetros têm sido utilizados para avaliar ou refletir o estado de agregação do solo, dentre eles estão o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) (Kemper e Chepil, 1965), Índice AGRI (porcentagem de agregados com diâmetro superior a 2 mm) (Wendling et al., 2005) e o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA) (Castro Filho et al., 1998).

Segundo Fernández et al. (2010), ainda não é claro quais classes de agregados são responsáveis pelo maior acúmulo de C e em quais tipos de solos, camadas ou fatores nos manejos são decisivos nesse processo. Dessa forma, para o melhor entendimento da dinâmica dos atributos orgânicos do solo, pode-se separar os agregados em três classes: macroagregados (diâmetro $> 2,00$ mm), mesoagregados (diâmetro entre 2,00 e 0,25 mm) e microagregados (diâmetro entre 0,25 e 0,053 mm).

Na reabilitação de áreas degradadas pela mineração, visa-se não só promover o condicionamento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, mas ao mesmo tempo, devolver a capacidade produtiva original do sítio. Nos sistemas de consórcio de plantas forrageiras com café, a qualidade do solo pode ser modificada pela deposição e incorporação dos resíduos dessas plantas após o corte e

pela contínua exploração dos cafeeiros, de modo que, o sucesso do sistema de manejo irá depender do equilíbrio entre as interações (Ricci et al., 2005; Matos et al., 2008). Além disso, a aplicação de corretivos e fertilizantes também pode proporcionar o bom desenvolvimento das forrageiras na entrelinha do café, principalmente a braquiária, com seu abundante sistema radicular (Neto et al, 2008), o que pode representar uma opção para a sustentabilidade do sistema pelo condicionamento da estrutura e dos atributos orgânicos do solo em áreas mineradas em fase de reabilitação. Entretanto, o uso de leguminosas forrageiras, tal como o estilosantes, pode contribuir com a fixação simbiótica de N_2 no longo prazo (Nascimento et al., 2005; Silva e Corrêa, 2010).

Ainda não é clara a relação entre as classes de agregados e a dinâmica de acúmulo ou perda de MOS em função do uso e manejo do solo, especialmente em áreas drasticamente alteradas por atividade de mineração. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes tipos de adubação e plantas intercalares de cobertura do solo sobre a estabilidade e os atributos orgânicos em agregados do solo de área em reabilitação após a extração de bauxita.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado em condições de campo em propriedade localizada no município de São Sebastião da Vargem Alegre, na Zona da Mata de Minas Gerais, com coordenadas geográficas: 42°35'02,18" de longitude Oeste e 21°01'58,98" de latitude Sul, em área onde houve extração de bauxita, sob concessão da Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim Metais. O relevo da região é forte ondulado, a precipitação média anual é de 174 mm, concentrada entre os meses de outubro a janeiro, e a temperatura média anual é em torno de 25 – 32°C (Borges, 2013). O solo dominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). A área de reabilitação encontrava-se anteriormente ao processo de lavra ocupada com cultivo de cafeeiro com 10 anos de idade, implantado em área de pastagem, que por sua vez era coberta por vegetação nativa de Mata Atlântica, sendo minerada para bauxita nos anos de 2009 e 2010. Após o processo de lavra, a área foi

reconfigurada, o que consistiu em operações de subsolagem, recapeamento da área e construção de terraços em nível. O experimento de reabilitação da área minerada com cafeeiro foi instalado oito meses após a reconfiguração, sendo o plantio das mudas de cafeeiro (*Coffea arabica*, var. Catuaí vermelho IAC 144) realizado em sulcos com 0,4 m de profundidade e espaçados 2,0 m na perpendicular do terreno, em 01/02/2011. O plantio das sementes de braquiária e de estilosantes nas entrelinhas do cafeeiro foi feito manualmente, em quatro sulcos de 0,02 m de profundidade e espaçados 0,25 m, cobrindo uma faixa de 1,0 m da parte central da entrelinha, em 15/03/2011. O experimento vem sendo mantido há três anos e sete meses.

2.2. Tratamentos avaliados e coleta das amostras

O experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo os blocos experimentais alocados entre os terraços em nível. As parcelas possuíam tamanho 28 m x 14 m, as quais receberam os tratamentos com adubação de plantio (Tabela 1): T - sem adubação; AC - adubação orgânica, sendo 50 t ha⁻¹ (base seca) de cama de aviário, 1/2 dose aplicada no sulco de plantio e 1/2 a lanço na entrelinha; AQ - adubação química: 8 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com 80 % de PRNT foram aplicados, sendo 1/3 da dose no sulco de plantio e os 2/3 restantes nas entrelinhas. Também foram aplicados: 1,5 t ha⁻¹ de fosfato natural reativo Bayóvar no fundo do sulco e 0,70 t ha⁻¹ nas entrelinhas; e AC+AQ – adubação orgânica + adubação química.

No primeiro ano após a implantação dos cafeeiros foram feitas adubações de formação com adubos minerais nos tratamentos AC+AQ e AC, na linha de plantio, ao lado das plantas de café (Tabela 2). A partir do segundo ano as adubações de produção dos cafeeiros foram realizadas em cobertura nas linhas de plantio, debaixo da saia do cafeeiro utilizando fertilizante NPK 20-05-20 em doses similares (600 g planta⁻¹, dividida em duas aplicações na estação de crescimento) entre os tratamentos (Tabela 2), exceto na testemunha sem adubação.

Cada parcela era formada por três subparcelas, medindo 14 m x 7 m, as quais receberam os tratamentos: SP – subparcela mantida sem plantas de cobertura, ou seja, manteve-se a área limpa com aplicação de herbicida pré-emergente quando necessário; B – subparcela semeada com *Brachiaria brizantha*, cv. Piatã, na dose de

25 kg ha⁻¹ de sementes viáveis; E – subparcela com semeadura de estilosantes cultivar Campo Grande, que consiste numa mistura de sementes de duas espécies: 80 % de *Stylosanthes capitata* e 20 % de *Stylosanthes macrocephala*, na dose de 2,5 kg ha⁻¹ de sementes viáveis. As plantas de cobertura, após seu estabelecimento inicial, foram cortadas a 10 - 20 cm de altura com roçadeira manual a intervalos médios de 60 dias (maior no período seco e menor no período chuvoso) e os resíduos da parte aérea foram dispostos debaixo das plantas de café, visando maximizar a reciclagem de nutrientes.

Tabela 1 - Fontes e quantidades totais de nutrientes e carbono orgânico aplicados na implantação de café e das plantas de cobertura intercalares nos diferentes tratamentos para reabilitação de área minerada de bauxita

Adubação	Local	Fonte	MS	COT	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	Cu	Zn
			----t ha ⁻¹ ----	-----kg ha ⁻¹ -----										
Orgânica (C)	EL	CA	25,0	8,8	605,4	235,0	578,9	531,6	91,4	123,3	8,3	188,6	1,3	7,0
		Total EL		8,8	605,4	235,0	578,9	531,6	91,4	123,3	8,3	188,6	1,3	7,0
Orgânica + Química (C+Q)	EL	Calcário	5,3	-	-	-	-	1513,1	385,9	-	-	-	-	-
		CA	25,0	8,8	605,4	235,0	578,9	531,6	91,4	123,3	8,3	188,6	1,3	7,0
		FNR	0,7	-	4,6	91,0	0,7	225,4	2,5	9,5	0,0	0,0	0,0	0,1
		Total EL		8,8	610,1	326,0	579,6	2.270,1	479,7	132,8	8,3	188,6	1,3	7,1
Química (Q)	EL	Calcário	5,3	-	-	-	-	1.513,1	385,9	-	-	-	-	-
		FNR	0,7	-	4,6	91,0	0,7	225,4	2,5	9,5	0,0	0,0	0,0	0,1
		Total EL		-	4,6	91,0	0,7	1.738,5	388,4	9,5	0,0	0,0	0,0	0,1
Testemunha (T)														
Sem adubação														

CA = cama de aviário; EL = entrelinha; MS = massa seca; FNR = fosfato natural reativo (Borges, 2013).

Tabela 2 - Fertilizantes aplicados em cobertura na linha de plantio do café nos tratamentos AQ e AC+AQ, nos diferentes tratamentos para reabilitação de área minerada de bauxita

Forma de adubação	Tipo de Adubo	Quantidade/Aplicação	Unidade	Tempo após plantio
Via solo	N-P-K 08-28-16	100	g planta ⁻¹	2 e 20 dias
	N-P-K 20-05-20	100	g planta ⁻¹	11 meses
	KCl + 1% de Boro	100	g planta ⁻¹	14 meses
Via foliar	Micronutrientes*	100	g ha ⁻¹	2 meses
	Micronutrientes*	300	g ha ⁻¹	4 meses
	Micronutrientes*	1.000	g ha ⁻¹	11 meses
	Micronutrientes*	1.600	g ha ⁻¹	19 meses

*Produto comercial Plantin II® (N:10,0; Ca: 1,5; Mg: 1,0; S: 3,5; Zn: 6,0; B: 3,0; Fe: 0,5; Mn: 0,5; Cu: 0,5; Mo: 0,05%). (Borges, 2013)

Portanto, os efeitos aqui reportados são derivados principalmente da ação do sistema radicular das plantas de cobertura, além daquelas do cafeeiro.

Amostras estruturadas e não estruturadas de solo foram coletadas em agosto de 2013, nas entrelinhas de cada subparcela na profundidade de 0-20 cm. No primeiro caso foram utilizados dois blocos de solo com dimensões aproximadas de 30 cm x 30 cm x 20 cm coletados aleatoriamente, destorroados manualmente à umidade de campo e combinados formando uma amostra composta, e que, após secagem ao ar, foram peneiradas (< 2 mm) e acondicionadas em sacos plásticos para posterior caracterização e análises desse estudo (Tabela 3). Três amostras não estruturadas contidas em anéis volumétricos foram coletadas em cada subparcela, com auxílio de um trado tipo Uhland, para determinação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Também foram coletadas amostras de solo em uma área adjacente coberta por fragmento de mata nativa (Mata Atlântica), sendo considerada como referência para fins de comparação.

Tabela 3 - Características físicas e químicas nas camadas de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Atributo	Sem Adubação				Adubação Orgânica			Adubação Química			Adubação Química + Orgânica		
	Mata	SP	B	E	SP	B	E	SP	B	E	SP	B	E
pH em água (1;2,5)	5,10	4,90	5,33	5,16	5,77	6,44	5,63	6,02	6,43	6,11	6,59	6,56	6,37
COT (dag kg ⁻¹)	6,54	1,24	1,66	1,40	1,40	1,95	1,82	1,52	1,89	1,79	1,86	2,21	1,77
NT (dag kg ⁻¹)	0,53	0,09	0,11	0,09	0,11	0,14	0,13	0,09	0,12	0,11	0,13	0,15	0,12
P (mg dm ⁻³)	6,78	1,13	1,28	0,93	19,35	28,80	14,40	30,03	16,30	8,45	46,30	33,63	44,30
K (mg dm ⁻³)	57,50	4,50	33,50	16,00	24,00	287,00	63,75	21,75	209,75	59,75	95,25	225,00	89,25
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,44	0,32	0,61	0,26	1,89	2,43	1,59	2,66	2,86	2,28	3,96	3,34	3,52
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,30	0,09	0,22	0,08	0,43	0,61	0,35	0,41	1,00	0,45	0,76	0,67	0,66
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,61	0,15	0,12	0,20	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,03	0,03	0,07	0,00
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	16,63	5,05	5,48	5,13	4,03	2,88	5,15	3,35	2,58	3,68	2,70	3,40	2,90
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,89	0,42	0,92	0,38	2,38	3,78	2,10	3,13	4,40	2,89	4,96	4,58	4,41
T (cmol _c dm ⁻³)	17,52	5,47	6,39	5,51	6,41	6,65	7,25	6,48	6,97	6,56	7,66	7,98	7,31
T (cmol _c dm ⁻³)	2,50	0,56	1,04	0,58	2,38	3,78	2,27	3,13	4,40	2,91	4,99	4,65	4,41
V (%)	5,10	6,95	12,10	6,60	37,50	56,75	32,20	47,83	61,03	47,10	65,13	57,45	58,73
m (%)	64,50	33,58	13,43	36,43	0,00	0,00	11,55	0,00	0,00	1,25	0,73	3,15	0,00
P-rem (mg L ⁻¹)	14,25	6,00	7,73	6,85	8,23	11,30	8,63	10,00	9,65	7,78	10,73	10,38	9,83
Argila (g kg ⁻¹)	535	690	657,50	640	670	720	655	622,50	657,50	657,50	560	652,5	675
Silte (g kg ⁻¹)	105	77,50	90	70	77,50	77,50	72,50	107,50	107,50	105	142,50	112,50	92,50
Areia (g kg ⁻¹)	360	232,50	252,50	290	252,50	202,50	272,50	270	235	237,50	297,50	235	232,50
Ds (kg dm ⁻³)	1,02	1,31	1,25	1,33	1,28	1,28	1,29	1,30	1,29	1,30	1,35	1,26	1,33
Dp (kg dm ⁻³)	2,34	2,77	2,68	2,66	2,66	2,68	2,68	2,67	2,62	2,64	2,59	2,57	2,62
Macro (dm ³ dm ⁻³)	0,27	0,18	0,18	0,16	0,19	0,18	0,16	0,18	0,16	0,15	0,17	0,13	0,13
Micro (dm ³ dm ⁻³)	0,29	0,35	0,35	0,34	0,33	0,34	0,36	0,33	0,35	0,36	0,36	0,37	0,36
PT (dm ³ dm ⁻³)	0,56	0,53	0,53	0,50	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,48	0,51	0,49

Mata = mata nativa; SP = sem forrageira; E = estilosantes; B = braquiária; COT = carbono orgânico total; NT = nitrogênio total; SB = soma de bases trocáveis; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; t = capacidade de troca catiônica efetiva; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; P-rem = fósforo remanescente; Ds = densidade do solo; Dp = densidade da partícula; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; PT = porosidade total.

2.3. Análises de estabilidade de agregados

Amostras simples dos blocos de solo coletados, após destorroadas manualmente na umidade de campo e combinadas em uma amostra composta, foram secas ao ar e, em seguida, passados em peneiras de 4,75 e 2,0 mm de diâmetro de malha para a separação dos agregados. A estabilidade dos agregados foi determinada por vias seca e úmida. Na separação dos agregados por via úmida foi adotado o procedimento descrito por Kemper e Chepil (1965), no qual 25 g das amostras que ficaram retidas na peneira de 2 mm foram pré-umedecidas lentamente por meio de atomizador sobre vidro de relógio em repouso por 2 h e, em seguida, transferidas para um jogo de peneiras com malhas de 2,00, 1,00, 0,50, 0,25 e 0,105 mm, obtendo-se seis classes de agregados estáveis: 4,75 – 2,00; 2,00 – 1,00; 1,00 – 0,50; 0,50 – 0,25; 0,25 – 0,105 e < 0,105 mm. No tamisamento em água foi utilizado um oscilador mecânico de frequência igual a 26 ciclos min⁻¹ e 5,0 cm de amplitude vertical, durante 15 min. Os agregados retidos em cada peneira foram acondicionados em recipientes de alumínio para secagem em estufa a 100 – 105 °C, durante 24 h.

Após separação, a proporção de cada classe de agregado foi determinada em relação ao total, conforme a equação:

$$w_i = M_i / \sum M_i \quad (1)$$

em que: w_i é a fração em massa da classe em relação a massa da amostra total; e M_i é a massa de agregados da classe i (g).

A proporção de agregados da classe < 0,105 mm no tamisamento em água foi calculada por diferença, tomando-se a massa inicial menos a massa das demais classes:

$$x_{<0,105} = M_{inicial} - M(x_{4,75 - 2,00} + x_{2,00 - 1,00} + x_{1,00 - 0,50} + x_{0,50 - 0,25} + x_{0,25 - 0,105}) \quad (2)$$

As proporções de agregados estáveis foram utilizadas para o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) utilizando as expressões:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot x_i) \quad (3)$$

$$DMG = 10^{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot \log x_i)} \quad (4)$$

em que: w_i é fração em massa da classe em relação a massa da amostra total; e x_i é o diâmetro médio entre classes de agregados i (mm).

A separação por via seca foi realizada de acordo com EMBRAPA (1997). Para tanto foi utilizado o mesmo conjunto de peneiras superpostas da separação via úmida descrita anteriormente, porém em um agitador mecânico, marca Produtest modelo “T”, regulado no estágio sete, durante 15 min. Agregados (100 g) que ficaram retidos na peneira de 2 mm foram utilizados nessa separação, sendo os agregados retidos em cada peneira secos em estufa a 100 – 105 °C, durante 24 h, realizando-se os mesmos cálculos com as equações (1, 3 e 4) expostas anteriormente para a determinação do DMP e DMG.

Também foram calculados o índice de estabilidade de agregados (IEA) e a percentagem de agregados maiores que 2,0 mm estáveis em água (AGRI). O IEA foi obtido segundo fórmula proposta por Castro Filho (1998), adaptada por Perin (2002). O índice AGRI foi obtido segundo Wendling et al. (2005). As seguintes equações foram utilizadas:

$$IEA = (PS - wp < 0,105/PS) \times 100 \quad (5)$$

$$AGRI = (w_u > 2) \times 100 \quad (6)$$

em que PS é a massa da amostra (g); $w_p < 0,105$ é o corresponde a massa dos agregados da classe menor que 0,105 mm (g); e W_u é a proporção de agregados maiores que 2 mm estáveis em água.

Testes preliminares, realizados conforme Castro Filho et al. (1998), detectaram partículas maiores do que 2,0 mm nos agregados (cascalhos). Para o cálculo do DMP, DMG, IEA e AGRI, foi descontado da massa seca de agregados retidos na classe 4,75 – 2,00 mm, a quantidade de partículas maiores que 2,0 mm (cascalhos), considerando que as partículas inferiores participam ativamente do

processo de agregação (Castro Filho et al. 1998). Para isso, os agregados retidos nessa classe foram dispersos com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e agitados por 16 h, a 50 rpm, em um agitador orbital, sendo, posteriormente, passados em peneira de 2,0 mm, quantificando-se a fração cascalhos retida.

2.4. Análises dos atributos orgânicos em classes de agregados

Amostras de solo foram fracionadas, por via seca, nas classes de agregados: 4,75 – 2,00; 2,00 – 0,25 e 0,25 – 0,053 mm, obtendo três classes de agregados: macroagregados, mesoagregados e microagregados, respectivamente (Junior et al., 2011; 2012). Essas amostras foram preservadas para a realização do fracionamento físico da matéria orgânica e determinação da curva de dispersão dos agregados. No entanto, subamostras de agregados foram trituradas em almofariz de ágata e passadas em peneira de 0,250 mm para análise dos atributos orgânicos.

O carbono orgânico total (COT) foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida com K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido pelo H₂SO₄, juntamente com uma fonte externa de aquecimento (Yeomans; Bremner, 1988). O carbono orgânico lábil (COL), foi determinado por oxidação em permanganato de potássio (KMnO₄) e quantificado por espectrofotometria, conforme Blair et al. (1995), adaptado para solos tropicais por Shang e Tiessen (1997). O nitrogênio total (NT) foi determinado pelo método Kjeldahl, modificado por Tedesco (1985), tendo sido empregada digestão sulfúrica utilizando H₂SO₄, destilação e quantificação por titulação com HCl 0,02 mol L⁻¹. Para a determinação do nitrogênio lábil (NL), conforme Sahrawat (1982), foram utilizados 10 mL do extrato utilizado para a determinação do COL, sendo submetido à digestão sulfúrica do método Kjeldahl, com alterações da quantidade de NaOH 10 mol L⁻¹, no caso 25 mL adicionados previamente ao processo de destilação, assim como concentração 0,01 mol L⁻¹ do HCl.

O índice de manejo de carbono dos agregados (IMC) (Blair et al., 1995) foi calculado a partir dos dados de COT, COL e CNL (carbono orgânico não lábil calculado pela diferença entre COT e COL), utilizando os valores obtidos na área de mata nativa como referência, por meio da seguinte equação:

$$IMC = \left[\left(\frac{COT_1}{COT_2} \right) \times \left(\frac{\frac{COL_1}{CNL_1}}{\frac{COL_2}{CNL_2}} \right) \right] \times 100 \quad (7)$$

em que: COT_1 é o carbono orgânico total do solo; COT_2 é o carbono orgânico total do solo referência (mata nativa); COL_1 é o carbono lábil do solo; CNL_1 é o carbono não lábil do solo; COL_2 é o carbono lábil do solo referência (mata nativa); e CNL_2 é o carbono não lábil do solo referência (mata nativa).

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizado conforme método proposto por Sohi et al. (2001), com algumas adaptações. As frações leve livre (FLL) e oclusa (FLO) foram obtidas pelo método densimétrico e a matéria orgânica particulada grossa (MOP-G) e fina (MOP-F) e a matéria orgânica associada aos minerais (MAM) por meio do fracionamento granulométrico.

A separação da fração leve livre (FLL) foi realizada por centrifugação de 5 g de agregados em triplicatas, precedida de agitação manual com NaI ($d = 1,60 \text{ g cm}^{-3}$), sendo o sobrenadante com a FLL filtrado lentamente com auxílio de bomba de vácuo, separando a FLL da solução de NaI. Após lavagem abundante com água destilada para eliminação do NaI, a FLL foi transferida para lata de alumínio e seca em estufa a 65°C por 24 h, sendo pesada e macerada em almofariz de ágata. Posteriormente, após passar em peneira de 0,149 mm de abertura, os teores de C e N foram analisados pelo método da combustão seca em analisador elementar CHNS (Perkin Elmer).

Após a remoção da FLL, a extração da fração leve oclusa (FLO) foi efetuada por meio da sonificação das amostras centrifugadas, utilizando-se processador de ultrassom com sonda operando a 20 kHz na amplitude de 40%, fornecendo uma potência de $41,41 \pm 0,98 \text{ W}$, calculada a partir de técnicas calorimétricas descrito em Carolino de Sá (1998). A sonificação foi feita com água destilada na relação 1:8 (solo:água) por tempo e energia (Tabela 4), obtidos a partir das curvas de dispersão dos agregados (Figura 1).

Figura 5 - Curvas de dispersão de agregados de solo com mata nativa e diferentes sistemas de manejo de área em recuperação após mineração de bauxita.

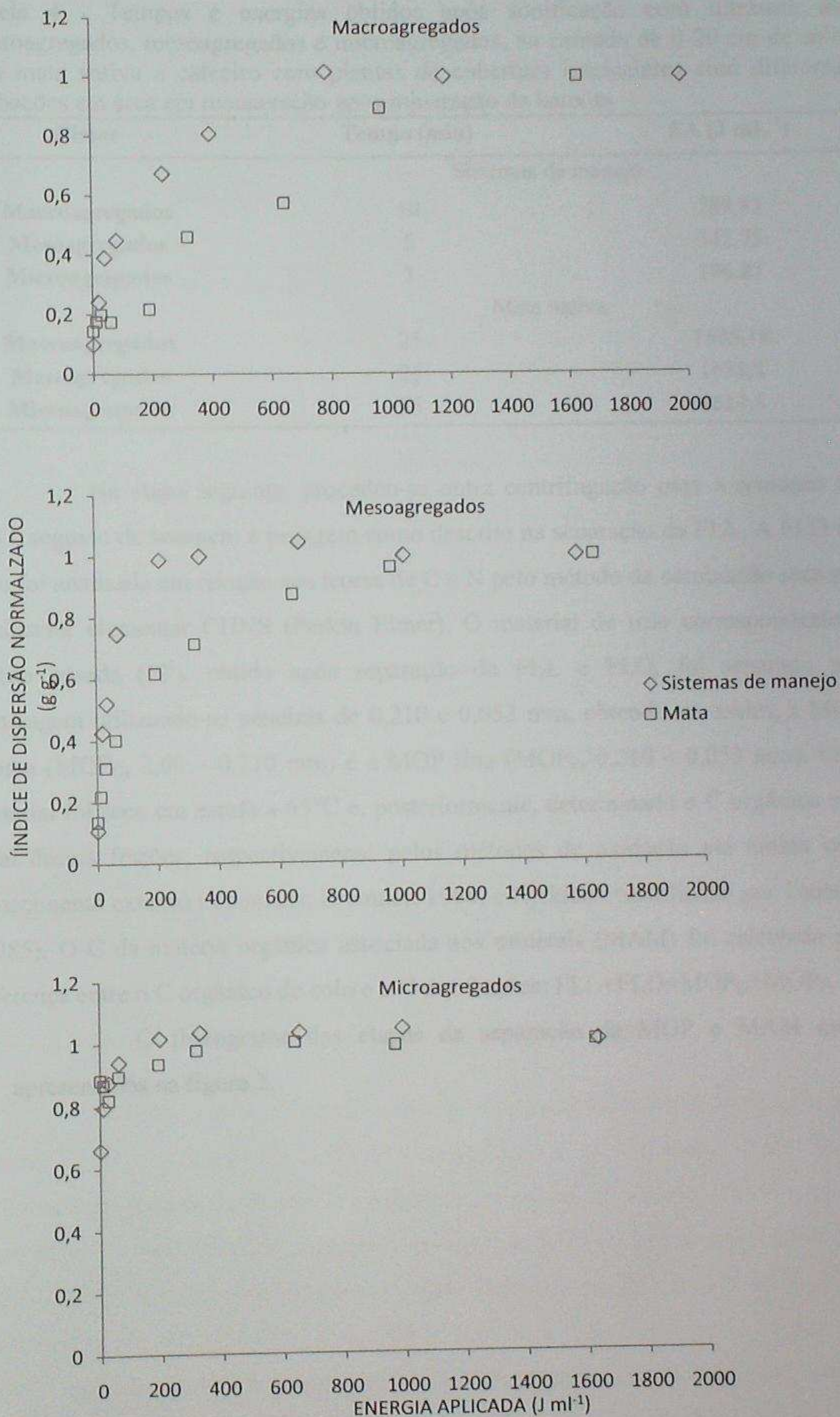


Figura 5 - Curvas de dispersão de agregados de solo com mata nativa e diferentes sistemas de manejo de área em recuperação após mineração de bauxita.

Tabela 4 - Tempos e energias obtidos após sonificação com ultrassom aos macroagregados, mesoagregados e microagregados, na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Classe	Tempo (min)	EA (J mL ⁻¹)
Sistemas de manejo		
Macroagregados	10	789,83
Mesoagregados	5	342,75
Microagregados	3	196,87
Mata nativa		
Macroagregados	25	1635,18
Mesoagregados	25	1638,8
Microagregados	25	1624,8

Na etapa seguinte, procedeu-se outra centrifugação para a remoção da FLO, seguido de secagem e pesagem como descrito na separação da FLL. A FLO do solo foi analisada em relação aos teores de C e N pelo método da combustão seca em analisador elementar CHNS (Perkin Elmer). O material de solo correspondente à fração pesada (FP), obtido após separação da FLL e FLO, foi separado por tamizagem utilizando-se peneiras de 0,210 e 0,053 mm, obtendo-se, assim, a MOP grossa (MOP_G, 2,00 – 0,210 mm) e a MOP fina (MOP_F, 0,210 – 0,053 mm). Esse material foi seco em estufa a 65°C e, posteriormente, determinado o C orgânico e N total dessas frações, respectivamente pelos métodos de oxidação via úmida com aquecimento externo (Yeomans; Bremner, 1988) e Kjeldahl, modificado por Tedesco (1985). O C da matéria orgânica associada aos minerais (MAM) foi calculado por diferença entre o C orgânico do solo e o C das frações: FLL+FLO+MOP_G+MOP_F.

O fluxograma das etapas da separação da MOP e MAM estão apresentados na figura 2.

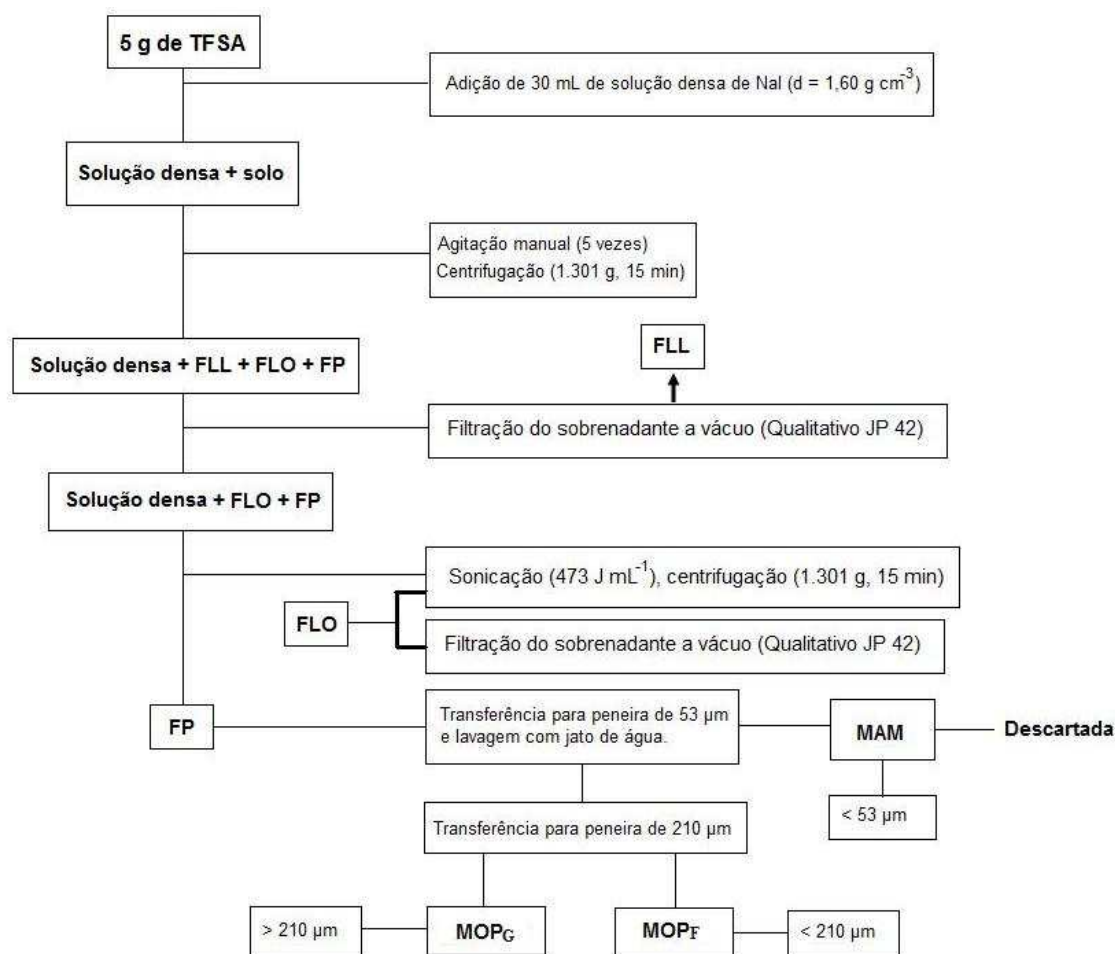


Figura 2 - Esquema simplificado do fracionamento físico densimétrico com iodeto de sódio (NaI), visando a separação da fração leve-livre (FLL), fração leve-oclusa (FLO), matéria orgânica particulada (MOP) de granulometria tamanho areia grossa e areia fina e matéria orgânica associada aos minerais (MAM).

2.5. Calibração e determinação da energia de sonificação

A energia de sonificação utilizada na separação de FLO foi determinada a partir da elaboração de uma curva de desagregação do solo, cujos resultados foram expressos em índices de dispersão (ID), como proposto por Sá et al. (1999), porém com algumas modificações. Amostras de agregados (5 g) pré-umedecidas foram submetidas à energia ultra-sônica com água destilada na relação 1:8 (solo:água), durante 15, 30, 60, 180, 300, 600, 900 e 1500 s, o que corresponde às energias médias aplicadas (EA) aos macro, meso e microagregados dos sistemas de manejo: 16,17; 34,05; 70,76; 215,27; 356,33; 704,87; 1.064,61 e 1.733,35 J mL⁻¹; e da mata

nativa: 11,06; 27,70; 60,79; 191,81; 320,48; 644,54; 969,85 e 1.632,93 J mL⁻¹, expressas, segundo Christensen (1985), por meio da equação abaixo:

$$EA = [P_e \cdot t_s] / v \quad (8)$$

em que: EA é a energia aplicada à suspensão (J mL⁻¹); Pc é a potência emitida pelo aparelho, obtida por meio de calibração (W); ts é o tempo de sonificação (s) e v é o volume da suspensão (mL).

A ponta da haste do aparelho, de dimensões 127 mm de comprimento por 19 mm de diâmetro, foi introduzida na suspensão a uma profundidade de 15 mm utilizando também banho de gelo durante a sonificação, ficando a temperatura da suspensão abaixo de 40°C, como indicado por Christensen (1985) e Gregorich et al. (1989). Logo após a sonificação, as amostras foram passadas em peneira de 0,053 mm, quantificando-se a fração dispersa (silte + argila) por diferença (massa inicial de solo menos a fração retida na peneira, ambos massa seca em estufa a 105°C). O tempo zero de sonificação, consistiu apenas em colocar as amostras no béquer, completar o volume para 40 mL de água destilada e passar imediatamente pela peneira, com o intuito de quantificar a desagregação causada apenas pelo manuseio. Foi então calculado o índice de dispersão para cada tempo de sonificação:

$$ID = [(fração < 0,053) / (massa inicial de solo)] \quad (9)$$

Os índices de dispersão foram normalizados (IDN) em função do ID Máximos:

$$IDN = ID / ID \text{ Máximo} \quad (10)$$

Os resultados normalizados para os teores de silte + argila das amostras foram plotados em curvas de dispersão, conforme Sá et al. (1999). As curvas foram linearizadas (Figura 3) e ajustadas matematicamente (Tabela 5).

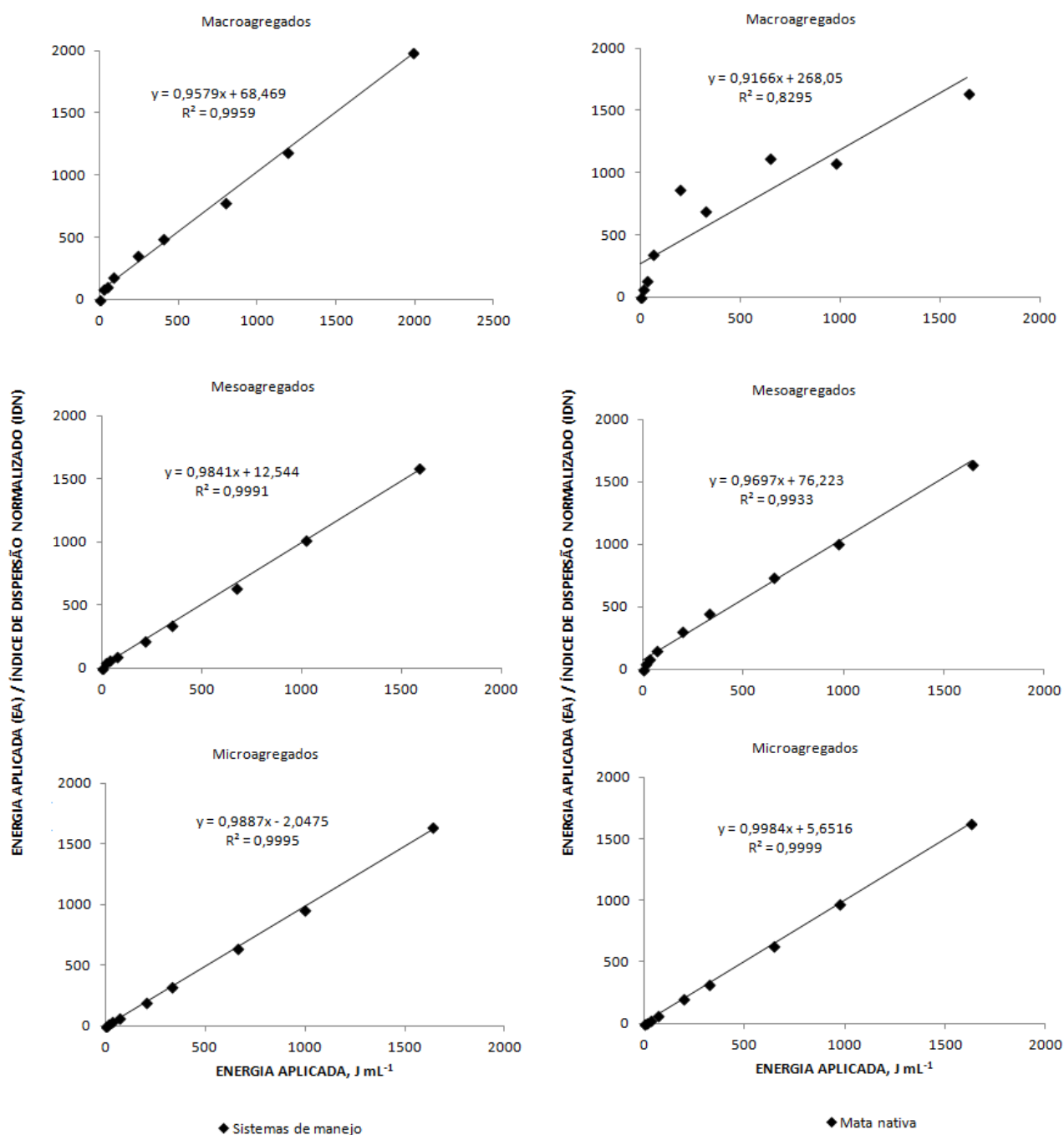


Figura 6 - Curvas de dispersão linearizadas dos agregados para os sistemas de manejo e mata nativa

A linearização foi feita, plotando-se, no eixo das abscissas, o nível de energia aplicado à suspensão (EA) em J mL⁻¹ e, no eixo das ordenadas, esse mesmo nível de energia dividido pelo índice de dispersão normalizado (EA/IDN), ajustando-se uma

equação do tipo $y = a + bx$ para cada repetição por meio de regressão. A susceptibilidade do solo à desagregação foi expressa a partir do termo b/a , cuja unidade é mL J^{-1} . Assim, o modelo ajustado foi uma equação do tipo $y = [x/(a + bx)]$, sendo y o índice de dispersão (ID), x a energia aplicada à amostra (EA), em J mL^{-1} , e a e b os coeficientes da equação, segundo Sá et al. (1999).

Tabela 5 - Equações ajustadas e valores do índice de desagregação (b/a) para os sistemas de manejo e mata nativa dos macroagregados, mesoagregados e microagregados

	Tratamentos	Equações ajustadas	b/a (mL J^{-1})	
			%	
Macroagregados	Sistemas de manejo	IDN = EA / [0,9579EA + 68,469]	0,014	1,40
	Mata nativa	IDN = EA / [0,9166EA + 268,05]	0,003	0,34
Mesoagregados	Sistemas de manejo	IDN = EA / [0,9841EA + 12,544]	0,078	7,85
	Mata nativa	IDN = EA / [0,9697EA + 76,223]	0,013	1,27
Microagregados	Sistemas de manejo	IDN = EA / [0,9887EA - 2,0475]	0,483	48,29
	Mata nativa	IDN = EA / [0,9984EA + 5,6516]	0,177	17,67

2.6. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e comparados pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). As comparações entre os sistemas de manejo e a mata nativa, foram realizadas por meio dos seus respectivos intervalos de confiança a 90% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estabilidade e distribuição do tamanho de agregados

A avaliação da distribuição das classes de agregados do solo estáveis em água indicou a predominância de macroagregados (4,75 – 2,00 mm), em torno de 74% para todos os tratamentos avaliados, incluindo a mata nativa (Figura 4), enquanto mesoagregados e microagregados corresponderam, respectivamente, a 12% e 14%. A mata nativa apresentou a maior proporção de macroagregados em

comparação aos sistemas de manejo adotados para a recuperação da área minerada, no caso 89% e 73%, respectivamente (Figura 4). A proporção de macroagregados em ordem decrescente foi: Mata > T/SP > AC/B > T/E > T/B > AQ/SP > AQ/E > AC/SP > AC+AQ/E > AC+AQ/B > AC+AQ/SP > AQ/B > AC/E (Figura 5). Contudo, as proporções de mesoagregados e microagregados foram maiores nos sistemas de manejo, 12% e 15%, comparativamente à mata nativa, 3% e 7%. No geral, a redução de macro para meso e microagregados foi de 63% e 60%, respectivamente.

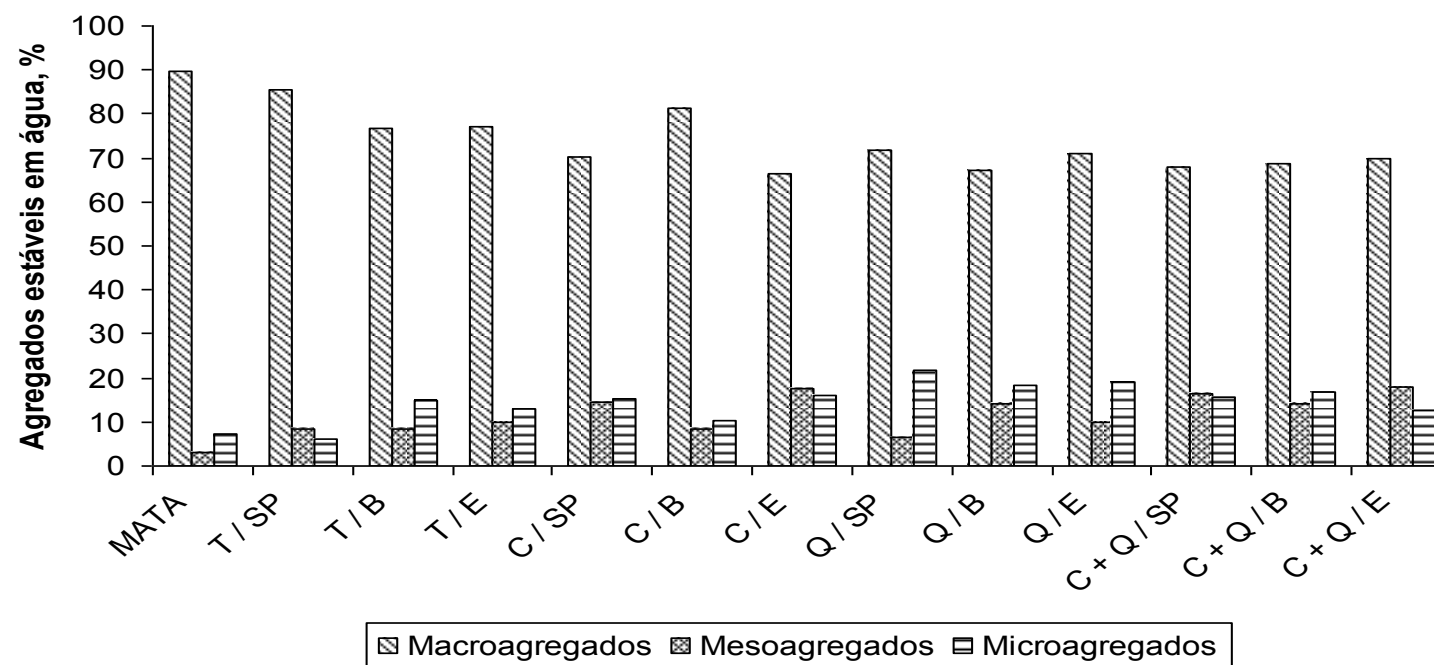


Figura 4 - Distribuição relativa de agregados estáveis em água na cama de solo de 0-20 cm, de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, de área minerada em reabilitação com cafeeiro e culturas intercalares, submetidas a diferentes tipos de adubação

Esses resultados tornam evidentes o efeito do revolvimento do solo favorecendo a quebra mecânica dos macroagregados em unidades menores (microagregados) com as atividades extrativas. A deseagregação propicia condições para a redução da matéria orgânica protegida pelos agregados, comprometendo de forma mais permanente a estabilidade de agregados (Vezzani e Mielniczuk, 2011). Santos et al. (2011) também constataram o aumento da proporção de microagregados em sistema agrossilvipastoril, atribuindo esses resultados ao revolvimento do solo promovido nos dois primeiros anos de cultivo. Neste trabalho, apesar do aumento da proporção de microagregados observado, esse efeito não foi significativo diante da macroagregação.

Constatou-se também, pela ordem decrescente comentada, que a proporção de macroagregados dos tratamentos envolvendo adubações e coberturas do solo encontram-se abaixo da mata nativa, destacando que, três deles não apresentam adubação e um utilizou cama de aviário. Os tratamentos T/SP (85%) e AC/B (82%) apresentaram efeito positivo sobre a agregação total, com resultados próximos ao da área considerada ideal (Mata nativa).

Atribui-se a melhor estruturação do tratamento sem adubação e sem planta de cobertura (T/SP), possivelmente, à consolidação natural do solo provocada pelos ciclos de umedecimento e secagem acarretada pela ausência de cobertura vegetal e desenvolvimento radicular e à baixa adição de C (Vezzani e Mielniczuk, 2011). Entretanto, os tratamentos T/B e T/E, mesmo sem aplicação de adubos, apresentam participação da braquiária e do estilosantes na agregação do solo, mesmo com sistema radicular pouco desenvolvido (Tabela 6).

Os resultados observados para o tratamento AC/B indicam que o uso da cama de aviário com braquiária proporcionou o maior desenvolvimento do sistema radicular dessa cultura (Tabela 6) e maior atividade microbiana, o que contribuiu para um ambiente mais favorável à estabilidade e agregação do solo. De forma geral, dentre os sistemas de manejo, os tratamentos com adubação química e química + orgânica (AQ/SP, AQ/B, AQ/E, AC+AQ/SP, AC+AQ/B e AC+AQ/E) apresentaram maior proporção de microagregados (AQ = 20% e AC+AQ = 15%) em relação aos tratamentos testemunha (T=11%). A adição de calcário e consequente aumento do pH para 6,4 na camada de 0 a 20 cm pode ter favorecido a desestabilização dos agregados com a condição eletroquímica favorável a dispersão de partículas nesses tratamentos, conforme Neto et al. (2008).

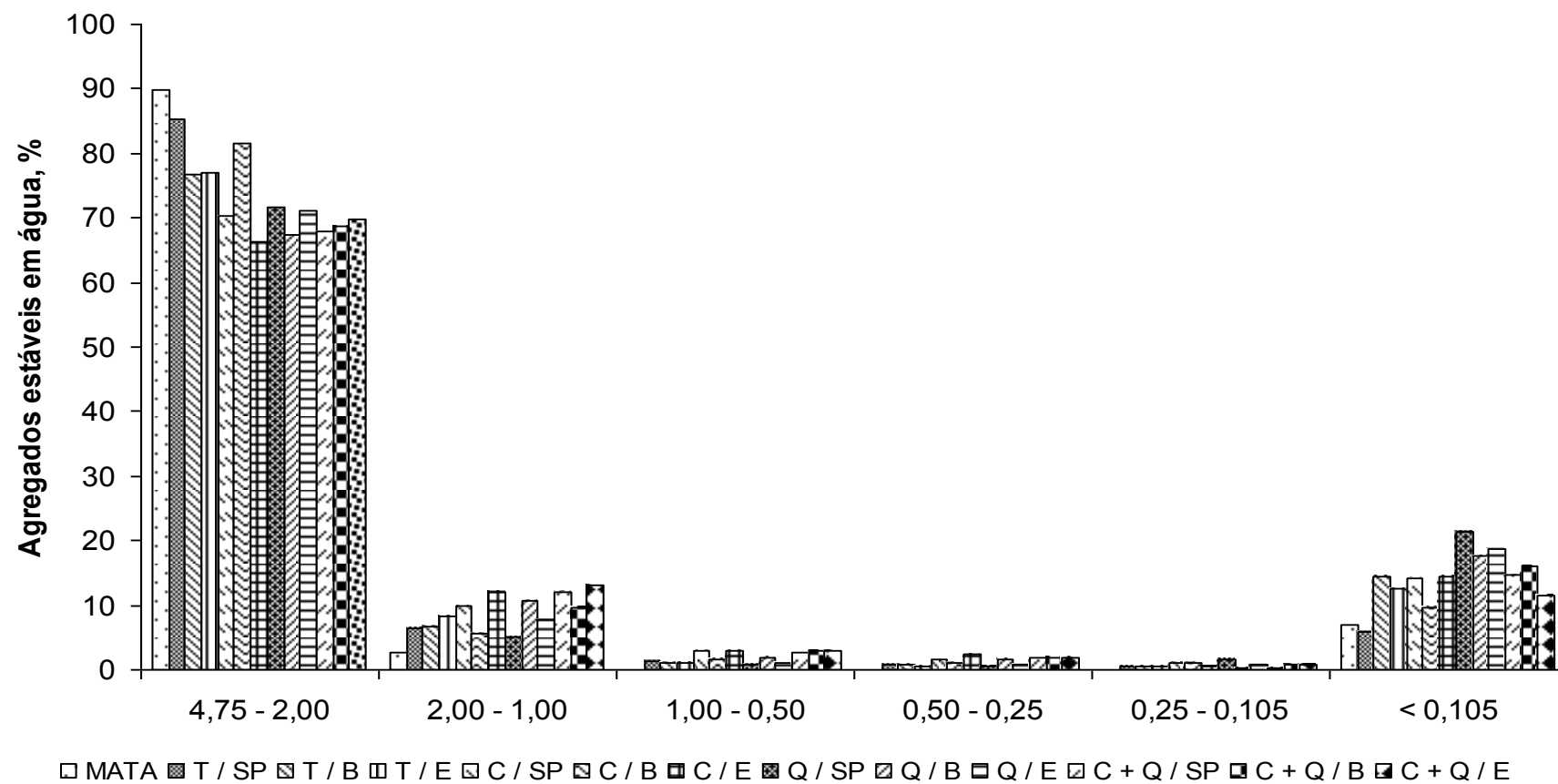


Figura 5 - Agregados estáveis em água (AEA) em diferentes classes de agregados de solo de área minerada em reabilitação com caféiro e culturas intercalares, submetidas a diferentes tipos de adubação.

Tabela 6 - Massa e densidade de raízes fresca e seca na camada de 0-20 cm e em volume de 18 dm³ de solo de área minerada em reabilitação com plantas de cobertura e adubações

Tratamento	Massa Fresca (g)	Densidade de Raízes Fresca (g dm ⁻³)	Massa Seca (g)	Densidade de Raízes Seca (g dm ⁻³)
T/SP	4,11	0,23	0,66	0,04
T/B	44,51	2,47	8,70	0,48
T/E	15,93	0,88	5,16	0,29
AC/SP	5,43	0,30	0,66	0,04
AC/B	77,61	4,31	16,13	0,90
AC/E	15,10	0,84	2,54	0,14
AQ/SP	3,63	0,20	0,64	0,04
AQ/B	32,29	1,79	4,95	0,27
AQ/E	13,32	0,74	2,68	0,15
AC+AQ/SP	3,80	0,21	0,54	0,03
AC+AQ/B	51,08	2,84	9,80	0,54
AC+AQ/E	11,61	0,65	2,37	0,10

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química.

Para vários parâmetros de agregação do solo avaliados ocorreram interações entre os tipos de adubação e de cobertura do solo ($p < 0,1$), permitindo a discussão dos efeitos das interações. O diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) na tamisação a seco não foram alterados pelos tipos de adubação e cobertura do solo (Tabela 7). A exceção ocorreu com as coberturas do solo sob a adubação com cama de aviário (AC), quando a braquiária (B) apresentou valores superiores ao DMG, não diferindo, entretanto, da área sem plantas (SP) nas entrelinhas do café.

De maneira geral, os parâmetros de agregação obtidos por tamisação em água expressaram melhor as variações impostas pelo manejo do que os resultados obtidos por tamisação a seco. As abordagens amplamente utilizadas para caracterizar o estado de agregação do solo, baseiam-se principalmente no método de peneiração úmida (Kemper 1966; Kemper e Rosenau, 1986), em que a submersão e peneiramento do solo em água simulam as pressões naturais envolvidas na entrada de água em agregados do solo (Márquez et al., 2004). Quanto aos parâmetros de agregação obtidos em água, DMP, DMG, AGRI e IEA, verificou-se que, independentemente do tratamento, a área de mata nativa apresentou valores médios superiores aos sistemas de manejo (Tabela 7), provavelmente em decorrência do maior aporte de material vegetal na área, pois se encontrava em condição original do solo, além da não interferência de qualquer forma de cultivo, refletindo na condição ideal de agregação do solo.

Os resultados de diâmetro médio ponderado (DMP) nos tipos de adubações avaliados foram estatisticamente iguais na área com estílosantes (E), o que não ocorreu com as áreas SP e B. A aplicação de adubação (AC, AQ e AC+AQ) não implicou em diferenças estatísticas na área SP, entretanto, a testemunha (T) apresentou valores superiores de DMP. A adubação com cama de aviário (AC) aumentou o DMP sob a área B, não diferindo da testemunha, sendo esta, equivalente às adubações AQ e AC+AQ. O DMP, de maneira geral, para todos os sistemas de manejo apresentou valores médios acima de 2 mm, caracterizando a macroagregação nos solos ($4,75 - 2$ mm), como verificado nas Figuras 4 e 5. Entretanto, a utilização do DMP como variável isolada, segundo Forsythe (1975), não é um bom indicativo da qualidade estrutural do solo, pois solos compactados ou muito secos e duros podem apresentar elevada estabilidade de agregados em água e, consequentemente, maiores valores de DMP.

Os valores de DMG foram variados para os tipos de adubações sob as coberturas do solo. A testemunha (T) apresentou valores superiores às áreas com adubações (AC, AQ e AC+AQ), com estas não diferindo estatisticamente da área SP. A adubação AC apresentou valores superiores de DMG em relação aos outros tipos de adubações sob a área B. Observou-se também valores superiores de DMG sob a área E em relação a a testemunha (T), não diferindo da adubação AC+AQ, sendo esta equivalente a AC e AQ.

As porcentagens de agregados maiores que 2,0 mm estáveis em água (AGRI) foram maiores para a testemunha (T) em relação às adubações na área SP. A adubação com cama de aviário (AC) apresentou valores superiores às demais adubações, não diferindo de T e AC+AQ na área B, com a AQ apresentando menores proporções de agregados estáveis. Os tipos de adubações não diferiram estatisticamente sob a área E.

O índice de estabilidade de agregados (IEA) apresentou valores com grande variabilidade para os diferentes tipos de adubações e cobertura do solo avaliados. A testemunha (T) apresentou valores superiores à todas adubações sob a área SP, enquanto que na área sem planta, a adubação AC não diferiu de AC+AQ e, a AQ apresentou menores valores deste índice. A aplicação de cama de aviário (AC) sob a área com braquiária (B) proporcionou valores superiores de IEA em relação a todas adubações, com AC+AQ não diferindo de T e AQ apresentando menores valor. Na área E, a adubação AC+AQ não diferiu de T e AQ apresentou menor valor.

Tabela 7 - Distribuição e índices de agregação do solo (DMP, DMG, AGRI e IEA) na camada de 0-20 cm de solo sob mata nativa e cafeeiro com forrageiras na entrelinha de plantio, após três anos e sete meses de recuperação de área minerada de bauxita

Tipos de Adubação	Cobertura do solo				Cobertura do solo			
	SP	B	E	Média	SP	B	E	Média
	DMP – seco (mm)				DMG – seco (mm)			
Mata	3,23 ± 0,02				3,08 ± 0,03			
T	3,12 Aa	3,03 Aa	3,06 Aa	3,07	2,89 Aa	2,76 Aa	2,76 Aa	2,80
AC	3,03 Aa	3,11 Aa	2,94 Aa	3,03	2,74 Aab	2,88 Aa	2,56 Ab	2,73
AQ	3,06 Aa	2,97 Aa	3,01 Aa	3,01	2,78 Aa	2,63 Aa	2,68 Aa	2,70
AC+AQ	3,01 Aa	2,99 Aa	2,98 Aa	2,99	2,63 Aa	2,63 Aa	2,65 Aa	2,64
Média	3,06	3,03	3,00	3,03 ± 0,02	2,76	2,73	2,66	2,72 ± 0,03
	DMP – úmido (mm)				DMG – úmido (mm)			
Mata	3,08 ± 0,04				2,45 ± 0,10			
T	2,99 Aa	2,71 ABb	2,74 Ab	2,81	2,39 Aa	1,68 Bb	1,79 Ab	1,95
AC	2,56 Bb	2,86 Aa	2,47 Ab	2,63	1,58 Bb	2,02 Aa	1,46 Bb	1,69
AQ	2,52 Ba	2,46 Ba	2,54 Aa	2,51	1,28 Ba	1,38 Ba	1,40 Ba	1,35
AC+AQ	2,51 Ba	2,50 Ba	2,58 Aa	2,53	1,50 Bab	1,44 Bb	1,68 Aba	1,54
Média	2,65	2,63	2,58	2,62 ± 0,06	1,69	1,63	1,58	1,63 ± 0,11
	AGRI (%)				IEA (%)			
Mata	89,87 ± 1,79				92,45 ± 0,91			
T	85,33 Aa	76,62 Aba	77,11 Aa	79,69	93,79 Aa	83,05 Bb	85,52 ABb	87,45
AC	70,25 Bb	81,48 Aa	66,44 Ab	72,72	83,39 Bb	89,21 Aa	83,20 Bb	85,27
AQ	71,78 Ba	67,31 Ba	71,17 Aa	70,09	72,71 Cb	78,48 Ca	77,09 Ca	76,09
AC+AQ	67,85 Ba	68,81 Aba	60,69 Aa	65,78	82,80 Bb	80,94 BCb	86,95 Aa	83,56
Média	73,80	73,56	68,85	72,07 ± 2,75	83,17	82,92	83,19	83,09 ± 2,17

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; DMP - seco = diâmetro médio ponderado obtido por tamisação a seco; DMG - seco = diâmetro médio geométrico obtido por tamisação a seco; DMP - úmido = diâmetro médio ponderado obtido por tamisação em água; DMG - úmido = diâmetro médio geométrico obtido por tamisação em água; AGRI = percentagem de agregados maiores que 2,0 mm estáveis em água; IEA = índice de estabilidade de agregados; ± = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

A partir dos parâmetros DMG, AGRI e IEA, verificou-se que, de modo geral, as áreas sem planta e sem adubação (T/SP) apresentaram melhor estado de agregação do solo, o que, entretanto, como comentado anteriormente esses resultados podem ser explicados pela ação de fenômenos externos e internos ocorrido no solo, acarretados pela ausência de cobertura vegetal e sistema radicular.

Qualquer forma que se disponibilize nutrientes às plantas implantadas nas entrelinhas do cafeeiro, seja ela química (AQ), orgânica (AC) ou ambas (AC+AQ), o sistema radicular das coberturas vegetais (B e E) influencia a agregação do solo pela formação do sistema radicular dessas plantas (Tabela 6). A recuperação da estrutura do solo da área minerada foi responsiva a aplicação de cama de aviário nas áreas com braquiária (AC/B) com elevadas proporções de macroagregados e melhores expressões dos resultados obtidos pelos parâmetros que refletem o estado de agregação do solo.

A recuperação da estabilidade dos agregados está diretamente associada ao abundante sistema radicular fasciculado e a deposição dos resíduos vegetais da parte aérea da braquiária (Tabela 6) favorecido pela aplicação de cama de galinha, como observado por Neto et al. (2008) na aplicação de cama de aviário e semeadura de *Brachiaria brizantha* em solo reconstruído após mineração de carvão, os quais promoveram a melhoria das propriedades físicas do solo. Loss et al. (2011), avaliando área cultivada com sistema de plantio direto com braquiária, encontraram maiores valores de DMP e DMG do que a área em sistema de plantio direto sem braquiária. Esses autores também atribuíram esse resultado ao desenvolvimento da braquiária, que proporciona boa cobertura vegetal ao solo, impede ou reduz a ação da energia cinética provocada pelo impacto das gotas de chuva, cria rugosidade hidráulica e reduz o escoamento superficial, além de manter a umidade do solo, e contribuir para a criação de um ambiente mais favorável à agregação do solo pelo abundante sistema radicular.

3.2. Atributos orgânicos em agregados do solo

De modo geral, não houve interação significativa ($p > 0,1$) entre os tipos de adubação e cobertura do solo sobre os atributos orgânicos nas classes de agregados avaliadas, permitindo a discussão somente dos efeitos principais dos tratamentos. Os atributos avaliados nas três classes de agregados, independentemente

do tratamento, não foram equivalentes ou superiores àqueles do solo sob mata nativa, a qual apresentou os maiores valores (Tabelas 8 e 9). O maior aporte de material vegetal na área e a não alteração da condição original de agregação do solo pelas atividades de extração de bauxita e recuperação podem ser associados aos resultados obtidos.

Quanto ao efeito da adubação, não foi observada diferenças estatísticas significativas ($p > 0,1$) nos teores de C dos macroagregados, mesoagregados e microagregados e no teor de N dos macroagregados e mesoagregados nos diferentes tipos de adubação utilizados. A adubação AC+AQ promoveu o aumento dos teores de N nos microagregados, não diferindo porém das adubações AQ e AC, mas apenas em relação a testemunha.

As adubações apresentaram o mesmo efeito sobre a relação C:N nas classes de agregados, ou seja, AQ e T apresentaram os maiores valores, não diferindo entre si, enquanto que o mesmo ocorre com os resultados nas adubações AC e AC+AQ, porém com menores valores. Tais resultados podem ter ocorrido em função da quantidade de N rapidamente mineralizado pelos microrganismos, uma vez que houve considerável quantidade introduzida desse nutriente nas entrelinhas de plantio do cafeeiro durante a reconfiguração da área: $4,6 \text{ kg ha}^{-1}$, $605,4 \text{ kg ha}^{-1}$ e $610,1 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente para adubação AQ, AC e AC+AQ. Quando N é mineralizado com o aporte de N via adubação pela microbiota do solo diz-se que é o efeito “priming” (Borges, 2013), o que pode ter influenciado as concentrações de COT, COL, NT e NL nos agregados do solo. Entretanto esse efeito não perdura por muito tempo. Assim, a influência das adubações química e orgânica sobre esses atributos parece estar mais relacionada ao crescimento e características intrínsecas da braquiária e estilosantes, tais como a captação de nutrientes pelo sistema radicular abundante e a fixação de N_2 (Silva e Corrêa, 2010), contribuindo com o aumento ou manutenção desses atributos no solo.

Não houve diferença significativa ($p > 0,1$) dos teores de COL entre as adubações nas classes de agregados, o que também foi observado para os teores de NL dos macroagregados. Nos meso e microagregados, as adubações tiveram os mesmos efeitos, tendo a adubação AC+AQ aumentado os teores de NL nessas classes, não diferindo porém das adubações AQ e AC, o que ocorreu apenas para a testemunha. Os agregados de menores tamanhos, além de serem responsáveis pelos maiores estoques de matéria orgânica do solo, representam importantes sítios de N

mineralizável (Passos et al., 2007). Não houve diferenças significativas ($p > 0,1$) do IMC entre as adubações para todas as classes de agregados, apesar de se mostrar sensível às práticas de manejo empregadas, pois apresentou valor médio entre as classes de agregados de 40%, o que é muito acima dos valores obtidos para o solo, 22%.

Tabela 8 - Carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C:N em classes de agregados do solo, na camada de 0-20 cm de solo sob mata nativa e cafeeiro com forrageiras na entrelinha de plantio, após três anos e sete meses de recuperação de área minerada de bauxita

Tipos de Adubação	Cobertura do solo				Média	Cobertura do solo				Média	Cobertura do solo				Média
	SP	B	E	SP		B	E	SP	B		E				
Macroagregados 4,75 – 2 mm															
	COT (g kg ⁻¹)					NT (g kg ⁻¹)					C:N				
Mata	67,85 ± 0,31					4,70 ± 0,03					14,47 ± 0,59				
T	13,51	15,27	12,72	13,83 A	0,76	0,90	0,68	0,78 A	18,12	17,56	18,96	18,21 A			
AC	13,44	14,15	15,77	14,45 A	0,83	0,96	1,01	0,93 A	16,31	14,89	15,95	15,71 B			
AQ	14,61	15,86	14,50	14,99 A	0,78	0,96	0,85	0,86 A	19,15	17,17	17,74	18,02 A			
AC+AQ	14,51	18,16	15,38	16,01 A	0,91	1,26	1,03	1,07 A	15,95	14,60	15,51	15,35 B			
Média	14,02 a	15,86 a	14,59 a	14,82 ± 0,50	0,82 b	1,02 a	0,89 ab	0,91 ± 0,06	17,38 a	16,05 a	17,04 a	16,82 ± 0,70			
Mesoagregados 2,00 – 0,25 mm															
	COT (g kg ⁻¹)					NT (g kg ⁻¹)					C:N				
Mata	66,53 ± 0,15					4,81 ± 0,03					13,89 ± 0,71				
T	13,14	15,15	13,26	13,85 A	0,77	0,93	0,80	0,83 A	17,25	16,94	17,23	17,14 A			
AC	13,55	15,90	16,32	15,26 A	0,91	1,02	1,12	1,02 A	14,95	15,61	14,51	15,02 B			
AQ	15,29	16,32	15,49	15,70 A	0,87	1,02	0,92	0,94 A	17,91	16,36	17,13	17,13 A			
AC+AQ	15,06	18,93	15,58	16,52 A	1,01	1,27	1,06	1,12 A	14,92	14,95	14,97	14,95 B			
Média	14,26 b	16,57 a	15,16 ab	15,33 ± 0,65	0,89 b	1,06 a	0,97 ab	0,98 ± 0,06	16,25 a	15,97 a	15,96 a	16,06 ± 0,55			
Microagregados 0,25 – 0,053 mm															
	COT (g kg ⁻¹)					NT (g kg ⁻¹)					C:N				
Mata	56,43 ± 0,32					3,97 ± 0,03					14,23 ± 0,73				
T	11,91	14,82	12,57	13,10 A	0,69	0,86	0,76	0,77 B	17,40	17,84	16,92	17,38 A			
AC	13,76	15,21	15,70	14,89 A	0,91	0,98	1,03	0,98 AB	15,42	15,59	15,20	15,40 B			
AQ	14,84	15,18	14,54	14,85 A	0,81	0,92	0,89	0,87 AB	18,70	16,91	16,60	17,40 A			
AC+AQ	14,75	18,82	15,07	16,21 A	0,93	1,20	1,04	1,05 A	16,35	15,72	14,87	15,64 B			
Média	13,81 b	16,01 a	14,47 ab	14,76 ± 0,69	0,84 a	0,99 a	0,93 a	0,92 ± 0,06	16,96 a	16,51 a	15,90 a	16,46 ± 0,51			

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; ± = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

Tabela 9 - Carbono orgânico lábil (COL), nitrogênio lábil (NL) e índice de manejo de carbono (IMC) em classes de agregados do solo, na camada de 0-20 cm de solo sob mata nativa e cafeeiro com forrageiras na entrelinha de plantio, após três anos e sete meses de recuperação de área minerada de bauxita

Tipos de Adubação	Cobertura do solo				Média	Cobertura do solo				Média	Cobertura do solo				Média
	SP	B	E	SP		B	E	SP	B		E				
Macroagregados 4,75 – 2 mm															
	COL (g kg ⁻¹)					NL (g kg ⁻¹)					IMC				
Mata	5,47 ± 0,05					0,128 ± 0,0003					100,00 ± 0,00				
T	1,29	2,37	1,92	1,86 A		0,033	0,044	0,033	0,037 A		25,85	49,35	37,88	37,69 A	
AC	1,99	1,96	1,96	1,97 A		0,033	0,044	0,048	0,042 A		40,76	39,70	38,45	38,64 A	
AQ	2,09	2,32	2,27	2,23 A		0,035	0,043	0,041	0,039 A		43,12	45,68	46,36	45,05 A	
AC+AQ	1,59	2,17	1,87	1,88 A		0,041	0,055	0,044	0,047 A		30,44	43,34	36,41	36,79 A	
Média	1,74 a	2,21 a	2,01 a	1,98 ± 0,11		0,036 b	0,047 a	0,042 ab	0,04 ± 0,003		35,04 a	44,57 a	38,78 a	39,79 ± 2,36	
Mesoagregados 2,00 – 0,25 mm															
	COL (g kg ⁻¹)					NL (g kg ⁻¹)					IMC				
Mata	5,12 ± 0,01					0,124 ± 0,001					100,00 ± 0,00				
T	1,30	1,39	1,31	1,33 A		0,026	0,039	0,031	0,032 B		26,12	27,76	26,30	26,73 A	
AC	1,49	1,34	1,69	1,51 A		0,043	0,050	0,044	0,046 AB		30,31	26,48	34,18	30,32 A	
AQ	1,32	1,86	1,37	1,52 A		0,043	0,043	0,035	0,040 AB		26,18	38,34	27,16	30,56 A	
AC+AQ	1,53	2,18	1,41	1,70 A		0,050	0,059	0,048	0,052 A		30,74	44,52	28,42	34,56 A	
Média	1,41 a	1,69 a	1,44 a	1,52 ± 0,09		0,040 a	0,048 a	0,040 a	0,04 ± 0,004		28,34 a	34,28 a	29,01 a	30,54 ± 1,83	
Microagregados 0,25 – 0,053 mm															
	COL (g kg ⁻¹)					NL (g kg ⁻¹)					IMC				
Mata	4,54 ± 0,03					0,113 ± 0,001					100,00 ± 0,00				
T	1,70	1,73	1,47	1,63 A		0,024	0,031	0,028	0,028 B		39,98	40,31	34,10	38,13 A	
AC	1,58	1,75	1,73	1,69 A		0,035	0,050	0,044	0,043 AB		36,03	40,53	40,03	38,87 A	
AQ	1,28	1,95	1,55	1,59 A		0,037	0,039	0,035	0,037 AB		28,75	46,57	35,77	37,03 A	
AC+AQ	1,49	2,01	1,75	1,75 A		0,039	0,050	0,046	0,045 A		34,24	45,77	41,21	40,41 A	
Média	1,51 a	1,86 a	1,62 a	1,66 ± 0,07		0,034 b	0,043 a	0,038 ab	0,04 ± 0,004		34,75 a	43,30 a	37,78 a	38,61 ± 1,68	

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; $\pm$ = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

Quanto aos efeitos da cobertura do solo, a braquiária proporcionou o aumento dos teores de C nos mesoagregados e microagregados e de N nos macroagregados e mesoagregados. Entretanto esses atributos, nessas mesmas classes, apresentaram efeito limitado com o uso do estilosantes, como apresentado na área sem planta. Loss et al. (2011) encontraram maiores teores de C e N nos macroagregados em área sob sistema de plantio direto, atribuindo esses resultados ao maior aporte de resíduos orgânicos por parte da braquiária. As coberturas do solo não diferiram nos teores de C e N, nos macroagregados e microagregados, respectivamente. A classe intermediária de agregados, ou seja, os mesoagregados, reflete melhor as diferenças na dinâmica do C e N sob os sistemas utilizados (Fernández et al., 2010) e podendo serem mais sensíveis ao tipo de manejo do solo, quando comparados aos microagregados (Junior et al., 2012). Não houveram diferenças significativas ($p > 0,1$) dos efeitos das coberturas do solo sobre a relação C:N, COL e IMC, em todas as classes de agregados. A braquiária e o estilosantes aumentaram os teores de NL nos macroagregados e mesoagregados, não diferindo da área sem planta.

De modo geral, a análise dos atributos orgânicos em classes de agregados, pode ser utilizada para averiguar os impactos do uso do solo em áreas mineradas.

3.3. Teores de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de classes de agregados

Os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) das frações da matéria orgânica não foram comparados estatisticamente entre as classes: macroagregados, mesoagregados e microagregados. Observou-se que, a partir da média geral dos tratamentos (Tipos de adubação x Cobertura do solo), a distribuição dos teores de C e N das frações da matéria orgânica entre as classes de agregados apresentaram-se abaixo dos valores encontrados na mata nativa (referência) em todas as frações das classes de agregados (Tabelas 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18). Os teores de C e N da matéria orgânica leve livre (MOL_L) foram maiores nos mesoagregados e menores nos microagregados, enquanto que os macroagregados apresentaram os maiores teores de matéria orgânica particulada grossa (MOP_G) e os microagregados os menores. Entretanto, na matéria orgânica particulada fina (MOP_F) houve uma

inversão em que os macroagregados apresentaram os menores teores de C e N e os microagregados os maiores teores. Tais resultados refletem o grau de interação entre os compostos orgânicos para essa classe, consequente da forte ligação entre partículas de menor diâmetro e o grau de humificação. Os teores de C e N da matéria orgânica associada aos minerais (MAM) também foram baixos nos macroagregados, sendo maiores nos mesoagregados.

Tabela 10 - Teores médios de C e N das frações da matéria orgânica em classes de agregados obtidos a partir da interação entre tipos de adubação e cobertura do solo, na camada de 0-20 cm de solo sob cultivo de cafeeiro com forrageiras na entrelinha de plantio, após três anos e sete meses de recuperação de área minerada de bauxita

		Macroagregados	Mesoagregados g kg ⁻¹	Microagregados
MOL_L	C	0,02	0,04	0,01
	N	0,00043	0,0015	0,0002
MOP_G	C	1,52	0,73	0,05
	N	0,10	0,04	0,01
MOP_F	C	0,43	0,48	1,12
	N	0,028	0,03	0,076
MAM	C	12,86	14,08	13,59
	N	0,78	0,90	0,83

Matéria orgânica leve livre (MOL_L), matéria orgânica particulada grossa (MOP_G), matéria orgânica particulada fina (MOP_F) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM).

Observou-se que, assim como na avaliação do fracionamento da matéria orgânica no solo, o conteúdo e a distribuição de C e N nas frações e em todas as classes de agregados foram influenciados pela aplicação de adubos, principalmente os que continham cama de aviário (AC e AC+AQ), favorecendo o desenvolvimento da braquiária. Essa condição proporciona grande deposição de resíduos vegetais pela massa radicular que produz, refletindo nos teores e distribuição desses atributos nas classes de agregados. Ainda numa visão ampla sobre a distribuição dos teores de C e N nas frações e em classes de agregados, verificou-se que a classe intermediária, ou seja, os mesoagregados foi a que melhor refletiu as diferenças na dinâmica do C e N sob os sistemas utilizados. De acordo com Junior et al. (2012) essa classe é mais sensível ao tipo de manejo do solo, quando comparada aos microagregados. Assim, corroborando com as alegações de Passos et al. (2007), neste trabalho os agregados de menor tamanho (mesoagregados e microagregados), além de serem responsáveis pelos maiores teores de matéria orgânica do solo e que, consequentemente se refletem no conteúdo de C e N, representaram importantes sítios de N mineralizável.

Tabela 11 - Teores de carbono em frações da matéria orgânica de macroagregados na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
C-MOL+MOP		(g kg ⁻¹)			
	Mata	22,31 ± 9,66			
	T	0,91	1,75	1,53	1,40 A
	AC	1,78	3,89	1,98	2,55 A
	AQ	1,62	2,46	1,94	2,00 A
	AC+AQ	1,79	2,45	1,51	1,92 A
	Média	1,52 b	2,64 a	1,74 b	1,97 ± 0,30
C-MOL _{-L}	Mata	0,203 ± 0,115			
	T	0,001	0,019	0,002	0,007 A
	AC	0,002	0,086	0,002	0,030 A
	AQ	0,004	0,049	0,007	0,020 A
	AC +AQ	0,003	0,018	0,011	0,011 A
	Média	0,003 b	0,043 a	0,005 b	0,017 ± 0,010
	C-MOP _G	Mata	14,70 ± 6,98		
T		0,70	1,19	1,05	0,98 A
AC		1,29	3,27	1,56	2,04 A
AQ		1,43	1,78	1,42	1,54 A
AC+AQ		1,48	1,97	1,11	1,52 A
Média		1,23 a	2,05 a	1,28 a	1,52 ± 0,27
C-MOP _F		Mata	7,41 ± 2,75		
	T	0,21	0,55	0,48	0,41 A
	AC	0,49	0,53	0,42	0,48 A
	AQ	0,18	0,63	0,51	0,44 A
	AC+AQ	0,31	0,46	0,39	0,39 A
	Média	0,30 b	0,54 a	0,45 ab	0,43 ± 0,07
	C-MAM	Mata	45,54 ± 6,62		
T		12,60	13,51	11,18	12,43 A
AC		11,66	10,26	13,79	11,90 A
AQ		13,00	13,40	12,56	12,99 A
AC+AQ		12,72	15,70	13,87	14,10 A
Média		12,49 a	13,22 a	12,85 a	12,86 ± 0,69

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_L = matéria orgânica leve livre; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; ± = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

De modo geral, não houve interação significativa ($p > 0,1$) entre os tipos de adubação e os tipos de cobertura do solo nas frações da matéria orgânica nas três classes de agregados. Nesse caso, a seguir serão discutidos os efeitos principais dos tratamentos sobre os atributos orgânicos avaliados nos macroagregados, mesoagregados e microagregados.

3.3.1. Macroagregados

Quanto aos efeitos dos tipos de adubação, diferenças não significativas ($p > 0,1$) foram observadas para os teores de C nas frações MOL-L, MOP_G, MOP_F e MAM dos macroagregados (Tabela 11). O mesmo efeito foi encontrado para os teores de N, porém nas frações MOL-L, MOP_F e MAM (Tabela 12). Entretanto, na MOP_G, a adubação química (AC) proporcionou maiores teores de N, não diferindo estatisticamente da adubação com cama de aviário (AC).

Os tipos de adubações apresentaram efeitos significativos ($P < 0,10$) apenas nas relações C:N da MOL-L e MAM (Tabela 13). Nessas frações, as adubações que acrescentaram maiores teores de N ao solo (AC e AC+AQ) apresentaram menores valores de relação C:N, enquanto os maiores foram da testemunha (T).

Os teores de C da MOL-L e MOP_F apresentaram diferenças significativas com as coberturas do solo avaliadas, sendo que a área com braquiária (B) proporcionou valores elevados em comparação às áreas sem planta (SP). Os valores de MOP_F da área B não diferiram da área com estilosantes (E), além de também apresentarem efeito equivalente a SP. Os teores de N também variaram com as coberturas do solo especialmente com diferenças nos teores de N nas frações MOL-L, MOP_G e MOP_F. As áreas com braquiária apresentaram os maiores teores nessas frações, enquanto que as áreas com estilosantes não diferiram das áreas SP.

Tabela 12 - Teores de nitrogênio em frações da matéria orgânica de macroagregados na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
(g kg ⁻¹)					
N-MOL+MOP	Mata	2,070 ± 0,971			
	T	0,057	0,148	0,081	0,095 B
	AC	0,105	0,196	0,146	0,149 A
	AQ	0,116	0,182	0,181	0,159 A
	AC+AQ	0,104	0,121	0,113	0,113 AB
	Média	0,095 b	0,162 a	0,130 ab	0,129 ± 0,015
N-MOL _L	Mata	0,010 ± 0,06			
	T	8,48x10 ⁻⁰⁵	2,46 x10 ⁻⁰⁴	1,46 x10 ⁻⁰⁵	1,15 x10 ⁻⁰⁴ A
	AC	4,75x10 ⁻⁰⁵	1,63 x10 ⁻⁰³	3,13 x10 ⁻⁰⁵	5,71 x10 ⁻⁰⁴ A
	AQ	7,53x10 ⁻⁰⁵	1,52 x10 ⁻⁰³	2,40 x10 ⁻⁰⁴	6,12 x10 ⁻⁰⁴ A
	AC +AQ	1,30 x10 ⁻⁰⁴	6,67 x10 ⁻⁰⁴	5,08 x10 ⁻⁰⁴	4,35 x10 ⁻⁰⁴ A
	Média	8,44 x10 ⁻⁰⁵ b	1,02 x10 ⁻⁰³ a	1,99 x10 ⁻⁰⁴ b	0,00043 ± 0,00024
N-MOP _G	Mata	1,454 ± 0,791			
	T	0,046	0,106	0,058	0,070 C
	AC	0,082	0,165	0,120	0,122 AB
	AQ	0,099	0,144	0,146	0,130 A
	AC+AQ	0,077	0,084	0,081	0,080 BC
	Média	0,076 b	0,125 a	0,101 ab	0,101 ± 0,013
N-MOP _F	Mata	0,606 ± 0,214			
	T	0,011	0,042	0,023	0,025 A
	AC	0,023	0,030	0,025	0,026 A
	AQ	0,016	0,037	0,034	0,029 A
	AC+AQ	0,027	0,037	0,031	0,032 A
	Média	0,019 b	0,036 a	0,029 ab	0,028 ± 0,005
N-MAM	Mata	2,632 ± 0,668			
	T	0,700	0,748	0,600	0,683 A
	AC	0,728	0,760	0,863	0,784 A
	AQ	0,662	0,783	0,669	0,705 A
	AC+AQ	0,809	1,141	0,918	0,956 A
	Média	0,725 a	0,858 a	0,762 a	0,782 ± 0,061

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_L = matéria orgânica leve livre; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; ± = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

Tabela 13 - Relação C:N das frações da matéria orgânica de macroagregados na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
C:N-MOL+MOP		(g kg ⁻¹)			
	Mata	11,10 ± 1,52			
	T	14,76	13,79	20,13	16,23 A
	AC	20,79	21,61	16,01	19,47 A
	AQ	13,41	13,98	13,24	13,54 A
	AC+AQ	18,74	19,03	13,85	17,21 A
	Média	16,92 a	17,10 a	15,81 a	16,61 ± 2,08
C:N-MOL _{-L}	Mata	19,75 ± 0,00			
	T	14,42	77,62	122,00	71,34 A
	AC	43,51	52,74	76,06	57,44 B
	AQ	52,90	32,53	28,24	37,89 C
	AC +AQ	23,13	27,32	21,71	24,05 D
	Média	33,49 c	47,55 b	62,00 a	47,68 ± 7,16
C:N-MOP _G	Mata	10,44 ± 0,56			
	T	13,93	14,17	21,21	16,44 A
	AC	22,89	22,19	14,66	19,92 A
	AQ	14,06	13,53	13,73	13,77 A
	AC+AQ	23,08	19,31	14,38	18,93 A
	Média	18,49 a	17,30 a	16,00 a	17,26 ± 2,84
C:N-MOP _F	Mata	13,12 ± 4,56			
	T	18,87	17,28	26,65	20,93 A
	AC	19,89	18,74	16,45	18,36 A
	AQ	10,89	23,29	15,16	16,45 A
	AC+AQ	10,61	17,97	11,80	13,46 A
	Média	15,07 a	19,32 a	17,51 a	17,30 ± 2,45
C:N-MAM	Mata	18,14 ± 3,01			
	T	18,28	18,63	18,89	18,60 AB
	AC	16,01	14,10	16,00	15,37 B
	AQ	20,24	17,97	23,18	20,46 A
	AC+AQ	15,69	14,00	15,94	15,21 B
	Média	17,55 a	16,18 a	18,50 a	17,41 ± 1,16

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_L = matéria orgânica leve livre; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; ± = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

3.3.2. Mesoagregados

Os teores de C nas frações MOP_G , MOP_F e MAM dos mesoagregados do solo apresentaram diferenças significativas entre os tipos de adubações avaliados (Tabela 14). Nas frações MOP_G e MOP_F , a adubação com cama de aviário (AC) proporcionou maiores teores de C, o que, entretanto, não diferiu estatisticamente da testemunha (T). Na fração associada aos minerais (MAM) a adubação orgânica + química (AC+AQ) aumentou os teores de C, não diferindo das adubações AC e AQ, que apresentaram efeito equivalente a testemunha.

Quanto aos teores de N, as diferenças não foram significativas entre as situações estudadas em todas as frações da matéria orgânica dos mesoagregados (Tabela 15), o que ocorreu as relações C:N nas frações MOL_L , MOP_F e MAM (Tabela 16). Nessas frações, as adubações que proporcionaram maiores teores de N ao solo (AC e AC+AQ) contribuíram para a redução da relação C:N, sendo o contrário observado na ausência de qualquer tipo de adubação (T) onde foi observado os maiores valores.

Os efeitos das coberturas do solo promoveram diferenças significativas nos teores de C e N nas frações da MOL_L e MAM (Tabelas 14 e 15). Nessas frações, a área com braquiária (B) proporcionou maiores teores em comparação às áreas sem planta (SP), enquanto que não houve diferenças da área com estilosantes (E) em relação a MAM da área B, com está apresentando efeito equivalente a SP.

Os efeitos das coberturas do solo na relação C:N foram verificados apenas na MOL_L , com a área sem planta (SP) apresentando os maiores valores e a área com estilosantes (E) os menores valores (Tabela 16). Atribui-se esse resultado, a grande quantidade de N adicionado ao solo por parte dessa leguminosa forrageira.

Tabela 14 - Teores de carbono nas frações da matéria orgânica de mesoagregados na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
C-MOL+MOP		(g kg ⁻¹)			
	Mata	13,26 ± 6,17			
	T	0,85	2,27	1,12	1,41 AB
	AC	2,23	1,68	1,59	1,83 A
	AQ	0,89	1,07	1,08	1,01 B
	AC+AQ	0,70	0,84	0,75	0,76 B
	Média	1,16 a	1,46 a	1,13 a	1,25 ± 0,20
C-MOL _{-L}	Mata	1,132 ± 0,455			
	T	0,004	0,134	0,005	0,048 A
	AC	0,011	0,156	0,025	0,064 A
	AQ	0,0003	0,113	0,006	0,040 A
	AC +AQ	0,008	0,039	0,006	0,018 A
	Média	0,006 b	0,111 a	0,011 b	0,042 ± 0,022
C-MOP _G	Mata	3,89 ± 1,84			
	T	0,50	1,31	0,44	0,75 AB
	AC	1,65	1,12	0,71	1,16 A
	AQ	0,58	0,51	0,59	0,56 B
	AC+AQ	0,48	0,47	0,44	0,46 B
	Média	0,80 a	0,85 a	0,54 a	0,73 ± 0,14
C-MOP _F	Mata	4,52 ± 1,63			
	T	0,34	0,82	0,68	0,61 A
	AC	0,57	0,42	0,86	0,62 A
	AQ	0,30	0,45	0,49	0,41 AB
	AC+AQ	0,21	0,33	0,30	0,28 B
	Média	0,36 a	0,50 a	0,58 a	0,48 ± 0,09
C-MAM	Mata	53,27 ± 6,02			
	T	12,29	12,88	12,14	12,44 B
	AC	11,32	14,22	14,73	13,43 AB
	AQ	14,41	15,25	14,41	14,69 AB
	AC+AQ	14,37	18,09	14,83	15,76 A
	Média	13,09 b	15,11 a	14,03 ab	14,08 ± 0,74

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_{-L} = matéria orgânica leve livre; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; ± = intervalo de confiança; Médias

seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

Tabela 15 - Teores de nitrogênio nas frações da matéria orgânica de mesoagregados na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
N-MOL+MOP		(g kg ⁻¹)			
	Mata	0,646 ± 0,354			
	T	0,059	0,096	0,073	0,076 A
	AC	0,103	0,093	0,097	0,098 A
	AQ	0,056	0,069	0,073	0,066 A
	AC+AQ	0,051	0,066	0,080	0,066 A
	Média	0,067 a	0,081 a	0,081 a	0,076 ± 0,009
N-MOL ⁻ _L	Mata	0,054 ± 0,022			
	T	2,47x10 ⁻⁰⁵	3,29 x10 ⁻⁰³	2,87 x10 ⁻⁰⁴	1,20 x10 ⁻⁰³ A
	AC	5,17 x10 ⁻⁰⁴	7,12 x10 ⁻⁰³	9,24 x10 ⁻⁰⁴	2,85 x10 ⁻⁰³ A
	AQ	1,13 x10 ⁻⁰⁵	3,57 x10 ⁻⁰³	2,65 x10 ⁻⁰⁴	1,28 x10 ⁻⁰³ A
	AC +AQ	2,02 x10 ⁻⁰⁴	1,63 x10 ⁻⁰³	2,47 x10 ⁻⁰⁴	6,92 x10 ⁻⁰⁴ A
	Média	1,89 x10 ⁻⁰⁴ b	3,90 x10 ⁻⁰³ a	4,31 x10 ⁻⁰⁴ b	0,0015 ± 0,0007
	N-MOP _G	Mata	0,323 ± 0,196		
T		0,036	0,047	0,029	0,037 A
AC		0,065	0,059	0,048	0,058 A
AQ		0,037	0,032	0,037	0,035 A
AC+AQ		0,021	0,037	0,047	0,035 A
Média		0,040 a	0,044 a	0,040 a	0,041 ± 0,006
N-MOP _F		Mata	0,345 ± 0,127		
	T	0,023	0,046	0,043	0,037 A
	AC	0,037	0,027	0,048	0,037 A
	AQ	0,019	0,033	0,036	0,029 A
	AC+AQ	0,030	0,027	0,033	0,030 A
	Média	0,027 a	0,033 a	0,040 a	0,033 ± 0,005
	N-MAM	Mata	4,160 ± 0,206		
T		0,713	0,838	0,725	0,759 A
AC		0,810	0,931	1,022	0,921 A
AQ		0,818	0,951	0,850	0,873 A
AC+AQ		0,961	1,208	0,979	1,049 A
Média		0,825 b	0,982 a	0,894 ab	0,901 ± 0,061

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_{-L} = matéria orgânica leve livre; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; ± = intervalo de confiança; Médias

seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

Tabela 16 - Relação C:N em frações da matéria orgânica de mesoagregados na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
C:N-MOL+MOP		(g kg ⁻¹)			
	Mata	36,98 ± 39,39			
	T	15,68	23,70	20,67	20,02 A
	AC	20,99	17,83	16,16	18,32 A
	AQ	16,45	14,58	13,49	14,84 A
	AC+AQ	14,41	14,08	10,94	13,14 A
	Média	16,88 a	17,54 a	15,31 a	16,58 ± 1,63
C:N-MOL _{-L}	Mata	28,88 ± 0,00			
	T	155,00	40,67	19,00	71,56 A
	AC	21,32	21,97	27,02	23,44 D
	AQ	29,40	31,68	22,93	28,00 C
	AC +AQ	37,28	24,04	24,20	28,51 B
	Média	60,75 a	29,59 b	23,29 c	37,88 ± 8,61
C:N-MOP _G	Mata	13,88 ± 4,47			
	T	15,08	29,98	23,22	22,76 A
	AC	30,50	18,16	12,50	20,39 A
	AQ	17,31	17,26	12,55	15,71 A
	AC+AQ	21,88	18,16	12,25	17,43 A
	Média	21,19 a	20,89 a	15,13 a	19,07 ± 3,13
C:N-MOP _F	Mata	13,20 ± 0,29			
	T	17,64	20,34	15,82	17,93 A
	AC	7,98	15,77	16,58	13,44 AB
	AQ	16,96	13,06	14,63	14,88 AB
	AC+AQ	8,78	12,77	9,57	10,37 B
	Média	12,84 a	15,48 a	14,15 a	14,16 ± 1,52
C:N-MAM	Mata	12,86 ± 1,69			
	T	17,64	16,20	17,16	17,00 A
	AC	14,25	15,37	14,36	14,66 B
	AQ	18,17	16,49	17,32	17,33 A
	AC+AQ	14,95	15,11	15,35	15,14 AB
	Média	16,25 a	15,79 a	16,05 a	16,03 ± 0,50

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_L = matéria orgânica leve livre; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; ± = intervalo de confiança; Médias

seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

3.3.3. Microagregados

As frações MOP_G , MOP_F e MAM dos microagregados do solo (Tabela 17) apresentaram diferenças significativas nos teores de C entre os tipos de adubações. As duas primeiras frações (MOP_G e MOP_F) proporcionou teores de C estatisticamente superiores quando utilizou-se a adubação com cama de aviário (AC), o que não ocorreu com a testemunha (T) e as adubações AQ e AC+AQ. Na fração associada aos minerais (MAM), a adubação orgânica + química (AC+AQ) aumentou os teores de C, não diferindo das adubações AC e AQ, que apresentaram efeito equivalente à testemunha. Os teores de N nas frações MOP_F e MAM foram influenciados pelos tipos de adubações (Tabela 18), sendo que na MOP_F , a adubação orgânica (AC) aumentou os teores de N, não diferindo de T e AQ, apenas de AC+AQ que apresentou menor teor. Na MAM a adubação AC+AQ apresentou maiores teores de N, não diferindo de AC e AQ, apenas de T.

As relações C:N das frações MOL_L , MOP_G e MAM (Tabela 19) apresentaram diferenças significativas entre os tipos de adubações. Na MOL_L , a adubação AQ apresentou maiores valores e AC+AQ os menores, diferença essa que pode ser associada a quantidade de N introduzido ao solo pela adição de compostos orgânicos como a cama de aviário em complemento a adubação química. Na MOP_G , a adubação orgânica (AC) deveria apresentar os menores valores de C:N, entretanto, tal fato não ocorreu, tendo sido constatado maiores valores, diferindo da testemunha e das adubações AQ e AC+AQ. Na MAM, as menores relações C:N, esperadas pela aplicação de resíduos com grande quantidade de N, ocorreram, uma vez que AC reduziu a relação C:N, enquanto a testemunha apresentou os maiores valores.

Os teores de C na fração da MOL_L e MAM (Tabela 17) apresentaram diferenças significativas ($P < 0,10$) entre os tipos de coberturas. Nessas frações, a área com braquiária (B) proporcionou maiores teores em comparação à área sem planta (SP), entretanto, observou-se efeito equivalente a área com estilosantes. As coberturas do solo influenciaram os teores de N apenas na MOL_L (Tabela 18), apresentando mesmo efeito citado anteriormente para os teores de C na MOL_L .

Os efeitos das coberturas do solo na relação C:N foi verificado apenas na MOL_L , com a área sem planta apresentando maiores valores e a área com

estilosantes apresentando valores reduzidos (Tabela 19). Atribui-se esse resultado, a grande quantidade de N adicionado ao solo por parte dessa leguminosa forrageira.

Tabela 17 - Teores de carbono nas frações da matéria orgânica de microagregados na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
C-MOL+MOP		(g kg ⁻¹)			
	Mata	3,44 ± 0,75			
	T	0,78	0,93	0,97	0,89 B
	AC	1,91	2,09	1,80	1,93 A
	AQ	0,70	1,13	1,15	0,99 B
	AC+AQ	0,84	1,07	0,78	0,90 B
	Média	1,06 a	1,31 a	1,18 a	1,18 ± 0,17
C-MOL _{-L}	Mata	0,171 ± 0,121			
	T	0,002	0,016	0,007	0,008 A
	AC	0,002	0,013	0,004	0,006 A
	AQ	0,003	0,016	0,011	0,010 A
	AC +AQ	0,0002	0,019	0,009	0,009 A
	Média	0,002 b	0,016 a	0,008 ab	0,008 ± 0,003
C-MOP _G	Mata	0,03 ± 0,01			
	T	0,02	0,01	0,03	0,02 B
	AC	0,15	0,12	0,13	0,13 A
	AQ	0,02	0,05	0,002	0,02 B
	AC+AQ	0,02	0,01	0,02	0,02 B
	Média	0,05 a	0,05 a	0,04 a	0,05 ± 0,01
C-MOP _F	Mata	3,24 ± 0,70			
	T	0,76	0,90	0,94	0,87 B
	AC	1,75	1,96	1,67	1,79 A
	AQ	0,68	1,07	1,14	0,96 B
	AC+AQ	0,82	1,05	0,75	0,87 B
	Média	1,00 a	1,24 a	1,12 a	1,12 ± 0,16
C-MAM	Mata	52,98 ± 2,92			
	T	11,13	13,89	11,60	12,21 B
	AC	11,85	13,12	13,90	12,96 AB
	AQ	14,14	14,05	13,39	13,86 AB
	AC+AQ	13,91	17,74	14,29	15,32 A
	Média	12,76 b	14,70 a	13,30 ab	13,59 ± 0,71

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_L

= matéria orgânica leve livre; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; $\pm$ = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

Tabela 18 - Teores de nitrogênio nas frações da matéria orgânica de microagregados na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
N-MOL+MOP		(g kg ⁻¹)			
	Mata	0,207 ± 0,078			
	T	0,099	0,064	0,085	0,083 AB
	AC	0,092	0,149	0,115	0,119 A
	AQ	0,053	0,102	0,073	0,076 AB
	AC+AQ	0,071	0,062	0,052	0,062 B
	Média	0,079 a	0,094 a	0,081 a	0,085 ± 0,010
N-MOL _{-L}	Mata	0,009 ± 0,006			
	T	2,04x10 ⁻⁰⁵	5,42x10 ⁻⁰⁴	2,94x10 ⁻⁰⁴	2,86x10 ⁻⁰⁴ A
	AC	2,54x10 ⁻⁰⁵	2,99x10 ⁻⁰⁴	1,65x10 ⁻⁰⁴	1,63x10 ⁻⁰⁴ A
	AQ	3,51x10 ⁻⁰⁵	2,46x10 ⁻⁰⁴	3,89x10 ⁻⁰⁴	2,23x10 ⁻⁰⁴ A
	AC +AQ	7,96x10 ⁻⁰⁶	5,45x10 ⁻⁰⁴	2,71x10 ⁻⁰⁴	2,75x10 ⁻⁰⁴ A
	Média	2,22x10 ⁻⁰⁵ b	4,08x10 ⁻⁰⁴ a	2,80x10 ⁻⁰⁴ ab	0,0002 ± 0,0001
	N-MOP _G	Mata	0,010 ± 0,002		
T		0,009	0,008	0,008	0,008 A
AC		0,012	0,011	0,010	0,011 A
AQ		0,007	0,011	0,010	0,009 A
AC+AQ		0,004	0,010	0,007	0,007 A
Média		0,008 a	0,010 a	0,009 a	0,009 ± 0,001
N-MOP _F		Mata	0,189 ± 0,072		
	T	0,090	0,056	0,076	0,074 AB
	AC	0,080	0,138	0,105	0,108 A
	AQ	0,047	0,090	0,062	0,066 AB
	AC+AQ	0,067	0,052	0,045	0,055 B
	Média	0,071 a	0,084 a	0,072 a	0,076 ± 0,010
	N-MAM	Mata	3,367 ± 0,226		
T		0,587	0,796	0,674	0,686 B
AC		0,822	0,835	0,912	0,857 AB
AQ		0,759	0,820	0,814	0,798 AB
AC+AQ		0,858	1,136	0,985	0,993 A
Média		0,757 a	0,897 a	0,847 a	0,833 ± 0,061

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_L

= matéria orgânica leve livre; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; $\pm$ = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

Tabela 19 - Relação C:N em frações da matéria orgânica de microagregados na camada de 0-20 cm de solos com mata nativa e cafeeiro com plantas de cobertura intercalares e com diferentes adubações em área em recuperação após mineração de bauxita

Frações	Tipos de Adubação	Cobertura do solo			Média
		SP	B	E	
C:N-MOL+MOP		(g kg ⁻¹)			
	Mata	18,71 ± 6,64			
	T	8,94	17,34	11,52	12,60 A
	AC	24,24	14,14	15,08	17,82 A
	AQ	14,52	11,33	22,92	16,26 A
	AC+AQ	11,94	17,48	15,63	15,02 A
	Média	14,91 a	15,07 a	16,29 a	15,42 ± 2,30
C:N-MOL _{-L}	Mata	19,14 ± 0,00			
	T	75,00	29,21	24,90	43,04 C
	AC	85,00	43,54	24,00	50,85 B
	AQ	80,00	64,42	27,75	57,39 A
	AC +AQ	30,42	35,31	33,00	32,91 D
	Média	67,60 a	43,12 b	27,41 c	46,05 ± 5,33
C:N-MOP _G	Mata	3,43 ± 1,39			
	T	2,29	0,93	4,24	2,49 B
	AC	16,65	10,54	17,12	14,77 A
	AQ	2,45	6,00	0,18	2,88 B
	AC+AQ	3,29	2,38	3,60	3,09 B
	Média	6,17 a	4,96 a	6,28 a	5,81 ± 1,75
C:N-MOP _F	Mata	19,71 ± 7,57			
	T	9,84	21,06	14,96	15,29 A
	AC	25,42	14,59	15,28	18,43 A
	AQ	16,95	13,67	29,53	20,05 A
	AC+AQ	12,52	20,29	17,06	16,62 A
	Média	16,18 a	17,40 a	19,20 a	17,60 ± 3,06
C:N-MAM	Mata	14,09 ± 0,60			
	T	19,42	18,69	17,57	18,56 A
	AC	14,83	15,86	15,27	15,32 C
	AQ	19,29	17,59	16,90	17,93 AB
	AC+AQ	16,92	15,65	14,81	15,79 BC
	Média	17,61 a	16,95 a	16,14 a	16,90 ± 0,64

Mata = mata nativa; SP = sem planta intercalar; B = braquiária; E = estilosantes; T = sem adubação; AC = adubação orgânica; AQ = adubação química; AC+AQ = adubação orgânica + química; MOL_L

= matéria orgânica leve livre; MOP_G = matéria orgânica particulada grossa; MOP_F = matéria orgânica particulada fina; MAM = matéria orgânica associada aos minerais; $\pm$ = intervalo de confiança; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey a 10%.

4. CONCLUSÕES

A aplicação de cama de aviário nas áreas com braquiária (AC/B), dentre os tratamentos com adubação, foi o que melhor contribuiu para a agregação do solo, refletido na maior proporção de macroagregados e nos melhores valores dos índices de agregação do solo (DMP, DMG, AGRI e IEA) obtidos por tamisação úmida.

Os atributos orgânicos avaliados nas três classes de agregados, independentemente do tratamento, não se equivaleram à área de Mata nativa, demonstrando o processo de reabilitação da área.

Na avaliação dos atributos orgânicos, a distribuição dos teores de C e N nas três classes de agregados, não apresentou distinção. Entretanto, os compartimentos da matéria orgânica (MOL_L , MOP_G , MOP_F e MAM) nos mesoagregados, refletiram melhor as diferenças na dinâmica do C e N sob os sistemas utilizados, principalmente, quando da aplicação de adubações nas áreas de café consorciado com braquiária, podendo ser considerados indicadores sensíveis ao tipo de manejo do solo.

A análise dos atributos orgânicos em classes de agregados pode ser utilizada para averiguar os impactos das práticas de manejo e como auxiliam na recuperação da qualidade física do solo na fase de reabilitação.

CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação de corretivos e fertilizantes, principalmente os compostos com cama de aviário, isolada ou combinada com adubação mineral, proporcionaram o melhor desenvolvimento das forrageiras nas entrelinhas do cafeeiro, principalmente da braquiária, gerando rápida cobertura do solo e abundante sistema radicular, o que contribuiu para recuperar a qualidade do solo com aumento da agregação e dos atributos orgânicos, podendo representar uma opção para a sustentabilidade do sistema pelo condicionamento do solo em áreas de exploração mineral. Entretanto, o uso de leguminosa forrageira como o estilosantes, apesar das limitações fisiológicas, pode contribuir com a fixação simbiótica de N_2 há longo prazo.

REFERÊNCIAS

- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agriculture Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- BORGES, S.R. **Qualidade do Solo em Áreas em Recuperação com Forrageiras e Cafeeiro Pós-Mineração de Bauxita**. 2013. 123 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.
- CAROLINO DE SÁ, M.A. **Quantificação da energia para dispersão dos agregados de Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada**. 1998. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1998.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 527-538, 1998.
- CHRISTENSEN, B.T. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish Arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 35, p. 175-187, 1985.
- DEMARCHI, J.C.; PERUSI, M.C.; PIROLI, E.L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, p. 07-29, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212 p
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- FERNÁNDEZ, R.; QUIROGA, A.; ZORATI, C.; NOELLEMAYER, E. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. **Soil Tillage Research**, v. 109, p. 103-109, 2010.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotecnológica**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 515-524, 1999.
- FORSYTHE, W. **Física de suelos: manual de laboratorio**. New York, University Press, 1975. 324p.

GREGORICH, E.G.; KACHANOSKI, R.G. & VORONEY, R.P. Carbon mineralization in Soil size fractions after various amounts of aggregate disruption. **Journal Soil Science**, v. 40, p. 649-659, 1989.

JUNIOR, C.C.; PICCOLO, M.C.; NETO, M.S.; CAMARGO, P.B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono total e $\delta^{13}C$ em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1241-1252, 2011.

JUNIOR, C.C.; PICCOLO, M.C.; NETO, M.S.; CAMARGO, P.B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1311-1321, 2012.

KEMPER, W.D. **Aggregate stability of soils from western United States and Canada**. USDA-ARS. Technol. Bull. N^o. 1355. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC. 1966.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARCK, F.E., eds. **Methods of soil analysis**. American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy Series, 9)

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. p. 425–442. In A. Klute (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, 1986.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n. 10, p. 1269-1276, out. 2011.

MÁRQUEZ, C.O.; GARCIA, V.J.; CAMBARDELLA, C.A.; SCHULTZ, R. C.; ISENHART, T. M. Aggregate-Size Stability Distribution and Soil Stability. **Soil Science Society America Journal**, v. 68, p. 725–735, 2004.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.C.; COELHO, M.S.; MATEUS, R.F.; CARDOSO, I.M. Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2027-2035, 2008.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D.; NETO, L.F.S. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um luvisolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 825-831, 2005.

NETO, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A.; MAFRA, A.L.; MEDEIROS, J.C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1379-1388, 2008.

PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B.; SÁ MENDONÇA, E. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1109-1118, 2007.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p. 713-720, 2002.

RICCI, M.S.F.; ALVES, B.J.R.; MIRANDA, S.C.; OLIVEIRA, F.F. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 138-144, 2005.

SAHRAWAT, K.L. Assay of nitrogen supplying capacity of tropical Rice soils. **Plant Soil**, v. 65, p. 111 – 121, 1982.

SÁ, M.A.C.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; DIAS JUNIOR, M.S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 525-531, 1999.

SANTOS, D.C.; PILLON, C.N.; FLORES, C.A.; LIMA, C.L.R.; CARDOSO, E.M.C.; PEREIRA, B.F.; MANGRICH, A.S. Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um argissolo vermelho sob sistemas de uso no bioma pampa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1735-1744, 2011.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a Tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v. 162, p. 795–807, 1997.

SILVA, L.C.R.; CORRÊA, R.S. Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no cerrado revegetada com *Stylosanthes* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.835–841, 2010.

SOHI, S.P.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S., MADARI, B.; GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modelling. **Soil Science Society America Journal**, v. 65, p. 1121-1128, 2001.

TEDESCO, H.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Rio Grande do Sul, 1985.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soils. **Journal Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.B.; OLIVEIRA, V.S.; COSTA, Y.D.J.; CAVALCANTE, D.M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos Orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. :309-316, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 487-494, 2005.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v. 19, p. 1467 – 1476, 1988.