



ANDRÊSSA DE PAULA NAVES

**ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO,
CULTIVADO COM CAFEEIROS,
SUBMETIDO A ELEVADAS DOSES DE
GESSOAGRÍCOLA**

LAVRAS – MG

2016

ANDRÊSSA DE PAULA NAVES

**ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTRÓFICO, CULTIVADO COM CAFEEIROS, SUBMETIDO A
ELEVADAS DOSES DE GESSO AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro

LAVRAS – MG

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Naves, Andrêssa de Paula.

Atributos bioquímicos de um latossolo vermelho distrófico, cultivado com cafeeiro, submetido a elevadas doses de gesso agrícola / Andrêssa de Paula Naves. – Lavras : UFLA, 2015.

84 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Marco Aurélio Carbone Carneiro.

Bibliografia.

1. Gesso. 2. Cafeeiro. 3. Indicadores de Qualidade do Solo. 4. Cerrado. 5. Biomassa Microbiana. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

ANDRÊSSA DE PAULA NAVES

**ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTRÓFICO, CULTIVADO COM CAFEZEIROS, SUBMETIDO A
ELEVADAS DOSES DE GESSO AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em, 03 de julho de 2015.

Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães	EPAMIG
Dr. Orivaldo José Saggin Júnior	EMBRAPA

Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Orientador

**LAVRAS – MG
2015**

JÓ 14: 18-19 “E, na verdade, caindo a montanha, desfaz-se, e a rocha se remove do seu lugar. As águas gastam as pedras; as cheias afogam o pó da terra, e tu fazes perecer a esperança do homem”...

À Deus...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Jesus Cristo, aquele que é caminho, verdade e vida. Pela força que me destes para superar as dificuldades e não perder a fé e a esperança.

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciência do Solo, ao CNPq, à Epamig que tornaram possível a concretização desse sonho.

Ao Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro pela atenção, paciência, calma, pelos grandiosos ensinamentos. O senhor mostrou-me como um bom professor e profissional deve se portar, pois, acima de tudo seu coração é humano, caridoso... Nunca precisou ser superior a nenhum de seus orientados, pelo contrário entendia nossas falhas e nos tornava pessoas melhores. Não existem palavras para dizer-lhe o quanto sou grata ao senhor.

Ao projeto, Influência da aplicação prolongada e doses excessivas de gesso na comunidade de FMAs, e atributos bioquímicos do solo sob cafeeiro.

À banca de defesa pela disponibilidade e contribuição.

Agradeço aos meus pais Alexa e Wander pela mensagem valiosa que me ensinaram desde criança, que o estudo era a única herança que eles me deixariam, essa conquista também é de vocês. Agradeço minha irmã Maiquinha sempre prestativa a me ajudar nas análises, digitar tabelas, aprender a rodar estatística (na marra) só pra me ajudar, o meu muito obrigada a você lindeza! A minha avó Maelene e a Titia pelas orações, e também ao grupo de oração dos amigos, vó Nenza, primos e tios todas as terças-feiras.

Ao meu noivo Cleber que sempre compreendeu minha falta de tempo, e de paciência muitas vezes. Que mesmo longe, se preocupava como andava o experimento, as disciplinas. Suas mensagens de otimismo me ajudaram muito.

Aos técnicos do Laboratório de Microbiologia do Solo (LMS) Marlene e Manuel pela ajuda.

Agradeço aos órgãos de fomento CAPES, FAPEMIG e CNPq pelo apoio financeiro. E ao Departamento de Ciências do Solo - DCS/UFLA pelo apoio institucional.

Às amigas de trabalho que me ajudaram em todas as coletas Fran e Érikinha.

Aos amigos do Departamento Dú, Sasa, Rafael, Bombinha, pessoal do laboratório de fertilidade, Pezão, Dirce, Maria Alice, Damy, Lívia, Alfredão, Marcio, Denize, Zélio, Serguinho, Tiriri, Fabrício, Mateus, Maraisa, Amanda, Dani, Roberto, Andrezão, Taylor, Bruna. Ao grupo de estudos em micorrizas arbusculares; Lu, Douglas, Mari, Anita, Soraya, Laize por esclarecerem muitas dúvidas.

Aos proprietários da fazenda AP, em especial ao Alessandro e a sempre prestativa Joyce.

Aos amigos do laboratório pela convivência, e por agüentarem minha cantoria o dia inteiro, e da Jacque também. E a minha amiga Professora Doutora Laize Vilela, que me ajudou em todas as análises enzimáticas.

À república Três Marias por ter se tornado minha segunda casa. Sempre juntas pra tudo Tia Anita, Tiriri (Aryane), Vó (Soraya) e Tia Andrêssa.

Às amigas do grupo 'micobacter' Lina, Pati, Katia, Elaine, Rayssa, Lu, Flávia, pela atenção e os conselhos.

RESUMO

Com o aumento das pesquisas em solos da região Cerrado Brasileiro, foi possível o uso desses que inicialmente tinham problemas de baixa fertilidade, toxidez de Alumínio e baixa pluviosidade em alguns meses do ano. O uso do gesso agrícola foi um dos motivos que contribuiu para o sucesso das lavouras cafeeiras na região do cerrado. Os indicadores biológicos de qualidade de solo são utilizados para o monitoramento da qualidade do solo. Neste estudo objetivou-se a determinação da influência de diferentes doses de gesso em cafezais sobre os bioindicadores de qualidade do solo, e a relação dos mesmos a diferentes profundidades de amostragem. Foram realizadas duas coletas, com diferentes profundidades 0-5, 5-10 cm. As doses de gesso influenciaram o Carbono da Biomassa Microbiana, o Carbono Orgânico Total, a Respiração Basal, o Quociente Metabólico e atividade das enzimas Urease, Fosfatase Ácida, Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína. Foi encontrada interação significativa ($p \leq 0,05$) entre as profundidades de coleta (0-5 e 5-10 cm) para o Carbono da Biomassa Microbiana, atividade da Hidrólise do FDA, atividade da Fosfatase Ácida e Carbono Orgânico Total.

Palavras-chave: Gesso. Cafeeiro. Indicadores de Qualidade do Solo. Cerrado. Biomassa Microbiana. Enzimas do Solo.

ABSTRACT

With increasing research in Brazilian Cerrado soils, it was possible to use those that initially had low fertility problems, aluminum toxicity and low rainfall in some months of the year. The use of gypsum was one of the reasons that contributed to the success of coffee plantations in the Cerrado region. Biological indicators of soil quality are used for monitoring soil quality. This study aimed to determine the effect of different doses of gypsum in coffee plantations on soil quality bioindicators, and their relationship with different sampling depths. Two collections were performed, with different depths: 0-5, 5-10 cm. Gypsum doses influenced Microbial Biomass Carbon, Total Organic Carbon, Basal Respiration, Metabolic Quotient and the activity of the enzymes Urease, Acid Phosphatase, and Fluorescein Diacetate Hydrolysis. A significant interaction was found ($p \leq 0.05$) between collection depths (0-5 and 5-10 cm) for Microbial Biomass Carbon, FDA Hydrolysis activity, activity of Acid Phosphatase and Total Organic Carbon.

Keywords: Gypsum. Coffee Plantation. Indicators of Soil Quality. Cerrado. Microbial Biomass. Soil Enzymes.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1	Carbono Orgânico Total em função das doses de gesso aplicado (A) e nas profundidades estudadas (B).....	62
Figura 2	Carbono da Biomassa na primeira amostragem (A), em função das doses de gesso e profundidades e na segunda amostragem (B) em função das doses de gesso.....	64
Figura 3	Respiração microbiana do solo na primeira amostragem (A) em função das doses de gesso e das profundidades e da segunda amostragem (B) em função das doses de gesso.....	66
Figura 4	Avaliação do Quociente Metabólico na primeira (A) e segunda (B) amostragem.....	68
Figura 5	Atividade da urease em função das doses de gesso aplicado na primeira (A) e segunda (B) amostragem.....	69
Figura 6	Atividade da fosfatase ácida em função das doses de gesso na primeira amostragem (A) e da interação entre as doses de gesso a as profundidades estudadas (B) na segunda amostragem.....	71
Figura 7	Atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína em função das doses de gesso (A) na primeira amostragem e da interação entre os fatores na segunda amostragem (B).....	73

LISTA DE GRÁFICOS

ARTIGO 1

Gráfico 1	Estimativa da atividade da enzima Fosfatase Ácida no solo, nas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm, na primeira amostragem.....	72
Gráfico 2	Estimativa da atividade da enzima FDA, nas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm, na segunda amostragem.....	74

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 Recomendação de gessagem..... 24

ARTIGO 1

Tabela 1 Composição química original da área experimental, um Latossolo Vermelho distrófico, do município de São Roque de Minas, estado de Minas Gerais, na profundidade de 0 à 20 cm e submetido a diferentes doses de gesso agrícola..... 58

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	Café.....	19
3.2	Gessagem.....	21
3.3	Qualidade do solo.....	25
3.4	Indicadores Biológicos do solo.....	26
3.5	Biomassa Microbiana do Solo (BMS).....	27
3.6	Respiração Microbiana.....	30
3.7	Quociente metabólico (qCO_2).....	32
3.8	Enzimas do solo.....	33
3.9	Carbono Orgânico do Solo (COS).....	35
	REFERÊNCIAS	38
	SEGUNDA PARTE - ARTIGO	50
	ARTIGO 1 ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO, CULTIVADO COM CAFEEIRO, SUBMETIDO A ELEVADAS DOSES DE GESSO	51
2	MATERIAL E MÉTODOS	54
2.1	Área de estudo.....	57
2.2	Amostragem no campo.....	57
2.3	Preparo das amostras no laboratório.....	59
2.4	Determinação do Carbono Orgânico Total do Solo, Carbono da Biomassa Microbiana e da Atividade Microbiana do Solo.....	60
2.5	Estimativa da atividade enzimática.....	60
2.6	Análise estatística.....	61
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.1	Carbono Orgânico Total do Solo (COT).....	62
3.2	Carbono da Biomassa Microbiana (C-BM).....	63
3.3	Respiração Basal Microbiana.....	65
3.4	Quociente Metabólico (qCO_2).....	67
3.5	Enzima Urease.....	68
3.6	Enzima Fosfatase Ácida.....	70
3.7	Enzima Hidrólise do Diacetado de Fluorescína(FDA).....	72
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75

5	CONCLUSÃO.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	ANEXOS.....	82

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café do mundo. Na safra de 2014 colheu mais de 45,3 milhões de sacas beneficiadas, e o Vietnã que é o segundo maior produtor, deve produzir cerca de 29,3 milhões de sacas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO 2015).

A cultura do cafeeiro inicialmente se restringia a regiões Sul e Sudeste do Brasil, regiões propícias ao seu cultivo (ROTONDANO, 2004). Com o desenvolvimento de novas técnicas de manejo e cultivo do solo, esta cultura vem sendo implantada com sucesso na região do Cerrado brasileiro (MARTINS et al., 2007).

A cafeicultura da região fisiográfica do Alto São Francisco, por possuir limitações de precipitação, tem sua viabilidade ligada à recomendação de irrigação (MARTINS et al., 2007). Porém, como é um recurso natural cada vez mais escasso e em muitas propriedades não possuem reservas de água adequada à irrigação, ou mesmo capital disponível para implementação de sistemas de cultivo capazes de mitigar o déficit hídrico. Isso torna importante e altamente recomendável o uso de técnicas de manejo que possibilite a maximização da água disponível no solo (SANTINATO et al., 2008).

Os solos de Cerrado apresentam problemas de ordem química e nutricional, como alta acidez, baixa fertilidade natural e elevada toxidez de Alumínio (Al^{+3}) na superfície e na sub superfície, e associado a isso, a região apresenta longos períodos de veranico. Para seu cultivo são necessárias técnicas de correção e condicionamento do solo em profundidade com foco no aumento do sistema radicular e maior exploração do solo pelas plantas. Dentre essas técnicas destaca-se a gessagem.

A gessagem refere-se à aplicação de gesso agrícola no solo com intuito de fornecer cálcio e enxofre em profundidade, e reduzir a toxidez de Al^{+3} em

subsuperfície (SUMNER et al., 1995). O gesso é um subproduto da indústria química resultado da produção de ácido fosfórico, onde são utilizadas rochas fosfatadas tratadas com ácido sulfúrico. Ao final da reação tem-se como subproduto o sulfato de cálcio (CaSO_4).

Quando aplicado ao solo, o cálcio é deslocado para as camadas subsuperficiais, graças a sua alta mobilidade, disponibilizando cálcio na subsuperfície e o enxofre minimiza os efeitos da toxidez do Al^{+3} formando $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ atóxico para as plantas, promovendo melhorias no ambiente radicular em camadas mais profundas (NOVAIS et al., 2007).

Esta técnica propicia uma maior exploração do solo pelas raízes e condiciona maior desenvolvimento das plantas, devido ao efeito de potencializar a absorção de nutrientes e principalmente água (CARVALHO; RAIJ 1997). Ela é indicada para regiões onde há problemas de seca para o desenvolvimento de culturas perenes, como a cultura do cafeeiro (SERAFIM et al., 2011), a exemplo da região do Bioma Cerrado.

Em Minas Gerais, a gessagem já é utilizada em diversas propriedades da região do Cerrado, além de outras regiões e em outros estados como São Paulo e Espírito Santo (CARDUCCI, 2013). Na região dos Cerrados de São Roque de Minas, Vargem Bonita e Piumhi principalmente, aplica-se grandes quantidades de gesso ao solo, no entanto não há estudos sobre o efeito da sua aplicação de em grandes quantidades nos atributos bioquímicos do solo.

Os atributos bioquímicos do solo têm sido empregados em programas de monitoramento da qualidade do solo, visando manter os serviços ecológicos promovidos pelos microrganismos do solo voltados para a sua sustentabilidade (CARNEIRO et al., 2009). Entre eles destacam-se o carbono orgânico total, a biomassa microbiana, a atividade enzimática do solo, a respiração basal microbiana e quociente metabólico.

Nesse sentido, a avaliação dos atributos bioquímicos do solo pode fornecer informações sobre o impacto da aplicação de altas doses do gesso agrícola no solo. Portanto a avaliação dos efeitos da aplicação de grandes quantidades de gesso nos solos do Cerrado na cultura do cafeeiro e sua influência nos atributos bioquímicos do solo ainda não foi avaliada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de gesso agrícola nos atributos bioquímicos do solo.

2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliação da influência das doses de gesso no carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana, respiração microbiana, e quociente metabólico;
- b) Avaliação da influência das doses de gesso agrícola na atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína, fosfatase ácida e urease;
- c) E os atributos bioquímicos avaliados em diferentes profundidades nas doses de gesso agrícola estudadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Café

O café é mundialmente apreciado e foi inicialmente descoberto na Etiópia, por pastores de cabras e somente no século XVI, na Pérsia os primeiros grãos de café foram torrados para se tornarem a bebida que conhecemos hoje (RICCI, 2008).

O cafeeiro pertence à família Rubiaceae, subfamília Ixoroideae e tribo Coffeae DC (DAVIES et al., 2006). Dentro do gênero *Coffea* existem em torno de 100 espécies (DAVIES et al., 2006), porém apenas duas apresentam significância econômica no mercado mundial de café, o *Coffea arabica* L. (café arábica) e o *Coffea canephora* (café robusta). O café é uma das mercadorias mais importante do comércio mundial de produtos agropecuários, representando uma fonte importante de renda para vários países da América Latina, África e Ásia (DAMATTA, 2004).

O Brasil é o maior produtor de café do mundo e Minas Gerais o maior produtor do Brasil apresentando uma expectativa de safra para 2015 de 23,341 milhões de sacas de café (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO 2015). Para Petek e Patrício (2007) a grande diversidade de solos, climas, e níveis tecnológicos dos produtores de café no Brasil, gera uma constante necessidade de se desenvolver tecnologias para a cultura.

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) tem sua origem em regiões de grande altitude, entre 1600 a 2800 m., com precipitações elevadas em torno de 1600 a mais de 2000 mm anuais (DAMATTA et al., 2008).

No início o plantio das lavouras cafeeiras no país, era preferencialmente situado em regiões com boas condições climáticas e o balanço hídrico favorável ao desenvolvimento da cafeicultura. Dessa maneira, regiões com longos

períodos de veranico, como a região do Cerrado brasileiro, foram durante muito tempo não utilizadas para a cafeicultura. Porém com a ajuda do melhoramento genético e das evoluções dos tratos culturais e manejo do solo, a cafeicultura brasileira expandiu-se para os solos do cerrado, superando os problemas como a baixa fertilidade e o déficit hídrico, situação natural do Bioma Cerrado (SERAFIM, et al., 2011; MARTINS et al., 2007).

Conhecer o sistema radicular do cafeeiro é de extrema importância para o manejo do solo adequado a essa cultura e quando associado aos fatores edafoclimáticos, se torna importante para a otimização das práticas de cultivo. Para uma boa produção do cafeeiro, as raízes devem ser abundantes, profundas e bem ramificadas, para que ocorra uma boa adequação das atividades fisiológicas da cultura (RENA e GUIMARÃES, 2000). Essas características radiculares são de extrema importância para o desenvolvimento da cultura em solos de Cerrado.

Promover o desenvolvimento radicular torna-se uma prática importante para essa cultura, com melhoria dos atributos químicos do solo em sub superfície, através do manejo do solo, como a gessagem, a qual pode favorecer este desenvolvimento radicular do cafeeiro, que pode chegar 170 cm de profundidade (SERAFIM et al., 2013).

O cafeeiro é responsivo a melhoria química propiciada pela gessagem, e está é realçada quando acompanhada de práticas de manejo como controle da adubação, manutenção de culturas de cobertura na entrelinha, controle fitossanitário, entre outras. A cultura de cobertura na entrelinha se destaca por agir de maneira positiva sobre as propriedades físicas, químicas (SILVA et al., 2013) e biológicas além de preservar a fertilidade do solo (COSTA, 1993).

A cafeicultura da região do Alto São Francisco, por causa de suas limitações de precipitação, tem sua viabilidade relacionada à recomendação de irrigação (MARTINS et al., 2007). Visando contornar o problema da irrigação

foi criado o “sistema conservacionista de manejo intensivo de cultivo de cafeeiro”. Este sistema foi implantado na região fisiográfica do Alto São Francisco, MG, no município de Piumhi, entre outros municípios (CASTRO FILHO, 1998). Caracteriza-se pela aplicação de altas doses de gesso agrícola que são aplicadas no sulco de plantio e em faixa, associado ao cultivo de braquiária na entrelinha, chegada de terra nas plantas, plantio antecipado do cafeeiro, variedades de planta de café de porte baixo, uso de tração animal, espaçamento semi-adensado e monitoramento periódico da nutrição das plantas (SERAFIM, 2011).

Apesar deste sistema ter sido implantado, poucos são os estudos que validam sua eficácia e o seu impacto nos atributos físicos, químicos e biológicos/bioquímicos do solo (CARDUCCI, 2013; CARDUCCI et al., 2014; SERAFIM et al., 2011, 2013a, 2013b; SILVA, B. et al., 2012; SILVA, E. et al., 2013).

3.2 Gessagem

Segundo Marschner (2002), os principais impedimentos que limitam a penetração de raízes na subsuperfície são físicos (compactação) e químicos (acidez e toxidez de Al^{3+}), prejudicando assim a absorção de água e nutrientes.

No Brasil a toxidez de alumínio (Al^{3+}) é um fator importante a se observar, sendo de ocorrência generalizada na maior parte dos solos (OLMOS e CAMARGO, 1976), principalmente em solos altamente intemperizados como o de ocorrência no Bioma Cerrado.

Uma alternativa para a correção da acidez em profundidade é o uso do gesso agrícola com intuito de melhorar o ambiente radicular. O gesso é basicamente o sulfato de cálcio dihidratado, obtido como um subproduto da indústria (NOVAIS et al., 2007). Ele é aplicado na superfície do solo e, após sua

dissolução, desloca-se para a subsuperfície devido a sua alta mobilidade no solo (NOVAIS et al., 2007).

A utilização do gesso agrícola aumenta a disponibilidade de cálcio (Ca) e reduz a toxicidade de alumínio (Al^{+3}) na subsuperfície (SUMNER, 1995). A alta concentração de Al^{+3} pode causar uma menor taxa de crescimento das raízes, interferindo na absorção de nutrientes e água pelo sistema radicular das plantas (CLARKSON, 1967; MCCORMICK, 1972). Para a cultura do café o uso do gesso aumenta a produtividade, em consequência do cálcio fornecido pela aplicação do gesso e por se tratar do terceiro nutriente mais exigido e exportado pelo cafeeiro (GUIMARÃES, 1992; SILVA et al., 2004; RAIJ, 2008).

Marschener (2002) ressaltou que mesmo quando uma quantidade adequada de calcário é adicionada na superfície do solo, as raízes perdem severamente sua capacidade de explorar o solo em profundidade devido à acidez e concentrações elevadas de alumínio na subsuperfície. Portanto a aplicação de gesso nas camadas superficiais e posterior redistribuição para a subsuperfície tem-se um melhor crescimento radicular resultando em uma maior absorção de água pelas raízes (CARVALHO; RAIJ 1997), tornando-se uma prática de manejo importante principalmente em solos do Bioma de Cerrado.

O ânion SO_4^{2-} participa da redução da atividade de Al^{3+} e isso favorece o desenvolvimento radicular. Pavan (1983) encontrou dados de crescimento radicular de plantas de café em solo, equilibrado com soluções de $CaCl_2$ 0,01 mol/L e $CaSO_4$ 0,01 mol/L; Os resultados mostraram que o sulfato de cálcio promoveu a redução do alumínio livre em solução e com isso o maior desenvolvimento de raízes.

Para o cálculo da necessidade de gessagem no estado de São Paulo existe uma fórmula única:

$$NG = 6 \times \text{argila (g/kg)}$$

A fórmula é aplicada quando, na camada de solo de 20-40 cm a saturação por Al^{3+} é maior do que 40% e os teores de Ca^{2+} são inferiores a $4 \text{ mmol}_e/\text{dm}^3$. Entretanto, a recomendação explícita está apenas nas tabelas de adubação de cafeeiro e cana-de-açúcar (RAIJ ET AL., 1996).

Para a região dos Cerrados (SOUSA e LOBATO, 2002B) o cálculo de recomendação se baseia em dois momentos. O primeiro é o do diagnóstico, que decide se o gesso deve ser usado ou não. Assim, os autores afirmam haver grande probabilidade de resposta ao gesso se, nas camadas de 20-40 cm, ou de 30 a 50 cm, a saturação por alumínio for superior a 20% e o teor de cálcio for menor do que $5 \text{ mmol}_e/\text{dm}^3$. Nesses casos, recomenda-se:

Culturas anuais: $NG = 5 \times \text{argila (g/kg)}$

Culturas perenes: $NG = 7,5 \times \text{argila (g/kg)}$

A necessidade de gesso, NG, é dada em kg ha^{-1} e a argila expressa em g/kg. Os autores informam que as doses recomendadas de gesso tem efeito residual elevado de no mínimo 5 anos, podendo estender-se por 15 anos, dependendo do solo.

Em Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999), o gesso deve ser aplicado quando a camada subsuperficial (20 a 40 cm ou 30 a 60 cm) apresentar Ca^{2+} inferior a $5 \text{ mmol}_e/\text{dm}^3$ e/ou Al^{3+} maior do que $5 \text{ mmol}_e/\text{dm}^3$ e ou, ainda, quando a saturação de alumínio for maior do que 30%. A necessidade de gesso (NG), para uma camada de 20 cm de espessura, são:

Tabela 1 Recomendação de gessagem

Argila, g kg	NG, kg ha⁻¹
0 a 150	0,0 a 0,4
150 a 350	0,4 a 0,8
350 a 600	0,8 a 1,2
600 a 1000	1,2 a 1,6

Fonte: RIBEIRO et al. (1999).

Esta prática de manejo do solo favorece o aumento na produção como observado por Guimarães (1988), que encontrou resultados positivos à aplicação de gesso agrícola no solo do cultivo de cafezais, com aumento de 18 para 24 sacas por hectare em áreas que receberam 2,5 toneladas por hectare de gesso, quando comparada com cafezais que receberam somente calcário. A gessagem promove um maior desenvolvimento radicular, principalmente de raízes finas (CARDUCCI et al., 2014) e isso afeta os atributos físicos, químicos e biológicos/bioquímicos do solo. Silva, E. et al. (2013) apresentaram resultado positivo do uso do gesso na agregação do solo, mostraram que 90% dos agregados encontrados em todos os tratamentos pertenciam à classe > 2 mm de diâmetro, valor indicado por D'Andrea et al. (2002) como ideal para solos bem manejados. Também resultados satisfatórios no estoque de carbono orgânico total (COT) e concentração de Ca²⁺ (SILVA et al., 2013).

O uso de plantas de cobertura nas entrelinhas complementada com a prática da gessagem pode favorecer o aumento da entrada de carbono orgânico no solo via fitomassa e rizodeposição, favorecendo a CTC (pH 7,0), a ciclagem de nutrientes e contribuindo também para a conservação e armazenamento de água (AULER et al., 2008).

Para Rajj (2008), três são os fatores que restringem o maior uso do gesso agrícola na agricultura: o custo do transporte, que limita a distância da fonte até a propriedade agrícola em que o produto pode ser usado; a água contida no

fosfógeno, além de onerar o transporte, dificulta a aplicação; e a falta de informações quantitativas de resposta das culturas que permita uma análise econômica onde o custo de transporte é um ingrediente essencial.

3.3 Qualidade do solo

O termo qualidade do solo começou a ser usado a partir de 1990, após a publicação de um relatório intitulado “Soilandwaterquality – an agenda for agriculture” (NATURAL RESEARCH COUNCIL -NRCC, 1993).

Amplas definições descrevem a qualidade do solo como a capacidade sustentável de um solo absorver, armazenar e ciclar nutrientes, água e energia (GREGORICH et al., 1994).

Vários outros autores definem a qualidade do solo como:

- "capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água e do ar e suportar o crescimento humano” (KARLEN et al., 1997);
- "condição do solo relativa aos requerimentos de uma ou mais espécies biológicas e/ou de algum propósito humano” (JOHNSON et al., 1997);
- “capacidade do solo de sustentar a diversidade biológica, regular o fluxo de água e solutos, degradar, imobilizar e detoxificar compostos orgânicos e inorgânicos e atuar na ciclagem de nutrientes e outros elementos” (SEYBOLD et al., 1998).

Segundo Sojka e Upchurch (1999) a definição de qualidade de solo depende de três questões:

- a.1) essa definição de qualidade pode mudar para umamesma área de terra e mesmo uso, dependendo das condições clima;
- a.2) a definição pode mudar em função da habilidade do produtor em manejar sua área;
- a.3) a definição de qualidade deve mudar para cada cultivo e sistema de cultivo, para cada doença, praga, etc., já que o ambiente de cultivo altera a definição de qualidade do solo.

3.4 Indicadores Biológicos do solo

Segundo Doran e Parkin (1994) os indicadores de qualidade de solo podem ser físicos (estrutura do solo, capacidade de retenção de umidade, infiltração e densidade do solo, entre outros), químicos (nutrientes, acidez, toxidez, matéria orgânica do solo, entre outros) e biológicos/bioquímicos (fixação biológica de nitrogênio, micorrizas, biomassa microbiana, respiração microbiana, atividade enzimática, entre outros).

Bioindicadores podem ser propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam o estado deste ecossistema, sendo utilizados no biomonitoramento da qualidade do solo (DORAN e PARKIN; 1994). Biomonitoramento é a medida da resposta dos organismos vivos a mudanças no seu ambiente (WITTIG, 1993). Dentre os bioindicadores destacam-se os bioquímicos, como a biomassa microbiana, respiração microbiana e atividade enzimática do solo.

Os indicadores bioquímicos são utilizados em diversos trabalhos para a inferência dos sistemas de manejo e uso, na qualidade do solo (FONTANA, 2011; CARNEIRO et al., 2008, 2009, 2013; CARVALHO, 2010; FREITAS, 2014; JAKELAITIS, 2008; LEITE et al., 2010; LISBOA et al., 2012;

LOURENTE et al., 2011; MATIAS., 2009; SILVA et al., 2012). Mas mesmo assim ainda é difícil definir quais práticas de manejo devem ser adotadas, pelo fato dos bioindicadores sofrerem interferência dos fatores bióticos e abióticos do solo.

3.5 Biomassa Microbiana do Solo (BMS)

Segundo Moreira e Siqueira (2006) a biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como a parte da matéria orgânica constituída pelos organismos vivos com volume inferiores que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$. A biomassa desempenha importantes funções no solo, representa a parte viva e mais ativa da matéria orgânica e são responsáveis pelo funcionamento das atividades bioquímicas do solo (MOREIRA e SIQUEIRA., 2006). A BMS segundo Souza (2010), faz parte do compartimento central do ciclo do N, do C, do P e do S no solo atuando como reserva lábil desses nutrientes ou como decompositora da matéria orgânica e também participa do fluxo de energia no solo (SILVA e MENDONÇA., 2007). Em termos de proporção a biomassa microbiana é a menor fração do C orgânico do solo (GAMA-RODRIGUES, 2005).

O monitoramento da qualidade dos solos pode ser feito apartirda BMS e sua atividade (FREITAS., 2014; LOURENTE et al., 2011; MARTINS et al., 2010; MATIAS et al., 2009). Como a biomassa microbiana apresenta uma rápida taxa de ciclagem, este compartimento reflete mudanças conforme os fatores abióticos e práticas de manejo antes mesmo que ocorram mudanças nos níveis de matéria orgânica. Portanto, tantos os valores absolutos de CBM, NBM e respiração, como os índices; quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), CBM:C e NBM:N, seriam potenciais indicadores da qualidade do solo (GAMA-RODRIGUES, 2005).

Solos com altas doses de matéria orgânica são favoráveis ao desenvolvimento microbiano, por causa do maior conteúdo de carbono orgânico prontamente disponível (FERREIRA et al., 2007; PIMENTEL et al., 2008). E em solos com adição de resíduo vegetal de baixa qualidade nutricional, os microrganismos encontram-se sob estresse, tornando-se incapazes de utilizar totalmente o N e o C orgânico (WARDLE, 1992). Nunes et al. (2009) encontrou elevados teores de carbono da BMS em solos com monocultivo do cafeeiro após a recepção do cafezal, que é responsável pelo aumento dos resíduos orgânicos devido a morte das raízes e deposição de material na superfície.

A conversão de áreas nativas em agricultáveis pode refletir de maneira negativa na comunidade microbiana do solo (SILVA et al., 2012), bem como o manejo do solo pode influenciar o desenvolvimento da BMS (CARBONE et al., 2013; LEITE et al., 2010; SILVA et al., 2012). O sistema de plantio direto, pelo fato de não haver revolvimento do solo proporciona condições favoráveis ao desenvolvimento da BMS (BANDICK e DICK, 1999; MENEZES, 2008; SILVA et al., 2010). Já o sistema de plantio convencional contribui para a redução da densidade e diversidade de microrganismos do solo (LEITE et al., 2010). Apesar de existirem trabalhos sobre os diferentes sistemas de manejo do solo, ainda tem-se uma falta de informações sobre sistemas conservacionistas de culturas perenes como o cafeeiro.

Em solos de cerrado nativo os teores de carbono da BMS podem ser maiores devido diversidade de espécies da vegetação, que implica na deposição contínua de substratos orgânicos com composição variada na serapilheira, favorecendo maiores teores de carbono da biomassa microbiana (CORREIA e ANDRADE 1999, D'ANDRÉA et al. 2002, MATSUOKA et al. 2003). Entretanto cada caso deve ser observado separadamente. Por exemplo, áreas sob plantio direto podem apresentar maiores densidades de BMS quando comparadas com áreas de cerrado nativo. Se a área sob plantio direto foi

revolvida recentemente, isso acarreta um aumento da população de microrganismos, devido a incorporação da matéria orgânica e exposição da mesma que antes estava protegida e pelo aumento temporário da aeração (SOUZA et al., 2006; CARVALHO, 2010).

A textura do solo exerce influência sob a BMS, pelo fato dos maiores teores de argila aumentarem a adsorção de compostos orgânicos e nutrientes, favorecendo o desenvolvimento dos microrganismos (PIMENTEL et al., 2008). Os teores de umidade do solo também interferem na BMS, sendo períodos chuvosos propícios ao desenvolvimento dos microrganismos (FERREIRA et al., 2007; GAMA-RODRIGUES et al., 2005; SILVEIRA et al., 2006). Durante a estação seca parte dos microrganismos morre, havendo a diminuição da BMS (FERREIRA et al., 2007; LOURENTE et al. 2011; PIAO et al., 2000).

A profundidade de coleta (FERREIRA et al., 2007; MATIAS., 2009), as diferentes plantas cultivadas e estádios de desenvolvimento das culturas podem também alterar a biomassa microbiana dos solos do Cerrado (BERNARDES et al., 2006). Chama-se atenção ao incremento de carbono da BMS causado pelas gramíneas (BARRETO et al., 2006; DAANE et al., 2001; FREITAS., 2014; MARCO et al., 2013), pelo fato de possuírem denso sistema radicular (ALVARENGA et al., 1999). Ao redor das raízes das plantas existe uma zona de influência radicular, a rizosfera, onde ocorre maior exudação de compostos como aminoácidos, carboidratos, enzimas, proteínas, hormônios e vitaminas (CORDEIRO et al., 2012; KLUEPFEL., 1993).

Dessa forma, a BMS é influenciada pelo clima, pela aeração, pela disponibilidade de nutrientes minerais e pelo C orgânico do solo (SOUZA, 2010). Suas atividades são muito sensíveis e podem ser influenciados pelos fatores bióticos e abióticos (VARGAS e SCHOLLES, 2000; ANDRADE, 1999). Sendo estudos mais aprofundados necessários para que se possam interpretar as suas relações com os fatores do solo.

Ainda existem poucos estudos da interação da BMS com solo cultivado com monocultivo de cafeeiros (NUNES et al., 2009), sendo a grande maioria dos sistemas pesquisados encontravam-se sob cultivo orgânico (MARCHIORI JR. e de MELO., 2000; MARTINS et al., 2011; VILLATORO, 2004). Isto demonstra a carência de informações sobre a BMS em monocultivo do cafeeiro em sistemas convencionais e conservacionistas.

3.6 Respiração Microbiana

Os processos microbianos são uma parte integral da qualidade do solo, e as atividades dos microrganismos que nele vivem podem servir como indicador biológico para a compreensão da estabilidade e produtividade dentro de um sistema (TURCO e BLUME, 1999). A respiração microbiana do solo é um processo que representa a atividade biológica do solo definido como a produção de CO₂ ou o consumo de O₂ como resultado de processos metabólicos dos organismos vivos do solo (PARKIN et al., 1996). A respiração é um indicador sensível e revela rapidamente alterações nas condições ambientais que afetam a atividade microbiana (de-POLLI; PIMENTEL, 2005).

Diversos fatores interferem na atividade da BMS, tais como a composição química dos substratos orgânicos, substâncias inibidoras de crescimento microbiano, fatores nutricionais do solo (MERCANTE et al., 2008) e profundidade de amostragem (MATIAS, 2009) devido a atividade diminuir com a profundidade. Além disso, as diferentes épocas de amostragem do solo como período seco ou chuvoso, também interferem na respiração microbiana, sendo os maiores taxas de respiração encontradas no período chuvoso (GAMA-RODRIGUES, 2005; SILVEIRA et al., 2006). Nunes et al., (2009) observaram uma diminuição de até 70% na respiração microbiana, em solos de cafezais, no período da seca.

Elevadas taxas de respiração podem ser causadas pelo aumento do carbono orgânico disponível aos microrganismos (OLIVEIRA, 2012). Os microrganismos do solo primeiramente mineralizam compostos orgânicos de menor complexidade estrutural e, somente depois os compostos com menor labilidade, o que torna a atividade mais constante e dependente da disponibilidade de nutrientes do solo (CARVALHO et al., 2008; GIACOMINI et al., 2008).

O constante aporte de matéria orgânica no solo pode promover maior atividade da BMS (ISLABÃO et al., 2011). Como consequência da maior atividade microbiológica há um aumento da decomposição da matéria orgânica, com posterior incorporação de carbono orgânico ao solo (SILVA et al., 2012).

Roscoe et al. (2006) afirmaram que altas taxas de respiração podem ser interpretadas como uma característica desejável do ponto de vista da decomposição e posterior disponibilização de nutrientes para as plantas. Entretanto a biomassa pode ser considerada mais eficiente quando existe uma menor perda de C pela respiração (INSAM e DOMSCH, 1998). As altas taxas de respiração desse modo podem ser consideradas desejáveis ou não, indicando distúrbios ou altos níveis de produtividade do ecossistema (ISLAM e WEIL, 2000). Observa-se então que a interpretação dos dados de respiração deve ser cautelosa, uma vez que o incremento na atividade respiratória pode ser desencadeado tanto pela alta produtividade de um determinado ecossistema, quanto pelo estresse advindo de distúrbios ambientais (SILVA et al., 2007).

Os sistemas de manejo adotados no cultivo do solo influenciam a atividade da BMS (CARNEIRO et al., 2013). Solos sob sistema de plantio direto podem apresentar elevados valores de respiração microbiana (LISBOA et al., 2012), ou baixos valores se a biomassa microbiana ainda estiver em processo de adaptação (D'ANDREA et al., 2002). Freitas (2014) e Martins et al. (2012) encontraram maiores valores CO_2 em áreas de plantio direto, integração

lavoura pecuária e plantio direto, enquanto nas culturas de eucalipto e do cafeeiro uma menor emissão de CO₂ pelos microrganismos. Por isso o estudo de caso é de extrema importância para se inferir sob a qual manejo deve ser usado.

Existe uma falta de informações sobre a respiração da BMS de cafeeiros em sistemas convencionais de cultivo (NUNES et al., 2009), observando-se grande maioria dos estudos em sistemas agroflorestais ou orgânicos de cultivo (MARTINS et al., 2011; SEVERINO e OLIVEIRA, 1999; VILLATORO, 2004).

3.7 Quociente metabólico (qCO₂)

A combinação das medidas de carbono microbiano e respiração basal fornecem a quantidade de CO₂ liberada por unidade de biomassa, denominada quociente metabólico ou respiratório (qCO₂). O qCO₂ indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo indicador sensível para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (SAVIOZZI et al., 2002; MONTEIRO; RODRIGUES, 2004).

Elevadas taxas de qCO₂ indicam maiores perdas de carbono no sistema pela respiração por unidade de carbono da BMS (MELLONI et al., 2008). Em situações adversas são encontrados maiores valores de qCO₂ pois os microrganismos gastam mais energia para sua manutenção em função do crescimento populacional (ANDERSON e DOMSCH, 2010). O aumento do qCO₂ pode inclusive demonstrar uma maior mineralização da biomassa (MARTINS et al., 2010), por isso quando se adiciona resíduos no solo há um aumento no qCO₂ (BROOKES, 1990). Dessa maneira, pode-se dizer que o aumento da respiração por unidade de biomassa microbiana nos revela sistemas menos estáveis (INSAM e DOMSCH, 1988).

No verão elevadas taxas de respiração e de qCO_2 indicam uma maior decomposição da matéria orgânica, com imobilização de nutrientes na biomassa microbiana e liberação de parte destes nutrientes para a solução do solo (LOURENTE et al., 2011).

Reduções no qCO_2 resultam numa menor perda de carbono e a longo prazo uma maior conservação de carbono no solo (FRANCHINI et al., 2007). Os menores valores de qCO_2 resultam no menor lançamento de CO_2 na atmosfera em detrimento da maior incorporação de C nas células microbianas (SOUZA et al., 2014).

Os muitos sistemas manejo existentes levam a BMS se comportar de maneira diferente. Maiores taxas de qCO_2 em sistema de plantio convencional são indicativos de estresse da comunidade microbiana (MATIAS et al., 2009). E em sistema de plantio direto o aumento do qCO_2 pode indicar que o sistema está sendo ineficiente na incorporação de carbono no solo, resultando em maiores perdas do carbono orgânico (ANDERSON e DOMSCH, 1993; CARNEIRO et al., 2013).

Menores valores de qCO_2 em áreas nativas refletem um ambiente com menor grau de distúrbios ou estresse (NUNES et al., 2009). Por isso sistemas e práticas de manejo que diminuam o qCO_2 são interessantes para a qualidade da microbiota do solo.

3.8 Enzimas do solo

As enzimas do solo possuem sua origem tanto de macro como microrganismos, incluindo plantas e animais, sendo a biomassa microbiana a principal fonte de enzimas no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A atividade enzimática do solo participa dos ciclos dos elementos no solo e são sintetizadas, principalmente pelos microrganismos (CARVALHO, 2005).

As enzimas participam do catabolismo biológico dos componentes minerais e orgânicos, e possui as características de ser relacionada com a matéria orgânica, com as propriedades físicas e com a atividade da biomassa microbiana (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007). Em razão da importância dos atributos biológicos para os processos que ocorrem no solo, verifica-se que estudos a respeito da quantidade e atividade da biomassa microbiana (DICK, 1997), bem como da atividade enzimática, podem fornecer subsídios para o melhor uso do solo (D'ANDRÉA et al., 2002).

Existem diversos métodos de quantificação das atividades enzimáticas microbianas no solo. Esses métodos consistem na incubação do solo em temperaturas e umidade controladas; algumas vezes essas podem ser induzidas pela adição de substratos que favorecem a reação. Várias enzimas são estudadas, dentre essas destacam-se a urease, fosfatase, β -glucosidase, proteases, celulases, desidrogenase, nitrogenase entre outras (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

A atividade das enzimas desidrogenase e hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) participam das vias de respiração dos microrganismos (OLIVEIRA, 2012). A adição de resíduos orgânicos como a palha de café, em lavouras de cafeiras, aumenta a atividade da FDA causada pela maior intensidade dos processos de decomposição da matéria orgânica (OLIVEIRA, 2012).

A enzima fosfatase está relacionada com o ciclo do fósforo no solo, o aumento dessa enzima no solo caracteriza mais fósforo orgânico sendo mineralizado (OLIVEIRA, 2012). Isso explica o fato de áreas de mata nativa ou mais preservadas, possuírem maiores concentrações de fosfatase (CARNEIRO et al., 2008; JAKELAITIS, 2008).

A atividade enzimática pode ser afetada pelas práticas de manejo do solo, ocorrendo reduções em sistemas de manejo convencional quando comparado

com o manejo conservacionista (AON et al., 2001). Solos da Zona da Mata (MG), cultivados com cafeeiro sofreram reduções da atividade enzimática em função do manejo adotado, ou seja, devido a aplicação de herbicidas que tornam o solo exposto após a morte das plantas invasoras (NUNES et al., 2009). A prática da gessagem na cultura do repolho altera a atividade enzimática do solo (NAHAS et al., 1997). Mas existe uma deficiência de estudos que tratam da influência do gesso na atividade enzimática do cafeeiro.

O não revolvimento do solo no sistema de plantio direto em solos do Cerrado, causa um aumento da atividade da enzima urease (CARNEIRO et al., 2013) e comparando solos cultivados com os solos do Cerrado Nativo encontrou-se uma diminuição da urease (FREITAS, 2014). O N proveniente da liberação de aminoácidos e bases nitrogenadas pela decomposição da matéria orgânica pode causar a inibição da atividade da enzima urease (VASCONCELLOS et al., 2001), assim como a enzima não é alterada quando o suprimento de N na cultura do cafeeiro é suficiente (OLIVEIRA, 2012).

A atividade das enzimas urease e fosfatase ácida, em um Neossolo Quartzarênico, são maiores em áreas de pastagem cultivadas e menores em áreas de pastagem nativa. Essa menor atividade em pastagem nativa pode estar relacionada à redução da disponibilidade de nitrogênio e fósforo, já que elas participam do ciclo destes nutrientes no solo (CARNEIRO et al., 2008).

3.9 Carbono Orgânico do Solo (COS)

O carbono orgânico possui a capacidade de indicar as alterações na qualidade do solo, pois atua nos atributos químicos, físicos e biológicos (LARSON e PIERCE, 1994). Por ser um atributo de fácil e rápida medição, e pelo fato de correlacionar-se a outros atributos do solo, o carbono orgânico é

indicador chave para verificar aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (SPARLING, 1997).

Na literatura, diversos trabalhos ressaltam o efeito do sistema de manejo na manutenção e na distribuição do carbono orgânico no solo (CARNEIRO et al., 2009; CARNEIRO et al., 2013; COSTA et al., 2008; LEITE et al., 2010; REEVES, 1997; TAVARES et al., 2001).

O cultivo dos solos tende a diminuir os estoques de COS (FONTANA, 2011). Em áreas que não sofreram ação antrópica, como florestas nativas, o carbono orgânico encontra-se estável, entretanto quando solos que antes não sofriam ação antrópica, são submetidos ao manejo intensivo ocorrem perdas na sua qualidade e quantidade (ADDISCOT, 1992; CARNEIRO et al., 2013; SILVA et al., 2012). Áreas de floresta possuem mais COS quando comparadas a áreas de agricultura com plantas perenes e a agricultura com plantas anuais, pelo fato da agricultura diminuir o aporte de COS quando existe uma baixa adição de matéria orgânica na cultura (SILVA et al., 2012). Nunes et al. (2009) encontraram menores concentrações de COS em sistemas de monocultivo de cafeeiros em relação a solos de mata. Por isso, deve-se buscar manejos que alteram o mínimo possível o solo.

O estoque de carbono orgânico no solo sofre influência de fatores climáticos (LAL, 2005) das propriedades do solo, como textura, estrutura e mineralogia (ZINN et al., 2005; GRÜNEBERG et al., 2010). Adicionalmente, o manejo dos sistemas agrícolas exerce influência direta no estoque de COS, seja a partir de alterações nas propriedades do solo ou através do fornecimento de biomassa vegetal. Dessa maneira, os tipos de manejos agrícolas que favoreçam a manutenção da estrutura do solo e o conteúdo de biomassa da parte aérea e radicular, possuem a habilidade de sequestrar carbono atmosférico e consequentemente elevar o estoque de COS (BAYER et al., 2006; CARVALHO et al., 2009).

O sistema de plantio direto apresenta um maior teor de COS (MATIAS et al., 2009). A prática da gessagem na cultura da cana-de-açúcar aumentou os teores de COS nos solos do Cerrado (ARAÚJO, 2015). Maiores valores de COS quando se usa o gesso agrícola, são indicativos positivos ao uso dessa tecnologia além do maior rendimento das culturas devido o uso mais eficiente de nutrientes e água (ROSSETO et al., 2013).

As condições de umidade dos solos influenciam o aporte de carbono orgânico do solo (D'ANDRÉA et al., 2004). Silva et al. (2012) encontraram em áreas de pastagem e com floresta, maiores conteúdos de COS na época úmida. A qualidade da fitomassa adicionada ao solo também é um fator que interfere na dinâmica do COS do solo (OLIVEIRA, 2012).

O aumento do teor de carbono no solo resulta na retirada de CO₂ da atmosfera contribuindo para a mitigação do efeito estufa (CERRI et al., 2010). Este padrão se deve ao depósito de resíduos vegetais e à ausência da mobilização excessiva do solo para seu preparo, o qual diminui a exposição do carbono protegido nos agregados ao ataque da comunidade microbiana retardando o processo de decomposição (AL-KAISI e YIN, 2005). Nos solos do cerrado a biomassa microbiana constitui-se em uma maior porcentagem do carbono orgânico total em comparação com os solos cultivados (FERREIRA et al., 2007).

Rangel et al. (2007) avaliaram os efeitos de diferentes espaçamentos e densidades de plantio do cafeeiro sobre os estoques de COS, não encontrando correlação entre o COS e as variáveis analisadas. Porém, Pavan e Chaves (1996) estudando lavouras cafeeiras com uma alta densidade de plantas encontraram influência nos teores de COS, devido o grande aporte de resíduo vegetal produzido por unidade de área que implica em uma maior adição de carbono ao solo. Observa-se carência de estudos do COS na cultura do cafeeiro (SILVA et al., 2013), justificando-se portanto mais pesquisas nessa área.

REFERÊNCIAS

- ADDISCOT, T.M. Entropy and sustainability. *Eur. J. Soil Sci.*, Dordrecht, v. 46, p. 161-168, 1992.
- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de Cerrado com diferentes usos. *CiênciaAgrotecnica*, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.
- AL-KAISI, M. M.; YIN, X. H. Tillage and crops residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental Quality*, v.34, p.437-445, 2005.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil biology e biochemistry*, Elmsford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANDERSON, T. H., DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: The ecophysiological approach. *SoilBiologyandBiochemistry*, v. 42, n. 12, p. 2039-2043, 2010.
- ANDRADE, G. Interacciones microbianas en la rizosfera In: SIQUEIRA, J. O. M., F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Viçosa: SBCS,1999. p. 551-575.
- AON, M.A.; CABELLO, M.N.; SARENA, D.E.; COLANERI, A.C.; FRANCO, M.G.; BURGOS, J.L; CORTASSA, S. I.Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.18, n.3, p.239-254, 2001.
- ARAÚJO, Larissa Gomes. *Uso do gesso e sua influência na produção de cana-de-açúcar, atributos químicos e estoque de carbono no solo de Cerrado*. Dissertação (UnB). 2015.
- ARAÚJO, A.S.F. e MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos. *Biosci. J.*, v.23, p. 66-75, 2007.

AULER, P. A. M.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M. A. and NEVES, C. S. V. J. Produção de laranja 'Pêra' em sistema de preparo de solo e manejo nas entrelinhas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, n. 1, p. 363-364, jan/fev. 2008.

ALVES, T. S. et al., Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

BANDICK, A.K. & DICK, R.P. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.*, 31:1471-1479, 1999.

BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; FREIRE, M.B.G.S.; ARAÚJO, Q.R. & FREIRE, R.A. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. *Caatinga*, 19:415-425, 2006.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *SoilandTillageResearch*, Amsterdam, v.86, n.2, p.237-245, 2006.

BERNARDES, C.M.; SANTOS, M.A. População microbiana como indicadora de interferência de diferentes manejos de solos de cerrado com cultivo de soja. *BioscienceJournal*, Uberlândia, v.22, n.2, p.7-16, 2006.

CARDUCCI, C.E., Tomografia computada de raio-X na avaliação da porosidade de Latossolo e sua relação com o desenvolvimento radicular de cafeeiros. Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras, 2013

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; ROSSONI, D. F.; COSTA, A. L.; OLIVEIRA, L. M. Distribuição espacial das raízes do cafeeiro e dos poros de dois latossolos sob manejo conservacionista. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. 270-278, 2014.

CARNEIRO, M. A. C. et al., Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.

CARNEIRO, M.A.; CARNEIRO, C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. e SOARES, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:621-632, 2008.

CARNEIRO, M. A. C., SOUZA, E. D., PAULINO, H. B., SALES, L. E. O., VILELA, L. A. F. Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do Parque Nacional das Emas, Goiás= Attributes quality indicators in cerrado soils surrounding the Parque Nacional das Emas, state of Goiás, Brazil. *Bioscience Journal*, v. 29, ed. 6, 2013.

CARVALHO, F. Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.). 2005. Tese de mestrado (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.103, n.2, p.342-349, 2009.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 192, n. 1, p. 37-48, Jan. 1997.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *SoilandTillageResearch*, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010.

CARVALHO, A.M.X.; VALE, H.M.M.; FERREIRA, E.M.; CORDERO, A.F.P.; BARROS, N.F. & COSTA, D. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2709-2716, 2008.

CASTRO FILHO, C. M., 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. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; MAIA, S. M. F.; CERRI, C. E. P.; COSTA JÚNIOR, C.; FEIGL, B. J.; FRAZÃO, L. A.; MELLO, F. F. C.; GALDOS, M. V.; MOREIRA, C. S.; CARVALHO, J. L. N. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Scientia Agricola*, v.67, p.102-116, 2010

CLARKSON, D. T. Interactions between aluminum and phosphorus on root surfaces cell wall material. **Plant Soil**, v. 27, p. 347-355, 1967.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café safra/2015**, primeira estimativa. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_14_11_57_33_boletim_cafe_janeiro_2015.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015.

CORDEIRO, M. A. S.; CORA, J. E.; NAHAS, E. **Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta**. Revista brasileira de ciências do solo. Viçosa, v. 36, n. 6, 2012.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. de. **Formação deserapilheira e ciclagem de nutrientes**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p. 227-243, 1999.

DAANE, L. L.; HARJONO I.; ZYLSTRA G. J.; HÄGGBLÖM M. M. Isolation and characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacteria associated with the rhizosphere of salt marsh plants. **Appl Environ Microbiol**, 67, p. 2683–2691, 2001.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 1047-1054, 2002.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:179-186, 2004.

DAMATTA F.M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology** v. 16, p. 1- 6, 2004.

DAMATTA F.M., RONCHI C.P., MAESTRI M., BARROS R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology* v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

DAVIES A.P., GOVAERTS R., BRIDSON D.M., STOFFELEN P. An annotated taxonomic conspectus of genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society** v. 152, p. 465-512. 2006.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.

FERREIRA, E. A. R., D.V.S.; GOMES, A.C. & RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 1625-1635, 2007.

FRANCHINI, J.; CRISPINO, C.; SOUZA, R.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 18-29, 2007.

FREITAS, D. S. (2014). Densidade microbológica e potencial metabólico em cerrado nativo e cultivado. Dissertação. Universidade Federal de Goiás, 2014.

GAMA-RODRIGUES, E. F. B., N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 393-901, 2005.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C. & MIOLA, E.C.C. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2661-2668, 2009.

GREGORICH, E. G., M. R. CARTER, D. A. ANGERS, C. M. MONREAL, B. H. ELLERT, Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils, *Can. J. Soil Sci.*, v. 74, p. 367 – 385, 1994.

GRÜNEBERG, E.; SCHÖNING, I.; KALKO, E.K.; WEISSER, W.W. Regional organic carbon stock variability: A comparison between depth increments and soil horizons. *Geoderma*, Amsterdam, v.155, n.3, p.426-433, 2010.

GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Machado: Fundação Cargil. 1988. p. 123-166.

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

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microbial Ecology*, v. 15, n. 4, p. 177-188, 1988.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesq. Agropec. Trop.*, 38:118-127, 2008.

JOHNSON, D. L.; AMBROSE, S. H.; BASSET, J. J.; BOWEN, M. L. CRUMMEY, D. E.; ISAACSON, J. S.; JOHNSON, D. N.; LAMB, P.; SAUL, M.; WINTER-NELSON, A. E. Meanings of environmental terms. **Journal of Environmental Quality**, New York, v. 26, p. 581-589, 1997.

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

KLUEPFEL, D. A. The behavior and tracking of bacteria in the rhizosphere. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 31:441-472, 1993.

LOURENTE, E.R.P; MERCANTE, F.M.; ALOVISI, A.M.T.; GOMES, C.F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C.M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

LEITE, L. F.; GALVÃO, S. R.; HOLANDA NETO, M.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; DA SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, Viçosa, n. 1, p. 45-55, 2012.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J. de. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural e submetido a diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p1177-1182, 2000.

MARSCHENER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. London: Academic Press, 2002.

MARTINS, G. S. L. ; ABREU, V. P. ; CAMPOS, A. N. R. Respiração basal do solo acrescido de compostos orgânicos de carbono para monitoramento da qualidade biológica do solo. Resumos do VII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Fortaleza/CE – 12 a 16/12/2011.

MARTINS, G. S. L.; ABREU, V. P.; CAMPOS, A. N. R. Respiração basal e induzida por compostos orgânicos de carbono em solos de diferentes agroecossistemas da Zona da Mata de Minas Gerais. Revista Vértices, Campos dos Goytacazes/ RJ, v.14, n. Especial 2, p. 189- 201, 2012.

MARTINS, C.M.; GALINDO, I.C.L.; SOUZA, E.R. & POROCA, H.A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 34:1883-1890, 2010.

MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, abr./jun. 2007.

MATIAS, M.C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C. & ARAÚJO, A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. Acta Sci. Agron., 31:517-521, 2009.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sobre vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.

McCORMICK, L. H. B., F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, p. 799-807, 1972.

MELLONI, R.; PERREIRA, E.G.M. & ALVARENGA, M.I.N. Indicadores da qualidade do solo. Inf. Agropec., 29:17-29, 2008.

MENEZES, C.E.G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no médio Vale do Paraíba do Sul Pinheiral-RJ. Seropédica, Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p.160, 2008.

MENEZES; C.E.G.; PEREIRA, M.G.; CORREIA; M.E.F.; ANJOS, L.H.C.; PAULA, R.R. & SOUZA, M.E. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. Ci. Flor., 20:439-452, 2010.

MERCANTE, F. M. S., R.F.; FRANCELINO, C.S.F.; CAVALHEIRO, J.C.T. e OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta. Sci. Agron.**, v. 5, p. 479-485, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2006. p. 729

NAHAS, E.; DELFINO, J. H.; ASSIS, L. C. Atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo resultantes da aplicação de gesso agrícola na cultura do repolho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 160-166, 1997.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRCC. Soil and water quality: and agenda for agriculture. Washington, DC: National Academy Press, 1993. 542 p.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

NUNES, L. A. P. L.; DIAS, L. E.; BARROS, I. J. N. F.; KASUYA, M. C. M.; CORREIA, E. F. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da área remanescente de Cerrado mineira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2467-2474, 2009.

OLIVEIRA, S. M. ATIVIDADE MICROBIANA E. PROPRIEDADES BIOQUÍMICAS. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia.2012.

OLMOS, I.R.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, Rio de Janeiro, v.28, n.2, p.171-180, 1976.

PAVAN, M. A. Aplicação de alguns conceitos básicos da química na disponibilidade dos íons Al^{3+} para as plantas. Palestra apresentada no Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, disciplina de Solos Tropicais. ESALQ. 1983 (mimeo), 34 p.

PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D. Influência da densidade de plantio de cafeeiro sobre a fertilidade do solo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFEIEIRO ADENSADO, Londrina,1996. **Anais**. Londrina, IAPAR/CNPq, p.76-89, 1996.

PIAO, H. C.; HONG, Y. T.; YUAN, Z. Y. Seasonal changes of microbial biomass carbon related to climatic factors in soils from Karst areas of southwest China. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 30, n. 4, p. 294-297, 2000.

PIMENTEL MS, OLIVEIRA NG, COSTA JR, ALMEIDA DL E DE-POLLI H. Atributos químicos e microbianos do solo sob diferentes manejos no município de Seropédica/RJ. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 14 ed. 2, p. 307-317, 2008.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª edição. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim técnico 100).

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80 p. (Documentos, 37).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais –5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais, 1999. 359 p

RICCI, F. História do Café. **R. Bras. Ges. Des. Regional**, v. 4, p. 170-173, 2008.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

ROSSETTO, R.; VITTI, A.C.; GAVA, G.L.C; MELLIS, E.V.; VARGAS, V.P.; CANTARELLA, H.; PRADO, H.; DIAS, F.L.F.; LANDELL, M.G.A.; BRANCALIÃO, S.R.; GARCIA, J.C. Cana-de-açúcar - Cultivo com sustentabilidade, n. 142. International plant nutrition institute, Piracicaba, 2013. 13 p. Informações Agrônomicas.

ROTONDANO, A. K. F. Desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação. 2004. 60 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. Irrigação na cultura do café. 2. ed. Belo Horizonte: O Lutador, 2008.

SEVERINO, L. S.; OLIVEIRA, T. S. Sistema de cultivo sombreado do cafeeiro (*Coffearabica* L.) na região de Baturité, Ceará. *Revista Ceres*, v.46, p.635-652, 1999.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; SILVA, B. M.; ZEVIANI, W. M.; LIMA, V.M.P. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Piracicaba, v.17, p. 362–370, 2013a.

SERAFIM, M. E. O., G.C.; OLIVEIRA, A.S.; LIMA, J.M.; GUIMARÃES, P.T.G.; COSTA, J.C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto são francisco, MG: um estudo de caso. **Biosci. J.**, v. 27, p. 964-977, 2011.

SERAFIM, M. E., OLIVEIRA, G. C., DE, VITORINO, A. C. T., SILVA, B. M., CARDUCCI, C. E. Qualidade física e intervalo hídrico ótimo em Latossolo e Cambissolo, cultivado com cafeeiro, sob manejo conservacionista do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 733-742, 2013b.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREDJA, J. J. Soilresilience: a fundamental componentofsoilquality. **Soil Science**, Madison, v.164, p. 224-233, 1998.

SILVA, C.A.; MELO, L.C.A.; RANGEL, O.J.P.; GUIMARÃES, P.T.G. Coffee yield and fertility attributes of a latosol under influence of population density and liming management. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.28, n.5, p.1066-1076, 2004.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.275-374. 2007.

SILVA, B.M., OLIVEIRA, G.C., SILVA, E.A., OLIVEIRA, L.M., SERAFIM, M.E. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **BioscienceJournal**, Uberlândia, v. 28, n. 03, p. 338-345, 2012.

SILVA, E. A., OLIVEIRA, G.C., CARDUCCI, C. E., SILVA, B. M., OLIVEIRA, L. M., COSTA, J. C. Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado Latosol under Coffee crop. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 56, n. 1, p. 25-32, 2013.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N. e ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:1585-1592, 2010.

SILVEIRA, R, B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 48-55, 2006.

SOJKA, R.E.; UPCHURCH, D.R. Reservations regarding the soil quality concept; discussion. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n.5, p.1039-1054, 1999.

SOUSA, F. A., et al. Atividade microbiana e produção da lavoura cafeeira após adubação com dejetos líquidos de suínos. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, 2014.

SOUZA, E. D. C., S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá**, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.

SPARLING, G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Ed.). **Biological indicators of soil health**. Cambridge: CAB International, p. 97-120, 1997.

SPARLING, G. P.; SHEPHERD, T. G.; KETTLES, H. A. Changes in soil organic C, microbial C and aggregate stability under continuous maize and cereal cropping, and after restoration to pasture in soil from the Manawatu region. **New Zealand Soil and Tillage**, Wellington, v. 24, p. 225-241, 1992.

STRUCKHOFF, G. C. L., J. A.; PARKIN, G. F. Diversity of the chlorite dismutase Gene in Low and High Organic Carbon Rhizosphere Soil Colonized by Perchlorate-Reducing Bacteria. *Int. J. Phytoremediat.*, v. 15, n. 9, p. 830-843, 2013.

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. *Subs. manag. tech.*, p. 147-185, 1995.

TURCO, R. F. B., E. Indicators of soil quality. In: SIQUEIRA, J. O. M., F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). *Inter-relação fertilidade, biología do solo e nutrição de plantas*. Viçosa: SBCS, 1999. p. 529-550.

VASCONCELOS, C. A.; MARRIEL, I. E.; SANTOS, F. G.; MAGALHÃES, P. C.; OLIVEIRA, C. A. Resíduos de sorgo e a mineralização do nitrogênio em Latossolo Vermelho fase cerrado. *Scientia Agrícola*, v.58, p.373-379, 2001.

VILLATORO, A. A. *Matéria Orgânica e Indicadores Biológicos da Qualidade do Solo na Cultura do Café sob Manejo Agroflorestal e Orgânico*. Tese UFRR Instituto de Agronomia Curso de Pós-graduação em agronomia ciência do solo.2004.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam v.84, n.1, p.28-40, 2005.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biol. Rev.*, v. 67, p. 321-358, 1992.

WITTIG, R. General aspects of biomonitoring heavy metals by plants. In: MARKERT, B. (Org.) **Plant as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment**. Weinheim: VCH, 1993. p. 3-2.

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

ARTIGO 1

**ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTRÓFICO, CULTIVADO COM CAFEEIRO, SUBMETIDO A
ELEVADAS DOSES DE GESSO**

RESUMO

A prática da gessagem também tem contribuído para o sucesso da agricultura na região originalmente sob vegetação de Cerrado. Em conjunto com a gessagem a criação do “Sistema conservacionista de cultivo e manejo do solo” propiciaram o desenvolvimento da cultura do cafeeiro alguns municípios do Alto São Francisco. Os bioindicadores de qualidade do solo podem nos apontar se essas práticas estão afetando o solo de maneira positiva ou não. Neste estudo objetivou-se determinar a influência de doses elevadas de gesso em cafezais, sobre bioindicadores, avaliando como essas doses estão afetando a qualidade do solo. E influência das diferentes doses de gesso e profundidades de coleta. Foram realizadas duas coletas, com diferentes profundidades 0-10 cm. Ouve interação significativa ($p \leq 0,05$) das doses de gesso para: o Carbono da Biomassa Microbiana, o Carbono Orgânico total, a Respiração Basal, Quociente Metabólico, e atividade das enzimas: Urease, Fosfatase Ácida e Hidrólise do FDA. Foi encontrada interação significativa ($p \leq 0,05$) entre as profundidades de coleta (0-5 e 5-10 cm) para o Carbono da Biomassa Microbiana, atividade da Hidrólise do FDA, atividade da Fosfatase Ácida e Carbono Orgânico Total.

Palavras-chave: Gesso Agrícola. Cafeeiro. Indicadores Biológicos da Atividade do Solo. Cerrado.

ABSTRACT

Gypsum application has contributed to the success of agriculture in the region covered by Cerrado. Together with gypsum application, the creation of the “conservation system of soil cultivation and management” led to the development of coffee crops in some municipalities of Alto São Francisco. Soil quality bioindicators can show if such practices are affecting the soil in a positive way or not. This study aimed to determine the effect of high doses of gypsum in coffee plantations on bioindicators, evaluating how these doses are affecting soil quality, as well as the influence of different doses of gypsum and deep collection. Two collections were performed, with different depths: 0-10 cm. A significant interaction ($p \leq 0.05$) of gypsum doses was found for: Microbial Biomass Carbon, Total Organic Carbon, Basal Respiration, Metabolic Quotient and the activity of the enzymes Urease, Acid Phosphatase, and FDA Hydrolysis. A significant interaction was found ($p \leq 0.05$) between collection depths (0-5 and 5-10 cm) for Microbial Biomass Carbon, FDA Hydrolysis activity, activity of Acid Phosphatase and Total Organic Carbon.

Keywords: Gypsum. Coffee Plantation. Biological Indicators of Soil Quality. Cerrado.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das commodities mais importantes do Brasil, e para o ano de 2015 existe uma expectativa de safra de 44,25 milhões de sacas de 60 quilos beneficiadas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015).

A cafeicultura por muito tempo não se utilizou de áreas de solo originalmente sob vegetação de Cerrado, devido principalmente aos déficits hídricos (períodos de veranicos) comuns nesta região. Além disso, os solos sob Cerrado também possuem problemas de ordem química, como alta acidez, baixa fertilidade natural e elevada toxidez de Alumínio (Al^{+3}) na superfície e na sub superfície o que é facilmente resolvido pelas técnicas atuais de correção e condicionamento do solo em profundidade, com foco na melhoria do ambiente do sistema radicular e no seu aprofundamento e, por conseguinte maior exploração do solo (SERAFIM, 2011; MARTINS et al., 2007). Entre essas técnicas pode-se destacar a gessagem.

A gessagem refere-se à aplicação de gesso agrícola no solo com intuito de fornecer cálcio e enxofre em profundidade, e reduzir a toxidez de Al^{+3} em subsuperfície (SUMNER et al., 1995). Já que altas concentrações de Al^{+3} podem causar uma menor taxa de crescimento das raízes, interferindo na absorção de nutrientes e água pelo sistema radicular das plantas (CLARKSON, 1967; McCORMICK, 1972). Além disso, a prática da gessagem aumenta a produtividade em consequência do cálcio fornecido e por se tratar do terceiro nutriente mais exigido e exportado pelo cafeeiro (GUIMARÃES, 1992; SILVA et al., 2004; RAIJ, 2008).

A cafeicultura da região do Alto São Francisco (MG), devido às precipitações mal distribuídas ou insuficientes, tem sua viabilidade relacionada à recomendação de sua irrigação (MARTINS et al., 2007). Visando a ocupação desta região com a cafeicultura foi criado o “Sistema conservacionista e de

manejo intensivo de cultivo de cafeeiro” (SERAFIM, 2011). Este sistema é caracterizado principalmente pela aplicação de elevadas doses de gesso nos sulcos de plantio e nas linhas em faixa, associado ao cultivo de braquiária nas entrelinhas, da “chegada de terra” nas plantas na linha de plantio após aplicar o gesso em faixa, utilização de variedades de cafeeiro de porte baixo e monitoramento periódico da nutrição das plantas (SERAFIM, 2011). Esse sistema é adotado em várias propriedades nos municípios de São Roque de Minas, Vargem Bonita e Piumhi, e em outras regiões (CARDUCCI, 2013; CARDUCCI et al., 2014; CASTRO FILHO, 1998; RAMOS et al., 2013; SERAFIM et al., 2011, 2013a, 2013b; SILVA, B. et al., 2012; SILVA, et al., 2013). No entanto, não se tem estudos avaliando os efeitos da aplicação de elevadas doses de gesso agrícola nos atributos biológico/bioquímicos do solo.

A grande maioria dos estudos dos atributos bioquímicos em áreas de cafezais são em sistemas orgânicos ou agroflorestais de cultivo (MARCHIORI e MELO., 2000; MARTINS et al., 2011; THEODORO, 2014; VILLATORO., 2004). Havendo poucos estudos em lavouras cafeeiras convencionais (NUNES et al., 2009; SOUZA et al., 2014).

Dentre os atributos do solo, os biológicos/bioquímicos são considerados os mais sensíveis e podem atuar no monitoramento das alterações dos principais processos bioquímicos do solo importantes para a manutenção da sua funcionalidade (DORAN e ZEISS, 2000). A quantificação dos atributos bioquímicos do solo como o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal, o quociente metabólico e a atividade enzimática do solo podem ser usados para estudar os processos de transformação e ciclagem de nutrientes no solo (PRAGANA et al., 2012). Esses atributos do solo podem ser utilizados como bioindicadores da qualidade do solo (CARNEIRO et al., 2009) e fornecer informações importantes para tomadas de decisões de qual manejo deve ser adotado para ampliar a sustentabilidade do solo.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de doses elevadas de gesso agrícola no solo do Cerrado sob a cultura do cafeeiro, sobre os bioindicadores de qualidade do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo constou de um delineamento em blocos casualizados em um arranjo fatorial 5x2 em parcelas subdivididas, tendo cinco doses de gesso agrícola (0; 1,9; 3,5; 7 e 14 t ha⁻¹) como parcela principal e a profundidade de amostragem na subparcela, com 3 repetições.

2.1 Área de estudo

O estudo foi instalado e conduzido no município de São Roque de Minas, região fisiográfica do Alto São Francisco (MG), em uma lavoura cafeeira implantada em 2008 em que se estudava doses de gesso agrícola. O clima da região é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen, com precipitação pluvial média anual de 1.344 mm e estação seca bem definida nos meses de maio a setembro (MENEGASSE et al., 2002). A temperatura média anual é de 20,7°C, sendo o mês de janeiro o mais quente, com média 23,3°C, e julho o mês mais frio, 16,3°C. A área está localizada nas coordenadas 20°15'45" S e 46°18'17" W, com altitude média de 900 m.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2006), textura muito argilosa (660, 290, 50 g kg⁻¹ argila, silte e areia, respectivamente) por Santos et al. (2005) cujas características químicas e físicas encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 Composição química original da área experimental, um Latossolo Vermelho distrófico, do município de São Roque de Minas, estado de Minas Gerais, na profundidade de 0 à 20 cm e submetido a diferentes doses de gesso agrícola.

Tratamentos t ha ⁻¹	pH água	K ----mg dm ³ ---	P	Ca	Mg -----cmol _c dm ⁻³ -----	Al
0	5,0	170	0,6	0,6	0,2	0,1
1,9	4,1	117	0,9	1,2	0,3	0,0
3,5	4,3	192	1,2	1,3	0,5	0,0
7,0	4,9	171	2,5	1,8	0,6	0,0
14	4,0	203	1,5	1,6	0,4	0,0

0- sem gesso absoluto; 1,9- sem dose adicional de gesso na linha e 1,9 ton ha⁻¹ de gesso no preparo do solo, 3,5- 3,5 ton ha⁻¹ de gesso adicionais na linha; 7,0- 7 ton ha⁻¹ de gesso adicionais na linha; 14- 14 ton ha⁻¹ de gesso adicionais na linha.

Fonte: Análises feitas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Ufla, em 2014.

As parcelas foram compostas por 10 linhas de plantio com 21 m de comprimento comportando 36 plantas por linha com um espaçamento de 2,5 x 0,65 m e um total de 360 plantas por parcela. Para amostragem utilizou-se a linha central da parcela e como bordadura as 5 primeiras plantas do início das linhas.

A área experimental foi implantada em 2008, utilizando sistema de plantio semiadensado com 6060 plantas por ha. As mudas utilizadas foram de Catucaí Amarelo Multilínea (*Coffea arabica* L.). No preparo do solo foi empregada uma aração e duas gradagens com aplicação de corretivos em área total (calcário dolomítico 4 t ha⁻¹ + gesso agrícola 1,92 t ha⁻¹), ressaltando que somente o tratamento 0 (correspondente ao SG-A no croqui Figura 1) não recebeu gesso em nenhuma das fazes de implantação da lavoura. Também no preparo do solo para o plantio, fez-se na linha de plantio adubação com um formulado (08-44-00) enriquecido com 1,0% Zn e 0,5% B, aplicando 980 kg ha⁻¹, o K também foi fornecido através do formulado (20-00-20) 530 kg ha⁻¹. Para o plantio utilizou-se uma cavadeira adubadora para a abertura do sulco de plantio, a 0,60 m de profundidade e 0,50 m de largura. Nas entrelinhas da cultura cultivava-se braquiária, que foi formada antes do plantio dos cafeeiros

(SERAFIM, 2011) e é manejada em conjunto com a lavoura. As mudas de cafeeiro foram plantadas no início do período chuvoso 2008, até o final do mês outubro e o replantio até dezembro. Após o plantio das mudas foi feita uma adubação de plantio com adubo de liberação lenta (mistura de grânulos), com 31% de N e 11% de P_2O_5 , 30g por planta num total de 160 kg ha^{-1} .

No mês de janeiro de 2009 fizeram outras adubações de cobertura foram feitas 3 adubações com intervalo de 30 a 40 dias, utilizando-se o formulado 20-00-20, na dose de 110 kg ha^{-1} . Quatro meses após o plantio, fez-se aplicação de gesso agrícola em faixa sobre a linha da cultura, nas doses de: $3,5 \text{ t ha}^{-1}$, 7 t ha^{-1} e 14 t ha^{-1} com posterior “chegada de terra” na linha cultura em maio de 2009.

As adubações de produção foram feitas com base na diagnose visual, análise foliar e histórico da área, conjuntamente.

2.2 Amostragem no campo

As amostragens do solo para avaliação dos bioindicadores foram realizadas no final do verão (maio/2014) e no final do inverno (setembro/2014), onde foram coletados em torno de 2 kg de solo nas duas profundidades estudadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm na linha central da parcela, na projeção da copa das plantas e em três pontos de amostragem.

2.3 Preparo das amostras no laboratório

As amostras de solo coletadas foram armazenadas em caixas de isopor e imediatamente encaminhadas ao laboratório onde foram peneiradas, em peneira de malha 2mm e armazenadas em câmara fria.

2.4 Determinação do Carbono Orgânico Total do Solo, Carbono da Biomassa Microbiana e da Atividade Microbiana do Solo

O Carbono Orgânico Total do Solo (COT) foi determinado por oxidação do dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (EMBRAPA, 1997). A determinação do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) foi realizada pelo método da fumigação-extração (VANCE et al. 1987), que possui como princípio básico, a extração do carbono microbiano, após a morte dos microrganismos, e lise celular, pelo ataque do clorofórmio e liberação dos constituintes celulares e extração com K_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, oxidação com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,0667 \text{ mol L}^{-1}$ e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,0333 \text{ mol L}^{-1}$.

A atividade microbiana foi estimada pelo método da respiração basal (ALEF e NANNIPIERI, 1995) que mede o CO_2 evoluído durante a incubação do solo em sistema fechado. O CO_2 foi capturado em solução de NaOH ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$) que foi então titulado com HCl ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$). O Quociente Metabólico ($q\text{CO}_2$) foi determinado pela relação (Respiração Microbiana/Biomassa Microbiana) segundo metodologia descrita por Anderson e Domsh (1993).

2.5 Estimativa da atividade enzimática

A mensuração da atividade da fosfatase foibaseada na leitura em espectrofotômetro do p -nitrofenol resultante da atividade enzimática da fosfatase ácida, sendo o resultado expresso em μg de p -nitrofenol por grama de solo seco por hora (DICK et al., 1996). A quantificação da atividade da urease sebaseia na determinação da amônia liberada após a incubação do solo com uma solução de uréia, por duas horas, a 37°C (TABATABAI e BREMNER, 1972).

A Atividade Hidrolítica do Diacetato de Fluoresceína (FDA) foi estimada segundo Dick et al. (1996), sendo quantificado por espectrofotometria com comprimento de onda de 490 nm.

2.6 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o programa Sisvar, os resultados da atividade enzimática, carbono orgânico total e carbono da biomassa microbiana foram aplicados análise de variância. Para a análise da interação entre as doses de gesso e os atributos bioquímicos foi utilizada análise de regressão polinomial. As profundidades de amostragem foram comparadas usando teste T ao nível de 0,05% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Carbono Orgânico Total do Solo (COT)

Os fatores doses de gesso e a profundidade diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) mas não houve interação entre os eles (Tabela 1). O COT apresentou pequena variação entre as doses de gesso variando de 2,4 a 2,8 g kg⁻¹, e um comportamento quadrático em função das doses de gesso aplicadas, sendo que o maior COT foi observado na dose de 7,46 t ha⁻¹ de gesso e COT de 2,70 g kg⁻¹ (Figura 1). Na profundidade superficial apresentou 10 % de COT maior que na profundidade 5-10 cm diferindo significativamente (Figura 4).

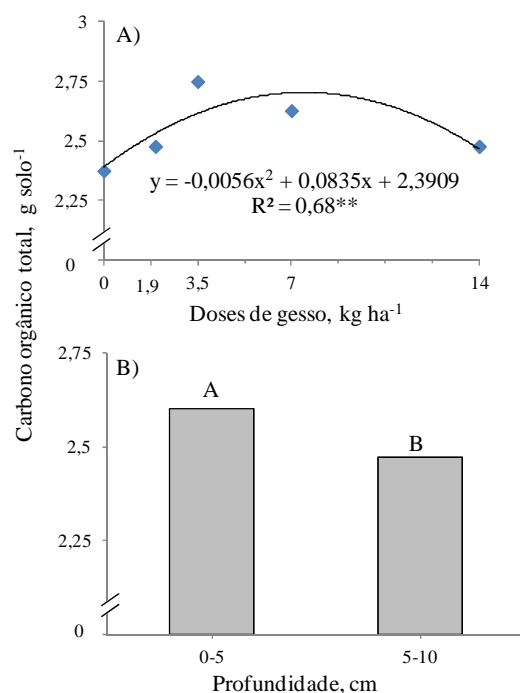


Figura 1 Carbono Orgânico Total em função das doses de gesso aplicado (A) e nas profundidades estudadas (B).

Fonte: Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFLA.

O COT mesmo apresentando diferenças significativas entre os tratamentos, em valores absolutos apresentam pequenas diferenças. No entanto deve-se considerar que na dose próxima a 7 t ha^{-1} apresentou melhor performance em relação a dose 0 de gesso e isso demonstra que nesta dose de gesso está ocorrendo a incorporação do COT, comprovado pela maior biomassa microbiana e baixa respiração. Belizário (2013), estudando o efeito da conversão de áreas de cerrado em cultivadas com cafeeiros, nos estoques de carbono do solo, encontrou maiores concentrações de carbono na camada de 0 a 5 cm de profundidade corroborando com os resultados encontrados.

3.2 Carbono da Biomassa Microbiana (C-BM)

O Carbono da Biomassa Microbiana apresentou efeito significativo da interação entre doses de gesso e profundidade na primeira amostragem e somente efeito da aplicação de gesso na segunda amostragem (Tabela 2). Na primeira amostragem as duas profundidades se comportaram de maneira semelhante possuindo ponto de máximo nas duas equações, com doses ótimas de gesso nas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm de $7,3 \text{ t ha}^{-1}$ e $6,9 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 2). Nota-se que a aplicação de gesso em torno de 7 t ha^{-1} incrementou a C-BM em mais de 80 e 145% nas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm, respectivamente, em relação a dose 0 de gesso e que na maior dose de gesso (14 t ha^{-1}) houve redução do carbono da biomassa microbiana do solo em 23 e 33% nas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm, respectivamente, em relação a dose 0 de gesso.

A aplicação do gesso no solo promove um maior desenvolvimento do sistema radicular (SERAFIM et al., 2013) do cafeeiro fato já relatado na literatura (CARDUCCI et al., 2014, CARDUCCI et al., 2015) e isso pode ter influenciado no maior C-BM devido a entrada de carbono via rizo deposição de

compostos orgânicos, ativando a microbiota do solo, principalmente na dose de maior C-BM, ou seja, na dose próxima a 7 t ha⁻¹. Além disso, as condições climáticas na primeira amostragem podem ter influenciado no comportamento do C-BM, principalmente relacionado a maior umidade do solo.

Na segunda amostragem, a dose 0 de gesso observou-se valores de C-BM próximos da primeira amostragem (Figura 2), no entanto, o mesmo comportamento não foi observado para as demais doses de gesso apresentando redução do C-BM com o aumento do gesso aplicado, sendo de 29% na maior dose de gesso em relação ao tratamento 0 de gesso aplicado.

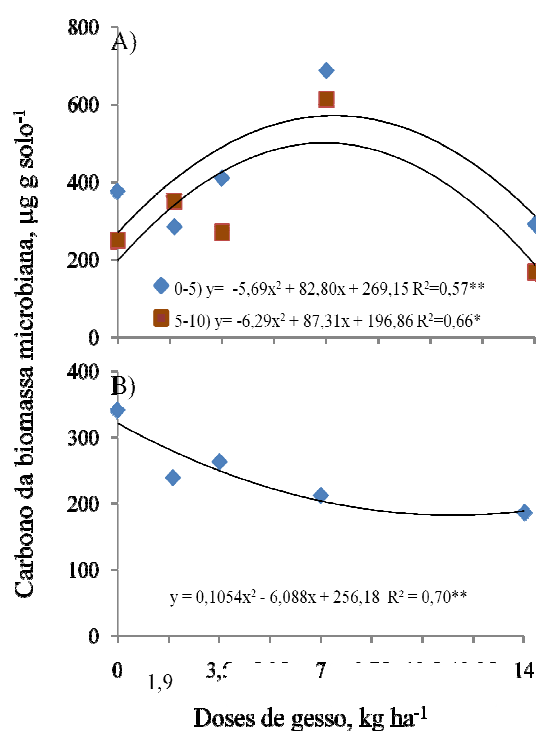


Figura 2 Carbono da Biomassa na primeira amostragem (A), em função das doses de gesso e profundidades e na segunda amostragem (B) em função das doses de gesso,

Fonte: Análises realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA.

Este resultado pode ser atribuído à um desequilíbrio químico do solo que de alguma forma afetou o C-BM agravado a baixa umidade do solo, pois neste ano (2014) houve um veranico severo. A baixa umidade do solo promove redução do C-BM como verificado, corroborando com estudo de Theodoro et al. (2003) e de Carneiro et al. (2008).

3.3 Respiração Basal Microbiana

A Respiração Microbiana do Solo foi influenciada significativamente pela interação entre os fatores na primeira amostragem e somente das doses de gesso na segunda amostragem (Tabela 1). Assemelhando-se ao resultado encontrado no C-BM. Do mesmo modo a falta de umidade do solo, fez com que todos os tratamentos da segunda coleta tivessem suas médias reduzidas, mostrando que possivelmente houve uma redução da população de microrganismos. Sabe-se que a respiração do solo pode ser dependente da umidade, temperatura, disponibilidade do substrato (BROOKES, 1995).

A primeira amostragem o comportamento da respiração microbiana diferiu-se entre as profundidades amostradas, sendo que na profundidade de 0 a 5 cm observou-se que com o aumento das doses de gesso houve uma redução da respiração microbiana do solo (Figura 3) apresentando mínima respiração do solo na dose de 6,8 t ha⁻¹, valor este próximo ao encontrado no C-BM que nos leva a acreditar que esta dose de gesso estaria aumentando a eficiência da população microbiana; Pelo fato de se estar perdendo menos carbono pela respiração.

Na segunda amostragem não encontrou-se ajuste de equação significativa ($p \geq 0,05$) que descrevesse o comportamento dos resultados obtidos, entretanto pode-se observar que a maior respiração microbiana do solo foi obtida na dose de 3,5 t ha⁻¹. A respiração microbiana do solo é um ótimo

indicador bioquímico do solo, pois apresenta elevada sensibilidade e pode indicar em curto prazo interferência na ciclagem de nutrientes e em longo prazo perda do carbono do solo (ALEF e NANNINPIERI, 1995). No entanto, sua avaliação isoladamente é extremamente difícil, pois vários fatores bióticos e abióticos podem estar influenciando nos resultados sendo mais coerente a avaliação associada com outros indicadores bioquímicos como o C-BM.

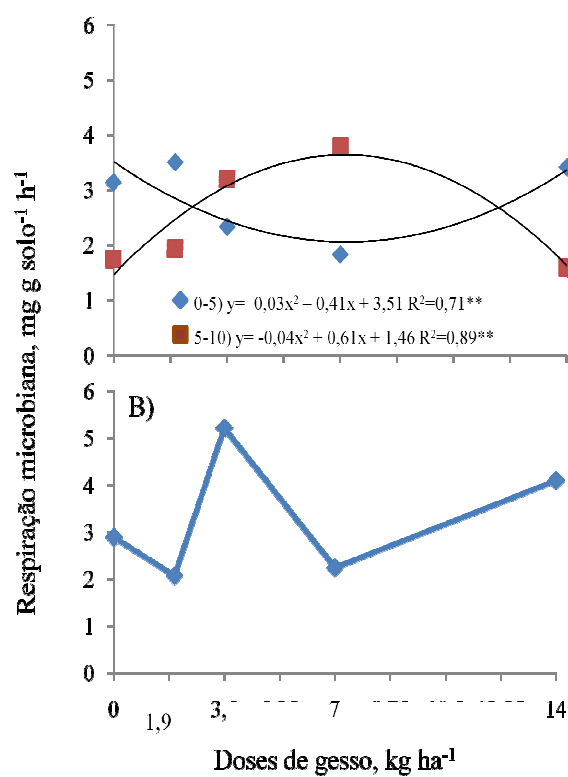


Figura 3 Respiração microbiana do solo na primeira amostragem (A) em função das doses de gesso e das profundidades e da segunda amostragem (B) em função das doses de gesso,

Fonte: Análises realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA.

3.4 Quociente Metabólico (qCO_2)

Somente as doses de gesso foram significativas ($p \leq 0,05$) nas duas épocas amostradas (Figura 4).

Na primeira amostragem os resultados do quociente microbiano mostraram redução com aumento da dose de gesso aplicado até $6,47 \text{ t ha}^{-1}$ e aumento na dose mais elevada (Figura 4). Já na segunda amostragem observou-se aumentos crescente do qCO_2 com as doses de gesso aplicadas ao solo (Figura 4).

O quociente microbiano qCO_2 refere-se a eficiência da biomassa microbiana em incorporar carbono no solo, sendo que valores elevados de qCO_2 indicam ambiente com algum tipo de estresse (biótico ou abiótico), ou seja demonstra que a biomassa microbiana gasta mais carbono (CO_2) para manter sua biomassa (ANDERSON e DOMSCH, 1993). No presente estudo nota-se que na segunda amostragem realmente há algum tipo de estresse, que pode ser o déficit hídrico, e que está ocorrendo um maior gasto de carbono pela população microbiana do solo para manutenção de sua biomassa microbiana.

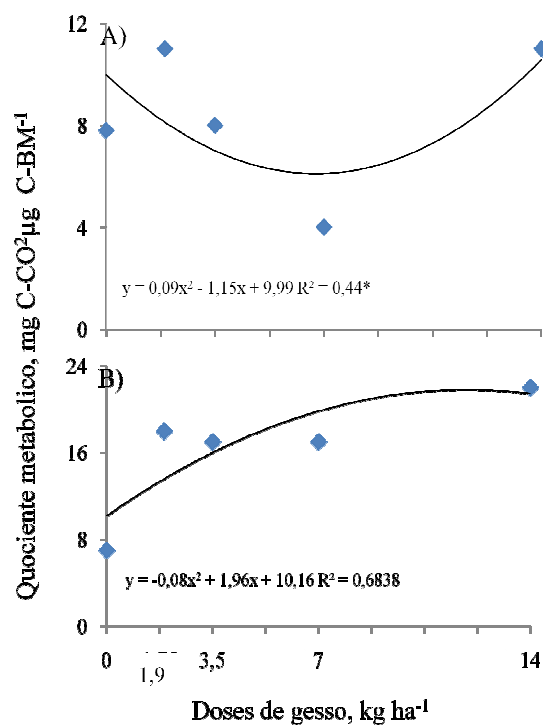


Figura 4 Avaliação do Quociente Metabólico na primeira (A) e segunda (B) amostragem.

Fonte: Análises realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA.

3.5 Enzima Urease

A atividade da urease foi influenciada somente pelas doses de gesso nas duas amostragens (Tabela 1). Na primeira amostragem as doses de 3,5 e 14 t ha⁻¹ apresentaram maiores valores da atividade da urease (Figura 5). Na segunda coleta o modelo de regressão de segundo grau conseguiu explicar 63% dos resultados obtidos, com uma estimativa da máxima atividade da urease de 12,01 μg NH₄ g solo⁻¹ h⁻¹ (Figura 5). Valores estimados em torno de 16,2 μg NH₄ g solo⁻¹ h⁻¹ atividade da urease foram encontrados para Latossolo Vermelho de Cerrado nativo (CARNEIRO et al., 2008), a proximidade do resultado obtido

sugere que o uso do gesso poderia estar causando um ambiente propício para a ação de organismos produtores de urease. E na segunda amostragem o ponto de maior atividade foi 14 t de gesso ha^{-1} (Figura 5).

A urease é uma enzima sintetizada pelos microrganismos do solo, quanto melhores forem as condições do meio como pH, umidade, temperatura, biomassa e atividade microbiana, propriedades químicas de um substrato (DICK e TABATABAI, 1990) maiores serão seus teores. Portanto estratégias de manejo que promovam aumento da atividade desta enzima são extremamente importantes para a ciclagem do nitrogênio no solo.

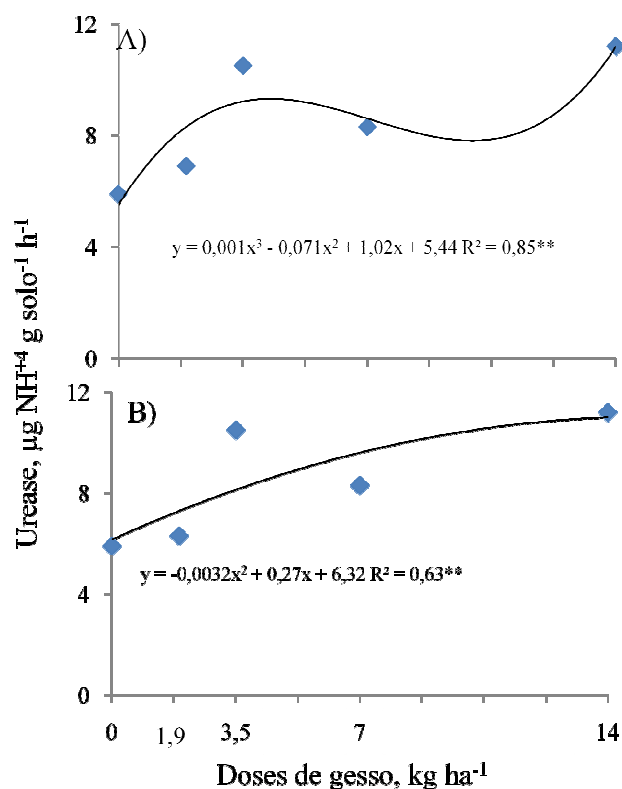


Figura 5 Atividade da urease em função das doses de gesso aplicada na primeira (A) e segunda (B) amostragem,

Fonte: Análises realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA.

3.6 Enzima Fosfatase Ácida

A atividade da fosfatase ácida na primeira amostragem respondeu de forma significativa ($p \leq 0,05$) nos fatores estudados, doses de gesso e profundidade, e na segunda amostragem da interação entre os fatores (Tabela 1).

A fosfatase apresentou uma ampla faixa de variação de seus teores, situando-se entre 441,9 e 1592,7 μg de p -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1} . Os valores que foram encontrados conferem com a faixa de variação estabelecida por Dick et al. (1996) apud Schmitz (2003) para esta atividade enzimática, com variação de 23 a 2100 μg de p -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1} , para solos com umidade de campo.

No presente estudo na primeira amostragem observou-se um aumento da atividade da fosfatase ácida quando utilizado o gesso, em relação ao controle (Figura 6). O ponto de máxima atividade da enzima foi observado na dose 8,5 t ha^{-1} . Outro fato que se chamou atenção foi os maiores valores absolutos da atividade da fosfatase ácida terem sido encontrados na primeira amostragem em relação a segunda, possivelmente pelas melhores condições de umidade do solo. Já que estudos mostraram que épocas de maior umidade existe uma maior atividade da fosfatase ácida (ALMEIDA et al., 2008).

Na segunda coleta para a profundidade de 0 a 5 cm o ponto de mínimo foi na dose de gesso 7,3 t ha^{-1} , que apresentou menor atividade da fosfatase 527,3 μg de p -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1} . Os resultados encontrados são semelhantes aos de Conte et al (2002) para Latossolo Vermelho distrófico. Na segunda profundidade (5 a 10 cm) os resultados apresentaram o mesmo comportamento da primeira amostragem (Figura 6). Resultados obtidos por Mendes e Reis-Júnior (2004), estudando solos do Cerrado brasileiro encontraram reduções significativas na atividade desta enzima nas áreas cultivadas em relação às áreas ainda sob vegetação nativa. Também a maior disponibilidade do fósforo mineral

para os vegetais e microrganismos faz com que esse se torne menos necessário a mineralização de formas orgânicas de fósforo e conseqüentemente diminuindo a produção da enzima fosfatase pela comunidade microbiana.

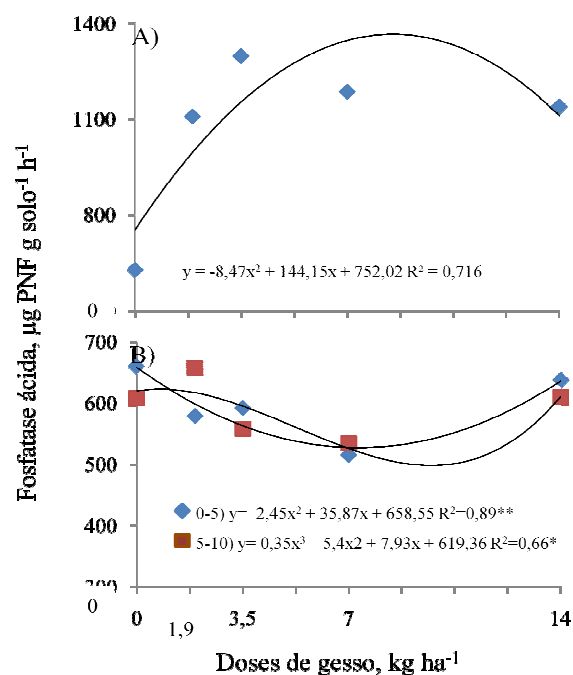


Figura 6 Atividade da fosfatase ácida em função das doses de gesso na primeira amostragem (A) e da interação entre as doses de gesso a asprofundidades estudadas (B) na segunda amostragem.

Fonte: Análises realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA.

Ainda na primeira amostragem a maior atividade da fosfatase ácida foi detectada na profundidade de 5 a 10 cm, provavelmente pela maior umidade do solo nessa profundidade que propicia maior atividade dos microrganismos, assim como os resultados das diferentes épocas de amostragem.

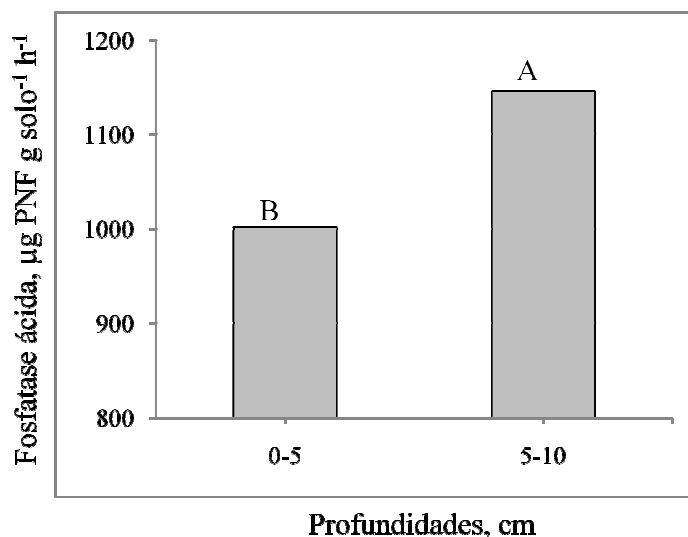


Gráfico 1 Estimativa da atividade da enzima Fosfatase Ácida no solo, nas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm, na primeira amostragem.

3.7 Enzima Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína(FDA)

A Atividade da Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína foi influenciada significativamente ($p \leq 0,05$) pela interação entre os fatores na primeira amostragem e pelos fatores isolados na segunda amostragem (Tabela 3).

Na primeira amostragem foi observado maiores atividade do FDA em todos os tratamentos em que aplicou-se gesso em relação ao controle (Figura 7). Na segunda amostragem a dose de gesso que proporcionou a maior atividade da FDA foi de $4,9 \text{ t ha}^{-1}$.

A atividade hidrolítica do FDA variou significativamente em função da profundidade de amostragem (Gráfico 2). A atividade enzimática é influenciada pela variação das estações que depende de fatores como temperatura, umidade, manejo de solo, tipo de solo, vegetação e microbiota (RASTIN et al. 1988; VASCONCELOS, 1998). Estes resultados foram semelhantes aos encontrados

por Carneiro et al. (2008) em áreas de reabilitação após a mineração com bauxita.

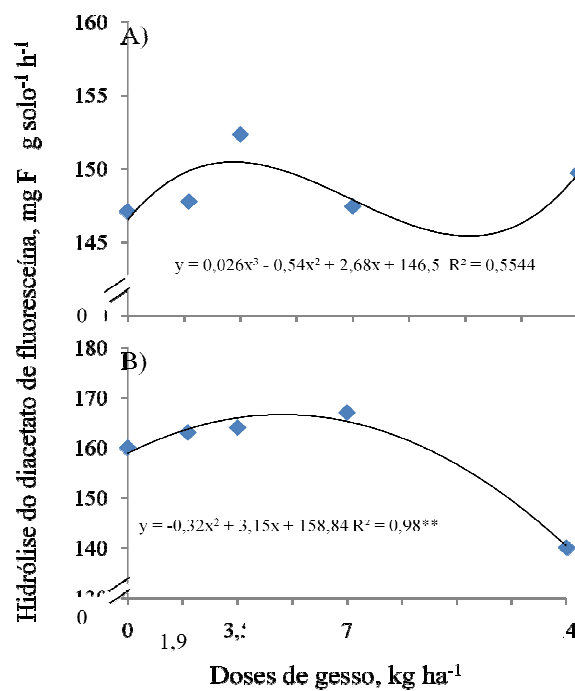


Figura 7 Atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína em função das doses de gesso (A) na primeira amostragem e da interação entre os fatores na segunda amostragem (B).

Fonte: análises realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da UFPA.

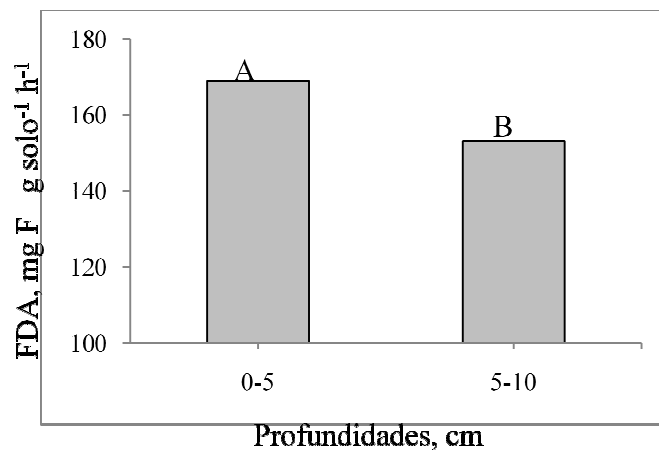


Gráfico 2 Estimativa da atividade da enzima FDA, nas profundidades 0 a 5 e 5 a 10 cm, na segunda amostragem.

Nota-se maior atividade da FDA para a primeira coleta, período em que o solo se encontrava úmido. Mendes et al. (2000) ao avaliarem a atividade microbiológica de solos do Cerrado, pela atividade da enzimática, encontraram na estação chuvosa o dobro dos níveis determinados na época seca.

Os maiores estoques de carbono no solo estimulam a atividade microbiana (CARVALHO et al., 2010). Observa-se que na segunda amostragem existe o aumento da atividade da FDA, em detrimento das doses de gesso, e que o mesmo ocorre com os teores de COT visto anteriormente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos resultados apontarem uma melhoria nos atributos bioquímicos do café, mais estudos devem ser realizados a fim de dizer-se qual dose melhor dose a ser utilizada.

São necessários estudos mais aprofundados com outras enzimas, já que somente avaliou-se a atividade da fosfatase ácida, hidrólise do FDA e urease. E também analisar o N da biomassa microbiana e o P da biomassa microbiana.

5 CONCLUSÃO

As doses de gesso e profundidade de coleta exerceram influência nos atributos bioquímicos do solo.

De modo geral o uso das doses gesso agrícola propiciaram o aumento das comunidades microbianas e conseqüentemente os teores de C-BM bem como também aumentaram os teores de COT.

O uso das doses crescentes de gesso agrícola pode estar causando um ambiente propício para a ação de microrganismos produtores de urease. As doses de gesso agrícola favoreceram microrganismos produtores de fosfatase ácida e diacetado de fluoresceína sódica, aumentando a atividade dessas enzimas no solo.

As doses de gesso em torno de 7 t ha⁻¹ propiciaram a atividade da biomassa microbiana, bem como a época de maior umidade de amostragem.

A maior umidade do solo encontrada na primeira amostragem também foi propícia ao desenvolvimento microbiano.

REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London: **Academic Press**, 1995.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSH, K.H. The metabolic quotient (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; ROSSONI, D. F.; COSTA, A. L.; OLIVEIRA, L. M. Distribuição espacial das raízes do cafeeiro e dos poros de dois latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 270-278, 2014.

CARDUCCI, C. E. et al. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 171-180, 2015.

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

CARNEIRO, M. A. C., CORDEIRO, M. A. S., ASSIS, P. C. R., MORAES, E. S., PEREIRA, H. S., PAULINO, H. B., e SOUZA, E. D. **Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado**. *Bragantia*, 67(2), 455-462, 2008.

CARNEIRO, M. A. C., SIQUEIRA, J. O., MOREIRA, F. S. M., 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, n. 2, 2008.

CARVALHO, P.C. de F.; ANTONIO
SULC, R.M; LANG, C.R.; FLAHERTY
CONTE, O.; WESP, C. de L.;
Managing grazing animals to a
no-till integrated systems. **Nutrient**
p.259-273, 2010.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, C. B. G.
and calcium carbonate in the ar
Plant and Soil, The Hague, v. 199, p. 1-10, 1998.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.;
microbiana e atividade de fosfa
sistema plantio direto. **Revista de**
2002.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. A. S.
Atributos de agregação indicad
manejo na região dos Cerrados
Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2002.

DICK, R. P.; BREAKWELL, I. G. L.
biodiversity measurements as i
DORAN, J. W.; JONES, A. J. G.
Special Publication. Madison:
247-271. 15 cap.

DICK, R. P.; BREAKWELL, I. G. L.
biodiversity measurements as i
DORAN, J. W.; JONES, A. J. G.
Science Society of America, 1993.

DORAN, John W.; ZEISS, Michael
managing the biotic componen
15. n. 1. p. 3-11. 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE
EMBRAPA. **Manual de méto**
Centro Nacional de Pesquisa e

HERBIEN, S.A.; NEAL, S.L. **Communication in SoU Scien**
p.436-456, 1990.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.
Inoculation with selected strain
lipoferum improves yields of n
v.331, n. 1-2, p.413-425, 2010.

LAL, R.; KIMBLE, J. M. **Con**
Nutrition Cycling in Agrosyste
<http://dx.doi.org/10.1023/A:10>

LISBOA, B.B.; VARGAS, L.K.
SELBACH, P.A. Indicadores r
diferentes sistemas de manejo.
45-55, 2012.

MENEGASSE, L.N.; GONÇA
hídricas na Província Cárstica
Minas Gerais, Brasil. **Revista**
19, Jan.2002.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR
como indicadores para avalia
agroecossistemas. Planaltina,

MENDES, I.C.; VIVALDI, L.
de solos do bioma cerrado sob
DE FERTILIDADE DO SOLO
BRASILEIRA SOBRE MICO

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. F.
BASTOS, A. R. R.; GUIMAR.
em cafeeiro: influência nos teo
de um Latossolo Vermelho Dis
v.37, p.1018-1026, 2013.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA
W.M.; LIMA, V. M. P. GUIM.
hídrica e distinção de ambiente
Engenharia Agrícola e Ambie

RASTIN, N.; ROSENPLANT
enzyme activity and their depe
soil. **Soil Biology and Biochem**

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.
C. Manual de descrição e colet
Sociedade Brasileira de Ciênc

SCHMITZ, J.A.K. **Indicadore**
Universidade Federal do Rio G

SERAFIM, M. E. **Sistema com**
melhoria de atributos do solo
(Doutorado)-Universidade Fed

SILVA, E. A., OLIVEIRA, G.
OLIVEIRA, L. M., COSTA, J.
aggregate stability and organica
Rev. Cienc. Agrar., v. 56, n. 1

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G.
SERAFIM, M. E. Índice S no c
muito argiloso sob manejo inte
345, 2012.

THEODORO, V. C. A.; ALVA
SOUZA, C. A. S. Alterações q
manejo do cafeeiro. **Revista B**
2003

VANCE, E. D.; BROOKES, P
measuring microbial biomass C
n. 6, p.703-707, 1987.

Anexo A Figura 1A - Croqui de disposição de gesso no preparo e sem o gesso na linha ; G-7: 7 t de gesso na linha; NC- tratamento

50 m	NC	NC	G-14	G-14
	G-3,5	G-7,0	G-1,9	G-1,9

50 m	NC	G-0	NC	126 m
	NC	NC	NC	126 m

ANEXO B - Tabela 1 Resumo da análise de variância dos dados obtidos. Apresentados os níveis de significância.

Variáveis	CBM1	CBM2	RES1	RES2	FDA1	FDA2	FOS1	FOS2	URE1	URE2	QCO1	QCO2	COT1	COT2
Tratamentos (T)	0.0000	0.0144	0.1664	0.0000	0.0160	0.0095	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0194	0.0261
Profundidades(P)	0.0001	0.3684	0.0649	0.1546	0.4836	0.0000	0.0366	0.2737	0.5313	0.0908	0.7411	0.0326	0.0000	0.0186
T*P	0.0271	0.5930	0.0000	0.2447	0.0005	0.7775	0.2251	0.0007	0.1096	0.1339	0.5837	0.2603	0.0033	0.9094
Bloco	0.3447	0.0524	0.2362	0.0817	0.6978	0.0625	0.0002	0.4535	0.0117	0.0192	0.9059	0.1171	0.3186	0.6529
CV, %	36.45	45.98	51.90	55.59	4.41	11.48	15.14	9.94	44.97	35.52	107.61	60.00	7.12	7.11

T- tratamentos (0; 1,92; 3,5; 7; 14 t ha⁻¹ de gesso). P- profundidades de amostragem. T*P- interação tratamentos x profundidades. CV %- coeficiente de variação.

CBM1- Carbono da Biomassa Microbiana primeira coleta. CBM2- Carbono da Biomassa Microbiana segunda coleta. RES1- Respiração Basal Microbiana primeira coleta. . RES2- Respiração Basal Microbiana segunda coleta. FDA1- Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína primeira coleta. FDA2- Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína segunda coleta. FOSF1- Fosfatase Ácida primeira coleta. FOSF2- Fosfatase Ácida segunda coleta. URE1- Urease primeira coleta. URE2- Urease segunda coleta. QCO1- Quociente Metabólico primeira coleta. QCO2- Quociente Metabólico segunda coleta. COT1- Carbono Orgânico Total primeira coleta. COT2- Carbono Orgânico Total segunda coleta.