

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

DANIELA CRISTINA COSTA

**EFEITOS RESIDUAIS DA FERTILIZAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL APLICADA
NA RECUPERAÇÃO DE SOLO DE PASTAGEM MINERADO PARA BAUXITA**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

DANIELA CRISTINA COSTA

**EFEITOS RESIDUAIS DA FERTILIZAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL APLICADA
NA RECUPERAÇÃO DE SOLO DE PASTAGEM MINERADO PARA BAUXITA**

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

Orientador: Ivo Ribeiro da Silva

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

C837e
2020

Costa, Daniela Cristina, 1993-

Efeitos residuais da fertilização orgânica e mineral aplicada na recuperação de solo de pastagem minerado para bauxita [recurso eletrônico] / Daniela Cristina Costa. - Viçosa, MG, 2020.
1 dissertação eletrônica (39 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Ivo Ribeiro da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 35-39.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.047>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Cama de aves com fertilizantes. 2. Fosfatos - Reatividade.
3. *Brachiaria brizantha*. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e
Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.86

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB 252

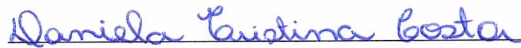
DANIELA CRISTINA COSTA

**EFEITOS RESIDUAIS DA FERTILIZAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL APLICADA
NA RECUPERAÇÃO DE SOLO DE PASTAGEM MINERADO PARA BAUXITA**

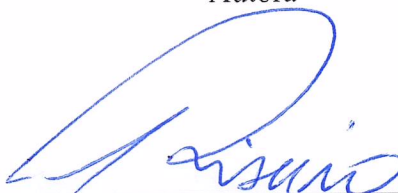
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de setembro de 2020.

Assentimento:



Daniela Cristina Costa
Autora



Ivo Ribeiro da Silva
Orientador

Aos meus pais, pilares da minha formação como ser humano.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo carinho e apoio incondicional.

Aos meus irmãos Wellington, Patrícia e Willian pela amizade e incentivo.

Ao Professor Ivo Ribeiro da Silva, pela orientação e ensinamentos.

Ao Ivan Francisco de Souza, pela amizade, por toda ajuda durante a realização deste trabalho.

Aos membros da banca, os professores Dener Márcio da Silva Oliveira e Edson Márcio Mattiello pelas valiosíssimas contribuições.

Aos funcionários do laboratório de Isótopos Estáveis, João Milagres e Humberto.

À estudante de graduação Vanderlayne e Maria Carolina pela ajuda na realização das análises, pelos momentos de descontração e amizade.

Aos amigos do Laboratório de Isótopos Estáveis, em especial Gustavo, Rafael e Ana Paula pelas contribuições na realização deste trabalho.

Ao Bernardo por toda ajuda durante a coleta de amostras, análises, correções e por todo carinho e apoio durante todo o mestrado.

À empresa Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim Metais (CBA/VM), por disponibilizar a área de estudos e pelo fomento financeiro.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos que de alguma forma participaram e contribuíram para a realização deste trabalho

RESUMO

COSTA, Daniela Cristina, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2020. **Efeitos residuais da fertilização orgânica e mineral aplicada na recuperação de solo de pastagem minerado para bauxita.** Orientador: Ivo Ribeiro da Silva.

O acompanhamento das práticas de manejo usadas na recuperação de áreas mineradas é de suma importância para manutenção da produtividade da cultura de cobertura e consequentemente nos incrementos na matéria orgânica do solo (MOS). Neste sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos residuais da adubação com cama de aviário e fosfato natural reativo na produtividade da *Brachiaria brizantha* e nas diferentes frações da MOS em área minerada para bauxita. O experimento foi conduzido em um esquema fatorial 4x4x2. Os fatores foram: 1) doses de cama de aviário (CM: 0, 10, 20, 40 Mg ha⁻¹) 2) doses de fosfato natural reativo Bayóvar - FR (0, 1, 2,5 e 5 Mg ha⁻¹) 3) aplicadas em parcelas sem plantas (SP) ou cultivadas com *Brachiaria brizantha*, cultivar Marandu (com planta (CP). Após 6,9 anos da implantação do experimento foram avaliados a produção de matéria seca da parte aérea e raiz, teores de nutrientes da parte aérea, teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbono lábil (CL) do solo, Índice de Manejo de Carbono (IMC) e o Perfil dos Ácidos Graxos de Fosfolipídios (PLFA) do solo. A presença da cultura de cobertura aumentou os teores de COT, NT, CL, IMC e PLFA total. A adubação com CM resultou em maior produção de massa de matéria seca da parte aérea e raiz da planta e, consequentemente, maiores teores de COT e NT. Em contraste, a adubação com FR implicou em um efeito quadrático negativo sobre a massa de matéria seca da parte aérea e teores de CL. Além disso, a planta contribuiu para o aumento da abundância relativa de fungos micorrízicos arbusculares e redução de actinobactérias. Portanto, os efeitos residuais da adubação com CM e FR são determinantes sobre a produtividade da cultura de cobertura, seja pelo excesso ou pela escassez de um determinado nutriente. Por sua vez, os incrementos na produtividade *Brachiaria brizantha* aumentam os teores de COT, NT e CL. Por outro lado, os microrganismos do solo são mais influenciados pela planta do que pelos efeitos residuais da fertilização.

Palavras-chave: Cama de aviário. Fosfato natural reativo. *Brachiaria brizantha*.

ABSTRACT

COSTA, Daniela Cristina, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2020. **Efeitos residuais da fertilização orgânica e mineral aplicada na recuperação de solo de pastagem minerado para bauxita.** Adviser: Ivo Ribeiro da Silva.

Monitoring the management practices used in the recovery mined areas is important for maintaining the cover crop productivity and the soil organic matter (SOM) increments. In this study, our objective was evaluate the residual effects of fertilization with poultry litter and reactive natural phosphate on the productivity of *Brachiaria brizantha* and different fractions of MOS following bauxite mining. The experiment was carried out in a 4x4x2 factorial scheme. The factors were: 1) poultry litter doses (CM: 0, 10, 20, 40 Mg ha⁻¹) 2) doses of reactive natural phosphate Bayóvar - FR (0, 1, 2.5 and 5 Mg ha⁻¹) 3) applied in plots without plants or cultivated with *Brachiaria brizantha*, cv. Marandu. After 6.9 years of the experiment implantation was determined the dry matter production of the aerial part and the roots of plants, the nutrients contents of aerial part, total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), labile carbon (LC), the soil carbon management index (CMI) and the soil Phospholipid fatty acids (PLFAs). The cover crop presence increased the levels of TOC, TN, LC, CMI and total PLFA. Fertilization with CM resulted in higher dry matter production of the aerial part and the roots of plants led to a higher levels of COT and NT. In contrast, fertilization with FR implied a negative quadratic effect on the dry matter mass of the aerial part of plants and contents of CL. Contributed to increasing the relative abundance of arbuscular mycorrhizal fungi and reducing actinobacteria. Therefore, the residual effects of fertilization with CM and FR are decisive on the cover crop productivity either by the excess or the scarcity of a certain nutrient. In turn, the increases in the *Brachiaria brizantha* productivity contributes to the higher levels of TOC, TN and LC. On the other hand, soil microorganisms are more influenced by the plant than by the residual effects of fertilization.

Keywords: Poultry litter. Reactive natural phosphate. *Brachiaria brizantha*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1. Caracterização da área e instalação do experimento:.....	11
2.2. Amostragem e análises de fertilidade do solo:.....	12
2.3 Amostragem e análise de Ácidos Graxos de Fosfolipídeos:.....	14
2.4 Avaliação da produtividade das plantas:.....	15
3. RESULTADOS.....	17
3.1 Resposta da <i>Brachiaria brizantha</i> à adubação com cama de aviário e fósforo natural reativo	17
3.2. Resposta dos teores de P disponível em função da adubação com cama de aviário e fósforo natural reativo.....	20
3.3 Frações da matéria orgânica em diferentes épocas de amostragem.....	21
3.4 Resposta dos indicadores orgânicos à adubação com cama de aviário e fósforo natural reativo:.....	23
3.5 Alterações na estrutura da comunidade microbiana em função das adubações com cama de aviário e fósforo natural reativo e a presença da planta.....	27
4. DISCUSSÃO.....	29
4.1 Massa e matéria seca da parte aérea e raiz da <i>Brachiaria brizantha</i> e dinâmica dos nutrientes na parte aérea.....	29
4.2 Teores de COT, NT, CL e IMC.....	31
4.3. Estrutura da comunidade microbiana:.....	33
4.4. Implicações para a restauração e o manejo de solos degradados por mineração de bauxita.....	35
5. CONCLUSÕES:.....	36
6. REFERÊNCIAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a terceira posição mundial em termos de reserva de bauxita, com cerca de 2,4 bilhões de toneladas (SUMÁRIO MINERAL – EDIÇÃO 2018). A maior parte da extração desta rocha é destinada à fabricação da alumina, que por sua vez é utilizada na produção do alumínio metálico. O alumínio tem aplicação na produção de embalagens de gêneros alimentícios, utensílios domésticos, veículos automotores, construção civil e várias outras finalidades. Apesar da sua reconhecida importância, a extração da bauxita causa grandes impactos ambientais. Os impactos mais notórios consistem na remoção da vegetação e da camada superficial do solo (DAWS et al., 2015; SHRESTHA e LAL, 2006). Neste sentido, a adoção de medidas que visam a recuperação dessas áreas degradadas, ou seja, o retorno à forma de utilização original com o intuito de obter estabilidade do ambiente, torna-se um grande desafio.

No processo de recuperação de áreas mineradas, a camada de solo removida durante a lavra é utilizada posteriormente para a reconfiguração da área. Entretanto, o armazenamento deste solo implica redução dos teores de nutrientes, carbono orgânico total (COT) e biomassa microbiana, principalmente de microrganismos que dependem da planta para completar seu ciclo de vida, como por exemplo, fungos micorrízicos arbusculares (SCHWENKE et al., 2000; JASPER et al., 1989). Além disso, a estrutura do solo é severamente afetada durante a remoção e armazenamento do solo (WANTZEN e MOL, 2013). A implantação de culturas de cobertura é uma opção viável para conter os processos erosivos na área recém reconfigurada. Entre os principais tipos de cultura de cobertura usados na recuperação de áreas degradadas, as gramíneas de crescimento rápido apresentam um grande potencial para a melhoria da estrutura do solo, redução do escoamento superficial e na recuperação dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) (MANDAL et al., 2017; LEAL et al., 2015). Entretanto, devido baixa fertilidade desses solos a adubação da área é uma etapa fundamental para o estabelecimento, desenvolvimento e obtenção de altas produtividades das plantas.

A utilização de fertilizantes orgânicos (por exemplo, dejetos de animais) é recomendável quando se pretende recuperar áreas degradadas. Estes insumos são importantes fontes de C para o desenvolvimento dos microrganismos, os quais atuam diretamente na mineralização desses materiais e consequentemente na liberação de nutrientes que, em última instância, aumentam o crescimento da planta (LARNEY e ANGERS, 2012; SCHLEGEL et al., 2015;

SRINIVASARAO et al., 2014). É importante destacar ainda que as fontes orgânicas apresentam maior efeito residual quando comparado às fontes minerais solúveis (MATERECHERA e MORUTSE, 2009; KIFUKO et al., 2010). Além disso, fontes minerais de solubilidade intermediária como, por exemplo, os fosfatos naturais reativos podem ser combinados à adubação orgânica como estratégia para a manutenção dos teores de nutrientes no solo, principalmente fósforo (P). O P é o nutriente mais limitante para a produção vegetal em solos tropicais, devido à elevada afinidade das formas orgânicas e inorgânicas destes elementos pelos óxidos de Fe e Al (NZIGUHEBA e BÜNEMANN, 2005). De acordo com Korndörfer (1998), os fosfatos naturais apresentam inicialmente baixa eficiência em relação aos fosfatos solúveis, entretanto, em longo prazo seu efeito residual é maior. Assim, os efeitos residuais das fontes orgânica e inorgânica podem favorecer a manutenção da produtividade da cultura por uma escala de tempo maior. Entretanto, é difícil prever se os nutrientes fornecidos pelas fontes minerais e orgânicas serão suficientes para manter as produtividades ao longo do processo de recuperação.

Neste sentido, o acompanhamento das práticas de manejo consiste em uma etapa fundamental em planos de recuperação de áreas degradadas. A produtividade das plantas dependem substancialmente do fornecimento de nutrientes em quantidades balanceadas e equilibradas. Por sua vez, o aumento da produtividade da cultura de cobertura pode resultar em incrementos nos teores de MOS. Por fim, a MOS pode ser utilizado como indicador do processo de recuperação de áreas mineradas. A utilização do Índice de Manejo de Carbono (IMC), por exemplo, que leva em consideração os teores totais de C e os teores de C lábil pode ser importante ferramenta para avaliar o efeito do manejo na quantidade e qualidade do C no sistema solo (BLAIR et al., 1995). A partir desse índice, pode-se verificar o quão próximo os teores de C total e lábil estão da população de referência (área estável não minerada). Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos residuais da adubação com cama de aviário e fosfato natural reativo na produtividade da *Brachiaria brizantha* e nas diferentes frações da MOS em área minerada para Bauxita.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área e instalação do experimento:

O estudo foi desenvolvido em área de mineração de bauxita pertencente à Companhia Brasileira de Alumínio, localizada no município de São Sebastião da Vargem Alegre-MG. O solo da área é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa (580 g kg⁻¹ de argila, 90 g kg⁻¹ de silte e 330 g kg⁻¹ de areia) (BORGES, 2013).

A área em estudo foi minerada no ano de 2009. Anteriormente ao processo de lavra, procedeu-se o decapeamento da área, o qual consistiu na remoção de todo solo que se encontrava acima do minério (horizonte A: 20-30 cm de espessura e horizonte B: abaixo de 20 a 30 cm de profundidade até atingir o topo da camada de minério). Este solo, denominado *topsoil*, foi armazenado em leiras até o fim da exploração da bauxita. Após a exploração, procedeu-se a descompactação do subsolo exposto durante a lavra. Posteriormente à subsolagem, o *topsoil* foi espalhado na área com auxílio de um trator de esteiras e a área foi novamente descompactada. Em seguida foi realizada a calagem com a aplicação de 2 t ha⁻¹ calcário dolomítico em área total. Feito isso, no ano de 2012 foi realizada a instalação do experimento.

O delineamento experimental constitui-se de blocos ao acaso, em um esquema fatorial completo com parcelas subdivididas e três repetições (4x4x2). Em cada bloco foram alocadas 16 parcelas de 12 m² cada, espaçadas por um corredor de 1m. Os fatores incluídos no estudo foram 1) doses de cama de aviário (CM: 0, 10, 20, 40 Mg ha⁻¹) aplicada em superfície e incorporada manualmente com auxílio de uma enxada; 2) doses de fosfato natural reativo Bayóvar - FR (0, 1, 2,5 e 5 Mg ha⁻¹) aplicado no sulco de plantio; 3) parcelas sem plantas (SP) ou cultivadas com *Brachiaria brizantha*, cultivar Marandu (com planta (CP)).

Foi realizada a caracterização química da CM e do FR (Tabela 1).

Tabela 1: Caracterização química da cama de aviário (CM) e fosfato natural reativo (FR).

	NT	Na	K	P	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn
	kg Mg ⁻¹									
CM	21,65	1,65	2,13	17,81	9,15	1,78	0,12	0,97	16,36	0,99
FR	6,6	0	1,06	130,06	322	3,53	0	0,07	0,07	0,07

Fonte: Fertilizantes Heringer S.A.

Vinte dias após a aplicação dos tratamentos, a *Brachiaria brizantha* foi semeada com 50 kg de sementes viáveis por ha em sulcos com espaçamento de 25 cm nas subparcelas CP.

Conforme a necessidade, o controle de plantas invasoras foi realizado por meio da aplicação de herbicidas seletivos.

2.2. Amostragem e análises de fertilidade do solo:

A amostragem do solo foi realizada em quatro diferentes épocas: 1) pré-mineração (PM); 2) após a reconfiguração da área (pré-implantação - PI); 3) 15 dias após a aplicação dos tratamentos (pós-aplicação - PA); 4) 6,9 anos após a aplicação dos tratamentos. Para fins de comparação, foi selecionada uma área de pastagem onde amostras de solo foram coletadas antes do processo de mineração e utilizada como referência (Tabela 4). Foram coletadas cinco amostras simples para compor uma amostra composta em cada sub-parcela. As amostras simples foram coletadas com trado do tipo sonda nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm.

Foi realizada a caracterização química das amostras de PM, PI e PA (Tabela 2) (EMBRAPA, 1997) em que foram determinados: o pH em água (1:2,5); a acidez trocável (Al^{3+}) extraída com KCl 1 mol L^{-1} ; a acidez potencial ($\text{H}^+ \text{ Al}$) extraída com acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 7; o P e o K extraídos com Mehlich-1 e determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente; P extraído por resina aniônica determinado por colorimetria; Ca e Mg extraídos com KCl 1 mol L^{-1} e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; Fe, Zn, Cu e Mn extraídos com Mehlich 1 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O N total do solo (NT) foi determinado por destilação Kjeldahl (BATAGLIA et al., 1983). De posse dos resultados, calculou-se a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions em pH 7 (T), a capacidade de trocas de cátions efetiva (t), a saturação por alumínio (m) e a saturação por base (V) (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização química do solo na pré-mineração (PM), pré-implantação (PI) e após a aplicação dos tratamentos, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

CM	FR	pH	P	Mn	Fe	Zn	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	t	m	V
		Mg ha ⁻¹	mg /dm ³				cmolc/d ³										
0-10 cm																	
PM		4,42	0,97	6,91	334,8	1,1	0,09	-	0,05	0,1	1,57	12,64	0,23	12,9	1,79	87,2	1,73
	PI	6,2	5,5	9,6	85,6	3,4	0,1	0	1,8	1,3	0,03	2,4	3,2	5,6	3,2	0,9	57,2
	0	6,2	3,3	9,1	78,6	2,7	0,1	0	1,6	1,2	0,02	2,2	2,9	5,1	2,9	0,8	57
	1	6,3	112,1	12,8	82,4	5,1	0,8	0,2	1,4	0,7	0,02	2,9	3	6	3,1	0,7	50,8
	2,5	6,2	243,4	10,7	68,5	4	10	0,1	2,3	1,1	0,02	2,5	4,5	7	4,5	0,5	64,5
10	5	6,1	477,6	6,4	81,3	2,3	16,7	0,9	1,9	0,7	0,02	2,8	20,2	23	20,2	0,2	85,7
	0	6,3	23,1	13	95	6,3	0,4	0	2	1,6	0,02	2,1	4	6	4	0,6	66,1
	1	6,2	166,7	15	71,2	7,3	3,8	0	1,9	1,6	0,02	2,4	7,4	9,8	7,4	0,3	76,2
	2,5	6,3	359,4	11,2	74,2	5,5	8,4	0,6	2,1	1,4	0,03	2,4	12,5	14,9	12,5	0,2	83,3
	5	6,1	467,4	13	69,2	6,8	6,9	0,2	2,2	1,3	0,02	3,1	10,6	13,7	10,6	0,3	73,4
20	0	6,4	77,4	21,7	90,7	11,4	0,6	0	3,2	2,2	0,03	2,3	6,1	8,4	6,1	0,4	72,6
	1	5,9	251,9	24,3	89,8	13,3	8,4	0,6	3,1	1,9	0,03	3,7	14	17,7	14,1	0,2	79,7
	2,5	6,3	458,9	14,3	96,6	9,1	13,4	0,9	3,1	1,9	0,02	2,6	19,3	21,9	19,3	0,1	86,9
	5	6,5	714	25,2	68,8	12,4	15	1,4	2,5	1,8	0,03	1,7	20,6	22,3	20,6	0,1	92,4
	0	6,7	135	39,9	110,6	24	4,7	0,1	3,4	3,1	0,03	2,3	11,3	13,6	11,3	0,2	82,9
40	1	6,8	557,9	45,8	105	21,9	10,3	2	2,7	2,5	0,03	2,2	17,5	19,7	17,5	0,2	88,3
	2,5	6,1	405,6	28,8	108,6	13,6	14,1	5,5	3,3	2,2	0,03	3,2	25	28,2	25	0,1	89,6
	5	6,6	765,5	38,2	69,5	21,2	14,2	4,3	3,1	2,4	0,03	2	24	26,1	24,1	0,1	91,8
	10-20 cm																
	0	0	5,8	2,1	6,4	122,9	1,7	0,1	0	1,1	0,7	0,04	2,6	1,9	4,5	1,9	2,4
1		5,7	52,5	8,5	87,7	4,4	0,4	0	0,8	0,7	0,04	3,2	2	5,3	2	1,8	38,4
2,5		5,8	288,4	6,1	50	2	7,2	0,3	1,2	0,9	0,03	2,9	9,7	12,5	9,7	0,3	76,4
5		5,8	476,7	3,7	43,1	1,5	6,7	0,5	1,1	0,9	0,04	2,5	9,2	11,7	9,2	0,4	77,2
0		5,7	9	8	109,5	3,4	0,2	0	1,2	1,3	0,04	2,9	2,8	5,6	2,8	1,4	49,5
10	1	5,8	69,7	7,8	89	3,8	1	0	1,2	1,1	0,03	2,7	3,3	5,9	3,3	0,8	55,1
	2,5	5,8	168,6	6,4	68,4	3,1	4,4	0,2	1,4	1,2	0,03	3,3	7,2		7,2	0,5	67,7
	5	5,8	166,7	7,4	70,9	3,2	10,1	0,4	1,5	1	0,03	3,5	13,1	16,5	13,1	0,3	77,1
	0	5,9	8,6	8,2	103	4,1	0,1	0	1,8	0,8	0,04	3,1	2,8	5,9	2,8	1,4	47,8
	1	6	132,8	25,5	86,5	11,2	0,4	0,3	2,7	1,3	0,03	3,9	4,7	8,6	4,7	0,6	55,5
20	2,5	5,7	102	6,1	75,5	3,3	4,1	0,1	1,8	1,2	0,03	3	7,1	10,1	7,1	0,5	68
	5	6,2	394,8	13	44,8	6,6	10	2,4	2,2	1,3	0,03	2,4	15,9	18,2	15,9	0,2	87
	0	6,2	49,9	20,8	87,6	10,9	1,4	0,3	2	1,7	0,02	2,5	5,4	7,9	5,5	0,4	69,2
	1	6,2	110,7	16,8	85,5	8,5	1,1	0,3	2,3	1,5	0,03	2,6	5,2	7,8	5,2	0,5	66,4
	2,5	5,8	163	10,4	94,4	4,4	2,5	0,1	2,1	1,3	0,05	3,8	6,1	10	6,2	0,7	63,9
40	5	5,8	378,4	9,9	45,3	5,8	12,3	0,8	1,7	1,3	0,04	2,3	16,2	18,2	16,2	0,2	87,5

CM: cama de aviário. FR: fosfato natural reativo. PM: pós-mineração PI: Pré-implantação

¹Fonte: Borges, 2013.

Nas amostras de solo coletadas 6,9 anos após a instalação do experimento foram determinados os teores de P extraído por resina e o N total (NT) por destilação Kjeldal (BATAGLIA et al., 1983).

Os teores de C orgânico total (COT) e carbono orgânico lábil (CL) foram determinados pelo método da oxidação via úmida com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) (YEOMANS e BREMNER, 1988) e com permanganato de potássio ($KMnO_4$) (BLAIR et al., 1995 adaptado por SHANG e TIESSEN (1997)), respectivamente. O C não lábil (CNL) foi obtido a partir das diferença entre a frações de COT e CL. A partir desses valores, calculou-se índice de manejo de carbono (IMC) conforme a equação descrita a seguir:

$$IMC = \frac{CT1}{CT2} * \left[\frac{\frac{CL1}{CNL1}}{\frac{CL2}{CNL2}} \right] * 100$$

CT1: Carbono orgânico total da amostra de solo

CT2: Carbono orgânico total da amostra da amostra de solo referência (pré mineração)

CL1: Carbono lábil da amostra de solo

CL2: Carbono lábil da amostra de solo referência (pré mineração)

CNL1: Carbono não lábil da amostra de solo

CNL2: Carbono não lábil da amostra de solo referência (pré mineração)

Tabela 3. Carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e carbono lábil (CL) de solo coletado na área anteriormente ao processo de mineração em uma vegetação de pastagem.

Profundidade (cm)	COT (dag kg⁻¹)	NT (dag kg⁻¹)	CL (g kg⁻¹)
0-20	2,02	0,17	1,25

2.3 Amostragem e análise de Ácidos Graxos de Fosfolipídeos:

A coleta de solo para a realização da análise de Ácidos Graxos de Fosfolipídeos (PLFAs) foi realizada 6,9 anos após a instalação do experimento, exclusivamente nas parcelas CM0FR0, CM40FR0, CM0FR5 e CM40FR5. Nestas parcelas, foram coletadas 5 amostras simples para compor uma amostra composta, na profundidade de 0 a 5 cm. O procedimento foi realizado com o auxílio de uma espátula graduada que foi higienizada com água e álcool (70%) após a coleta de cada subparcela. A amostragem foi realizada no período da manhã e as amostras de solo foram acondicionadas em caixa térmica com gelo até chegada ao laboratório. No laboratório as amostras foram congeladas em ultrafreezer e em seguida liofilizadas.

Posteriormente procedeu-se com a análise de Ácidos Graxos de Fosfolipídios, a qual consiste em três etapas principais. Primeiramente são extraídos os lipídios totais. Em seguida

o extrato foi fracionado em lipídios neutros, glicolipídios e fosfolipídios. Por fim, são produzidos os ácidos graxos de fosfolipídeos (FAMES) a partir da fração fosfolipídios por meio da metilação alcalina branda. Os procedimentos de extração foram semelhantes aos descritos por Frostegård e Bååth (1996) e Hedlund (2002) com base no método de Bligh e Dyer (BLIGH e DYER, 1959; WHITE et al., 1979).

Os ésteres metílicos obtidos foram analisados por meio da injeção de 1 µL das amostras em cromatógrafo gasoso acoplado com coluna capilar (5% bifênil-95% dimetilpolisiloxano, 25 m) e detector de ionização em chama (FID). O mesmo procedimento foi realizado para amostras-padrão. Os ésteres metílicos das amostras foram identificados por comparação dos tempos de retenção e dos padrões de fragmentação com as respectivas amostras-padrão isoladas. Além disso, a identificação foi realizada com o auxílio da biblioteca NIST (2004). A identificação da estrutura da comunidade microbiana foi realizada a partir de comparações univariadas das concentrações de biomarcadores de grupos microbianos específicos. As massas molares de cada ácido graxo de um cromatograma foram relativizadas pela soma das massas de todos os ácidos graxos detectados na amostra.

A comunidade microbiana foi estimada pela soma do total de fosfolipídios extraídos (total de PLFAs em mmol g⁻¹ de solo). Os PLFAs 15:0*i*, 15:0*a*, 15:0, 16:0*i*, 16:1ω7*c*, 16:1ω5*c*, 16:0, 16:0 10Me, 17:0*i*, 17:0*a*, 17:0*cy*, 17:0, 17:010Me, 18:2ω6*c*, 18:1ω9*c*, 18:1ω7*c*, 18:0, 19:0*cy* foram utilizados para estimar a biomassa microbiana total, bem como para a análise das mudanças na estrutura da comunidade microbiana (ZELLES, 1999). Os PLFAs 15:0*i*, 15:0*a*, 16:0*i*, 17:0*i*, 17:0*a*, foram considerados biomarcadores de bactérias gram positivas (G+) (WILKINSON, 1988), enquanto 18:1ω7*c*; 17:0 *cy*; 19:0 *cy* indicaram bactérias gram negativas (G-) (O'LEARY e WILKINSON, 1988). O PLFA 18:2ω6 foi utilizado como indicador de fungos (F) (FEDERLE, 1986; FROSTEGÅRD and BÅÅTH, 1996; OLSSON, 1999; HEDLUND, 2002), e o 16:1ω5 e 18:1ω9*c* como biomarcadores de fungos micorrízicos arbusculares (FM) (OLSSON et al., 1995; OLSSON, 1999; VAN AARLE e OLSSON, 2003; KAISER et al., 2010). Os ácidos graxos 16:010Me e 17:010 Me foram utilizados para indicar as actinobactérias (AC) (KROPPENSTEDT, 1992).

2.4 Avaliação da produtividade das plantas:

A produção de massa de matéria seca da parte aérea e da raiz foram avaliadas aos 6,9 anos após a instalação do experimento. A coleta do material da parte aérea foi realizada com o auxílio de um gabarito com dimensões de 40 x 40 cm. A coleta de raiz foi realizada com uma sonda de 53 cm de diâmetro nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Foram coletadas 3

amostras simples para compor uma composta. As raízes foram separadas do solo e lavadas. As amostras de parte aérea e raiz foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C e pesadas para determinação da massa de matéria seca obtida.

Posteriormente, o material vegetal da parte aérea foi triturado em moinho tipo Wiley e em seguida submetido à digestão sulfúrica para a determinação dos teores de N e digestão nítrico-perclórica para quantificação dos teores de K, Ca, Mg, S, Mn, Cu e Zn (Tedesco et. al., 1995).

A partir dos valores de teores de nutrientes obtidos foi calculado os índices Kenworthy e DRIS. Como referência foi utilizada uma população de *Brachiaria brizantha* cultivada em área de mineração de bauxita que obteve uma produção de 40 t/ha de massa de matéria seca acumulada em 15,5 meses.

O Índice Balanceado de Kenworthy (IBK) foi calculado pela seguinte fórmula (KENWORTHY, 1961):

$$P = 100 * \frac{TA}{TO}$$

$$I = CV * \frac{TA/TO}{TO}$$

$$IBK = P - I$$

Onde,

TA: teor do nutriente na amostra

TO: teor ótimo do nutriente

CV: coeficiente de variação do teor ótimo

Os valores de IBK, para fins de interpretação foram estratificados conforme as cinco classes:

Deficiente: ≤ 50

Abaixo do normal: 50-83

Normal: 83-117

Acima do normal: 117 a 150

Excessivo: ≥ 150

O índice DRIS foi calculado pelas seguintes formulas :

Relação normalizada reduzida do nutriente Z (A/B) (JONES, 1981)

$$Z(A/B) = (A/B - a/b) (10/s)$$

Onde:

A/B: relação entre os teores dos nutrientes A e B na amostra

a/b: relação entre os teores dos nutrientes a e b na amostra da população de referência

s: desvio padrão da população de referência

O índice Dris foi calculado com as relações diretas e inversas dos nutrientes pela seguinte fórmula:

$$I_A = \frac{Z(A/B) + Z(A/C) + \dots + Z(A/N) - Z(B/A) - Z(C/A) - \dots - Z(N/A)}{2(n-1)}$$

Onde :

I_A : é o índice DRIS para o nutriente A

n= número de nutrientes

Por fim foi calculado índice de equiíbrio nutricional médio (IEN_m) pela seguinte formula:

$$IEN_m = \sum | I_A | / n$$

n= número de nutrientes

Quanto mais próximo de 0 o IEN ou o IEN_m mais equilibrado o estado nutricional da lavoura em estudo.

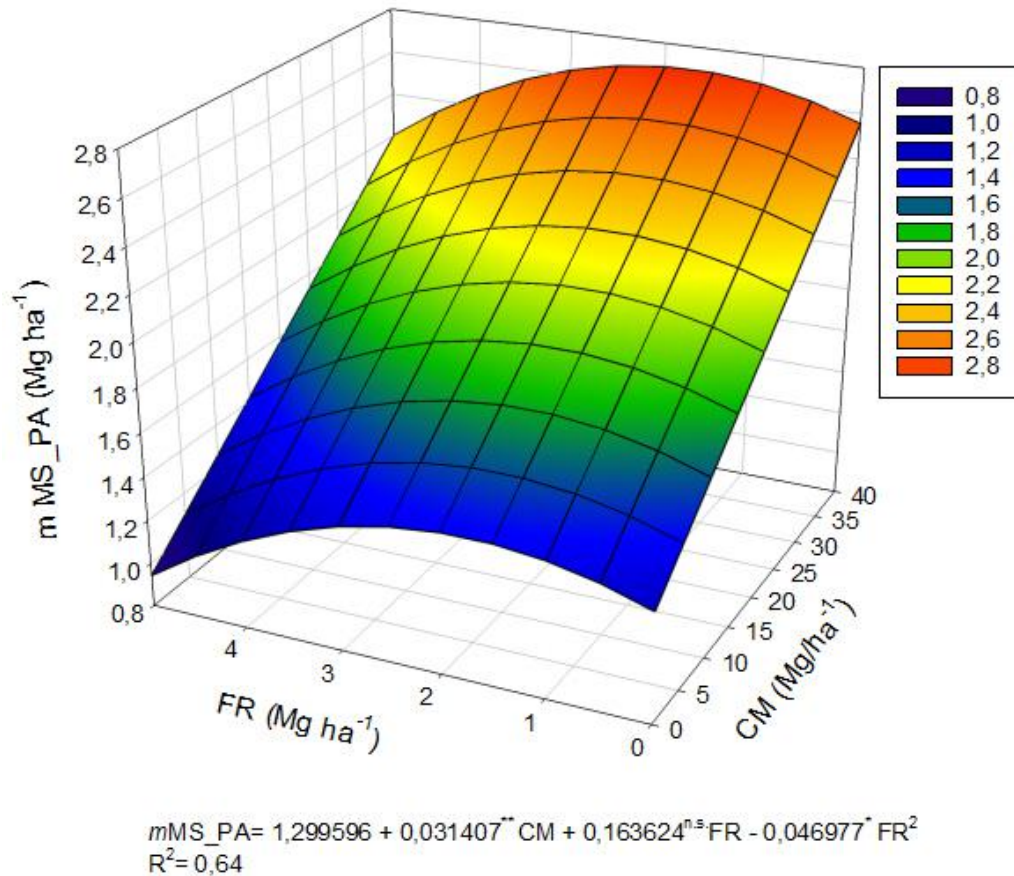
3. RESULTADOS

3.1 Resposta da *Brachiaria brizantha* à adubação com cama de aviário e fósforo natural reativo

Após decorrido 6,9 anos da implantação experimento, a adubação com CM ainda resultou em incrementos lineares na massa de matéria seca de parte aérea do braquiarião que atingiu 2,7 Mg ha⁻¹ (FIGURA 1). Embora a efeito linear de FR não tenha sido significativa a $p < 0,05$, a adubação com FR apresentou resposta quadrática negativa. A maior produção de massa de matéria seca da parte aérea foi proporcionada pela combinação das doses 40 Mg ha⁻¹ de CM e 1,74 Mg ha⁻¹ de FR. Neste tratamento a massa de matéria obtida seca atingiu valor de 2,7 Mg ha⁻¹ (FIGURA 1).

Figura 1: Resposta da produção de matéria seca da parte aérea do braquiário (mMS_PA Mg ha^{-1}) a doses de cama de aviário (CM) (0, 10, 20 e 40 Mg ha^{-1}) e fosfato natural reativo (FR) (0, 1, 2,5 e 5 Mg ha^{-1}). **, * e n.s. significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Massa de matéria seca da parte aérea



Os resultados do Índice Balanceado de Kenworthy apresentados na tabela 5, demonstram que a planta está deficiente em N e Mn ($IBK \leq 50$) e os teores de K, S estão em situação normal ($83 < IBK < 117$) ou abaixo do normal ($50 < IBK < 83$). Os teores de Ca, Cu em geral estão em situação normal ou acima do normal ($117 < IBK < 150$), Mg está em situação acima do normal ou excesso ($IBK \geq 150$) e em geral Zn e P estão em excesso.

Tabela 5: Índice balanceado de Kenworthy:

Nut.	Tratamento															
	CM0				CM10				CM20				CM40			
	FR															
	0	1	2,5	5	0	1	2,5	5	0	1	2,5	5	0	1	2,5	5
N	32	32	31	30	33	32	33	32	30	31	29	30	32	32	35	36
P	146	192	247	191	227	229	254	251	202	231	263	260	263	285	283	264
K	87	65	79	71	89	87	74	59	80	80	69	79	84	71	93	70
Ca	114	122	111	125	120	117	125	98	116	115	113	111	136	134	128	121
Mg	161	139	153	120	149	142	156	131	152	149	135	144	140	166	165	156
S	74	57	91	57	85	77	92	52	60	94	68	71	64	97	69	95
Mn	40	28	28	12	21	10	35	22	48	50	15	5	20	6	11	11
Cu	123	104	160	139	140	112	125	117	115	128	109	117	103	110	128	127
Zn	292	316	286	283	270	277	285	268	391	409	408	249	327	302	367	360

A cor vermelha indica que o nutriente está em déficit, amarelo: abaixo do normal; verde: normal; cinza: acima do normal e azul: excesso

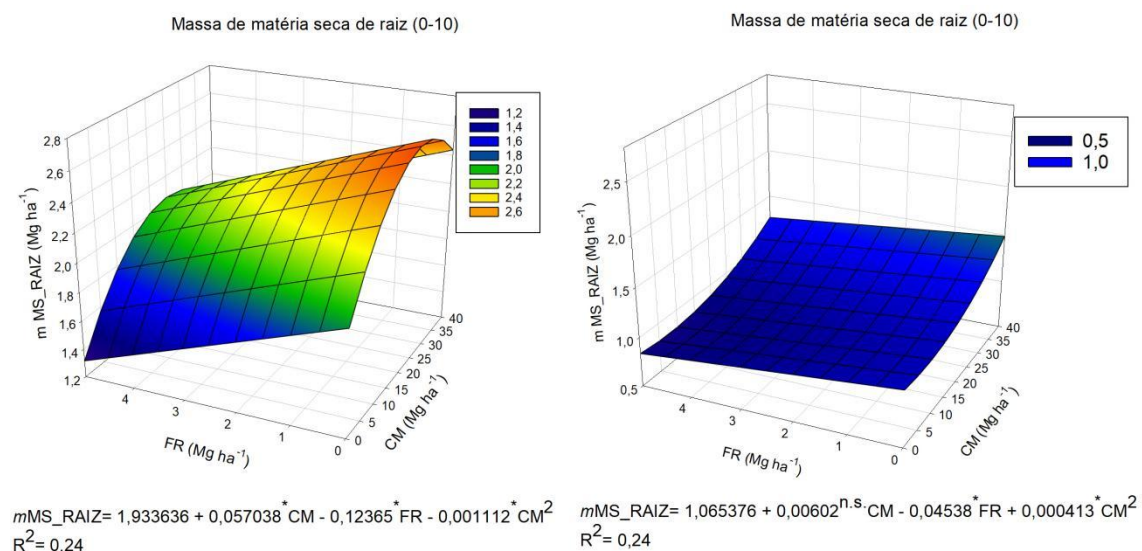
Na tabela 6 estão apresentados do índices DRIS para os nutrientes N, P, K, S, Mg, Mn, Cu e Zn e o índice de equilíbrio nutricional médio (IENm). Quanto mais próximo o de zero, mais equilibrado está o estado nutricional. Os resultados demonstram que em geral, todos os nutrientes apresentam um certo desequilíbrio nutricional seja para excess (valores positivos) ou para déficit (valores negativos). Nos tratamentos onde foram aplicados dose 0 e 20 t/ha de camade aviário (CM0 e CM20) apresento uma tendencia de aumento do IENm a medida que umenta a dose de FR.

Tabela 6: Índice DRIS

Tratamentos		Índices DRIS									IENm
CM	FR	I _N	I _P	I _K	I _S	I _{Ca}	I _{Mg}	I _{Mn}	I _{Cu}	I _{Zn}	
0	0	-11,4	-28,4	-11,4	-3,7	27,3	7,2	-20,6	6,2	34,8	10,5
0	1	-21,6	-2,5	-18,8	-10,6	35,2	1,9	-31,2	4,9	42,7	18,8
0	2,5	-46,8	17,7	-15,6	3,4	28,4	3,2	-34,4	10,5	33,7	21,5
0	5	-28,2	8,6	-15,5	-5,0	53,1	0,2	-73,0	12,7	47,1	27,0
10	0	-31,0	9,0	-12,3	2,3	34,6	2,3	-45,2	8,7	31,5	19,6
10	1	-34,8	21,7	-11,8	7,3	52,0	5,9	-93,3	8,3	44,6	31,1
10	2,5	-38,6	15,1	-17,8	1,2	29,3	1,9	-27,2	5,8	30,4	18,6
10	5	-27,1	23,6	-21,1	-11,4	30,5	-0,4	-36,7	7,5	35,1	21,5
20	0	-44,9	0,8	-14,8	-11,6	28,0	3,2	-17,7	4,9	52,1	19,8
20	1	-53,7	8,1	-16,5	0,4	24,3	-0,4	-18,6	5,6	50,7	19,8
20	2,5	-60,1	33,0	-19,2	-2,3	41,0	0,4	-66,8	6,4	67,6	33,0
20	5	-44,1	52,4	-13,4	15,2	74,8	13,8	-165,4	13,9	52,6	49,5
40	0	-42,6	23,8	-13,9	-7,9	42,1	-0,9	-48,2	3,9	43,6	25,2
40	1	-49,6	51,9	-19,4	25,5	81,2	16,3	-176,3	10,3	60,0	54,5
40	2,5	-43,6	30,7	-13,6	-2,4	50,7	6,8	-92,8	8,5	55,6	33,9
40	5	-35,8	24,4	-21,1	11,0	47,0	4,9	-94,6	9,0	55,1	33,7

A massa de matéria seca de raiz na camada de 0-10 cm apresentou resposta quadrática negativa à adubação com CM (FIGURA 3). Enquanto, a adubação com FR apresentou uma resposta linear negativa. A melhor combinação entre a doses de CM e FR (CM 25,6 FR0) resultou em uma produção média de 2,7 Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca de raiz nesta mesma profundidade. Já na camada de 10-20 cm a adubação com CM apresentou efeito quadrático positivo e efeito linear negativo para a adubação com FR. A melhor combinação entre a doses de CM e FR (CM40 FR0) resultou em uma produção média de 1,5 Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca de raiz (FIGURA 2).

Figura 3: Resposta da matéria seca de raiz (MS) (Mg ha⁻¹) a doses de cama de aviário (CM) (0, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹) e fosfato natural reativo (FR) (0, 1, 2,5 e 5 Mg ha⁻¹). * e ^{ns} significativo a 5% e não significativo, respectivamente.



3.2. Resposta dos teores de P disponível em função da adubação com cama de aviário e fosfato natural reativo

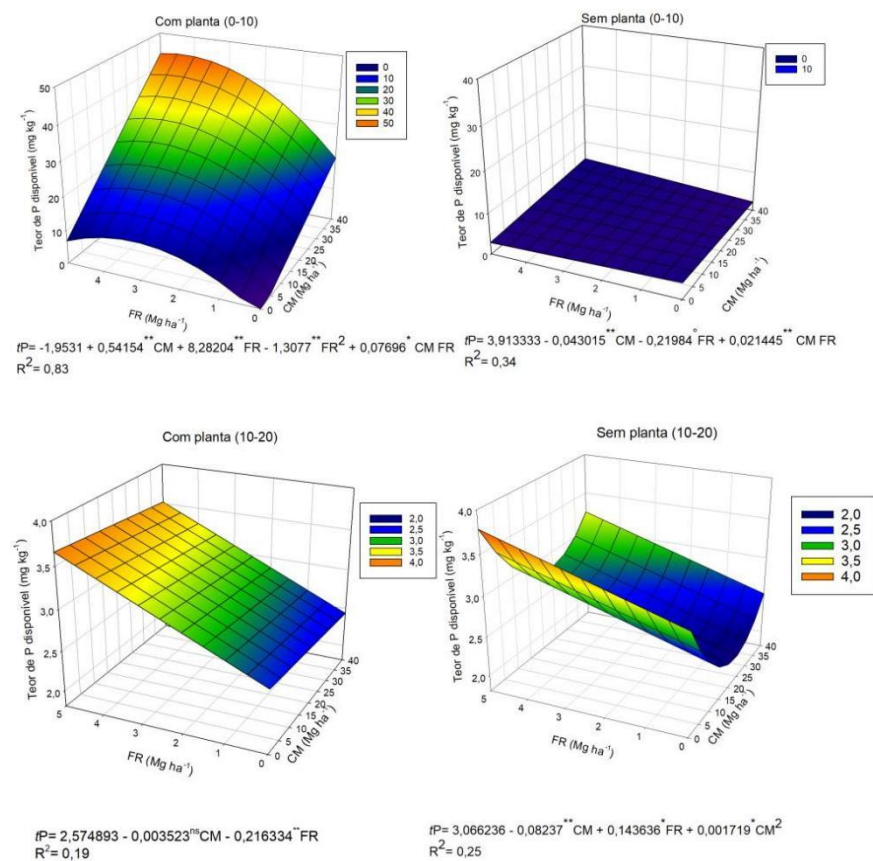
Na figura 4 estão apresentados os efeitos das adubações com CM e FR nas subparcelas com planta (CP) e sem planta (SP) nos teores de P disponível. Foi verificado para a camada de 0-10 cm que os teores de P disponível na subparcela com planta (CP) foram 400% maior que nas subparcelas sem planta (SP).

A adubação com CM resultou em um efeito linear positivo quanto aos teores de P disponível na subparcela com planta (CP) na camada de 0-10 cm (FIGURA 4). Já as doses de FR proporcionaram uma resposta quadrática negativa. Conforme esperado, a interação entre a

CM e FR resultou no incremento dos teores de P disponível. A melhor combinação de doses de CM e FR (CM 40 FR 3,2) resultou em um teor de P disponível de 46,6 mg kg⁻¹. Para a camada de 10-20 cm na subparcela com planta (CP), apenas a adubação com FR proporcionou incrementos significativos nos teores de P disponível.

Na subparcela sem planta na camada de 0-10 cm foi observado efeito linear negativo tanto para CM quanto para FR e para a interação entre CM e FR. Já na camada de 10-20 cm foi observado efeito linear positivo para a adubação com FR e efeito quadrático positivo para adubação com CM.

Figura 4: Resposta do Fosforo disponível (P disponível) a doses de cama de aviário (CM) (0, 10, 20 e 40 Mg/ha) e fósforo natural reativo (FR) (0, 1, 2,5 e 5 Mg/ha). * e ns significativo a 5% e não significativo, respectivamente.



3.3 Frações da matéria orgânica em diferentes épocas de amostragem

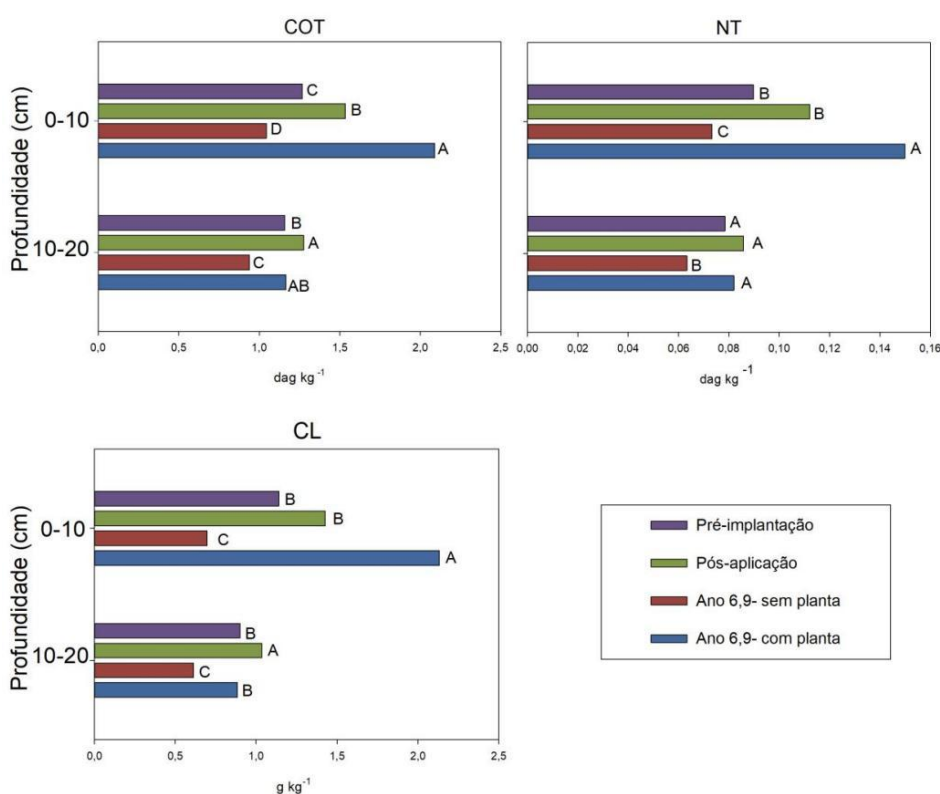
Na figura 5 estão apresentados os resultados dos teores de COT, NT e CL antes da implantação do experimento (Pré-implantação), após a aplicação dos tratamentos (Pós-aplicação) e 6,9 anos após a montagem do experimento, nas subparcelas sem planta (ano 6,9 - SP) e com planta (ano 6,9 - CP).

Ao comparar os teores de COT pré-implantação e pós-aplicação, foi observado um incremento nos teores de COT após a aplicação dos tratamentos, tanto na camada de 0-10 cm quanto na camada de 10-20 cm. Em contrapartida, os teores de COT decresceram após 6,9 anos da implantação do experimento nas subparcelas sem planta em ambas camadas avaliadas. Já na subparcela com planta, e foi observado incremento nos teores de COT na camada de 0-10 cm em relação às demais épocas de amostragem. Na camada de 10-20 cm, os teores de COT na subparcela com planta não diferiram daqueles observados na pré-implantação e pós-aplicação.

De maneira similar aos teores de COT, os teores de NT após 6,9 anos da implantação do experimento também foram superiores aos demais tempos avaliados na subparcela com planta e inferiores na subparcela sem planta, na camada de 0-10 cm. Entretanto, não foi observado diferença significativa entre os teores de NT pós-aplicação comparado à pré-implantação. Em contraste, na camada de 10-20 cm, os teores de NT após 6,9 anos da implantação do experimento na subparcela sem planta, também foram inferiores às demais épocas de amostragem. Enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si na camada subsuperficial.

Os resultados de CL apresentaram o mesmo comportamento do NT na camada de 0-10 cm. No entanto, na camada de 10-20 cm os maiores teores de CL foram observados na pós-aplicação dos tratamentos. Não houve diferença significativa entre os teores observados nos tratamentos pré-implantação e após 6,9 anos da implantação do experimento na parcela com. Na subparcela sem planta os teores de CL também foram inferiores aos demais tratamentos.

Figura 5: Carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbono lábil (CL). Antes da implantação do experimento (Pré-implantação), após a aplicação dos tratamentos (Pós-aplicação) e após 6,9 anos da implantação do experimento, nas subparcelas com planta (Ano 6,9 - com planta) e sem planta (Ano 6,9 - sem planta). Médias obtidas pelos valores agrupados de todos os níveis de CM (0, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹) e FR (0, 1, 2,5 e 5 Mg ha⁻¹). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade.



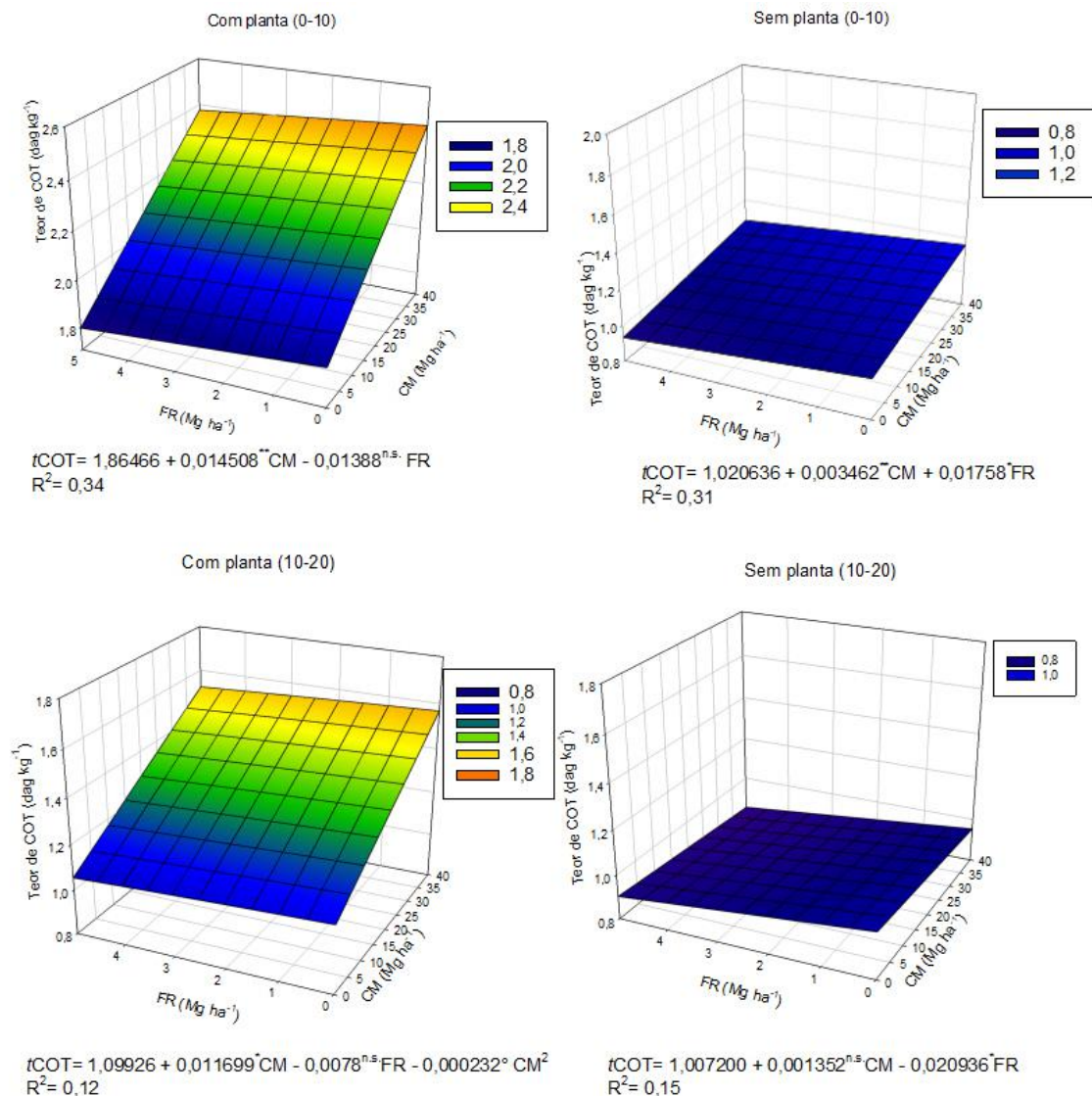
3.4 Resposta dos indicadores orgânicos à adubação com cama de aviário e fosfato natural reativo:

Os teores de COT, NT e CL foram em média 100, 104 e 206% maiores na subparcela com planta em relação à sem planta na camada de 0-10 cm, respectivamente. Já na camada de 10 -20 cm, os teores de COT, NT e CL foram 24, 29 e 44% maiores na parcela com planta em relação à parcela sem planta, respectivamente (FIGURAS 6, 7 e 8).

A adubação com CM resultou em incrementos lineares nos teores de COT na subparcela CP nas profundidades de 0-10 (FIGURA 5). A melhor combinação entre as doses de CM e FR (C40 FR0) resultou em um teor 2,4 dag kg⁻¹ de COT nesta mesma camada. Já na camada de 10-20 cm a adubação com CM resultou em um efeito quadrático negativo com dose máxima de 25,2 Mg ha⁻¹. Para a adubação com FR não foi observado efeitos significativos nas duas profundidades avaliadas.

Nas subparcelas sem planta (SP), na camada de 0-10 a adubação com CM resultou em um efeito linear positivo enquanto com FR propiciou um efeito linear negativo. Por outro lado, na camada de 10-20 cm não houve diferença significativa quanto à adubação com CM e foi verificado um efeito linear negativo quanto à adubação com FR.

Figura 6: Resposta do carbono orgânico total (COT) a doses de cama de aviário (CM) (0, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹) e fosfato natural reativo (FR) (0, 1, 2,5 e 5 Mg ha⁻¹). * e ^{ns} significativo a 5% e não significativo, respectivamente.

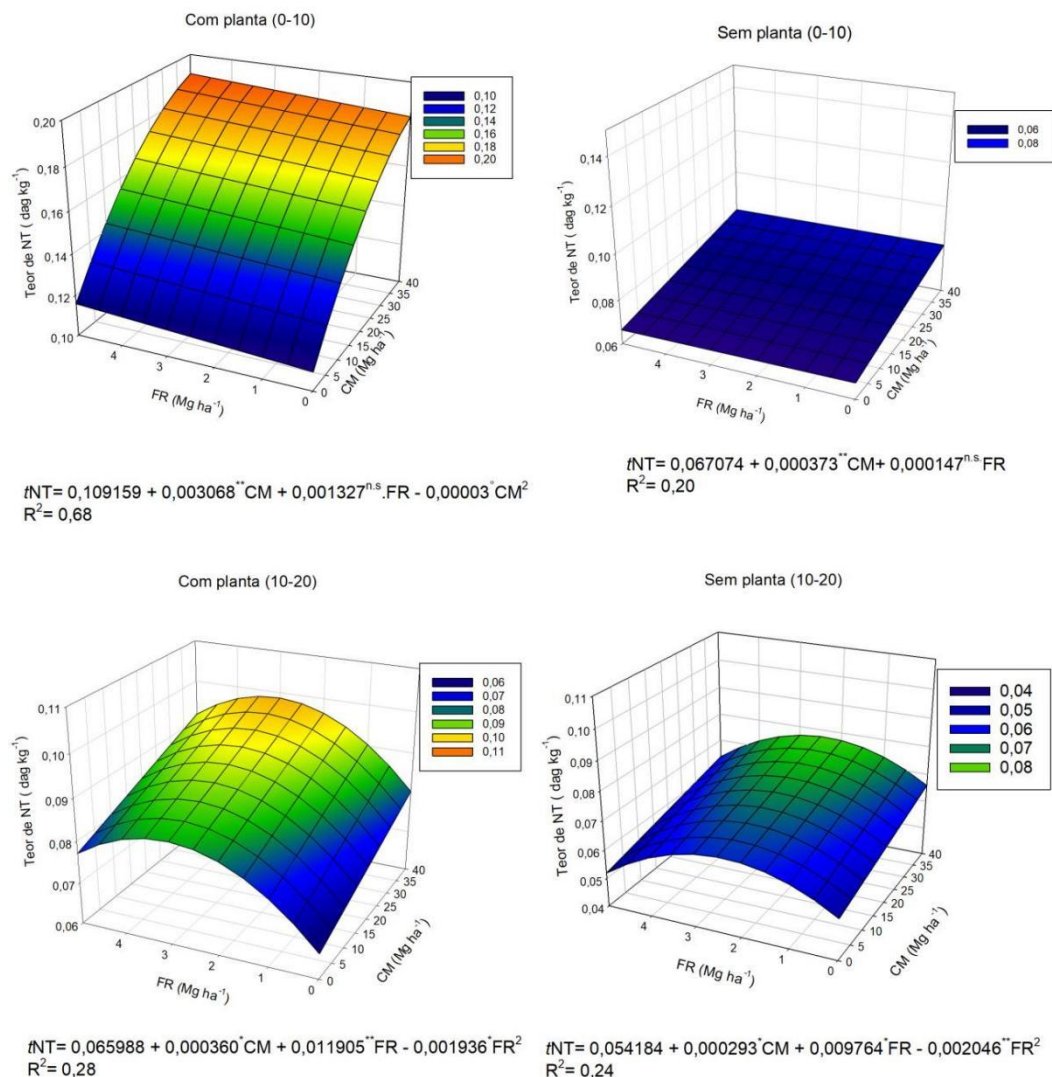


Os teores de nitrogênio total na subparcela com planta na camada de 0-10 cm apresentaram uma resposta quadrática à adubação com CM. Já na camada de 10-20 cm foi observado efeito linear positivo para adubação com CM e efeito quadrático negativo para a

adubação com FR. Nesta profundidade, a melhor combinação entre as doses de CM e FR (CM 40 FR 3,1) resultou em um teor de 0,1 dag kg⁻¹.

Na subparcela sem planta na camada de 0-10 cm foi observado efeito linear positivo para a adubação CM. Já na camada de 10-20 cm além do efeito linear positivo da CM, foi verificado efeito quadrático do FR com ponto de máximo na dose máxima de 2,5 Mg ha⁻¹ de FR.

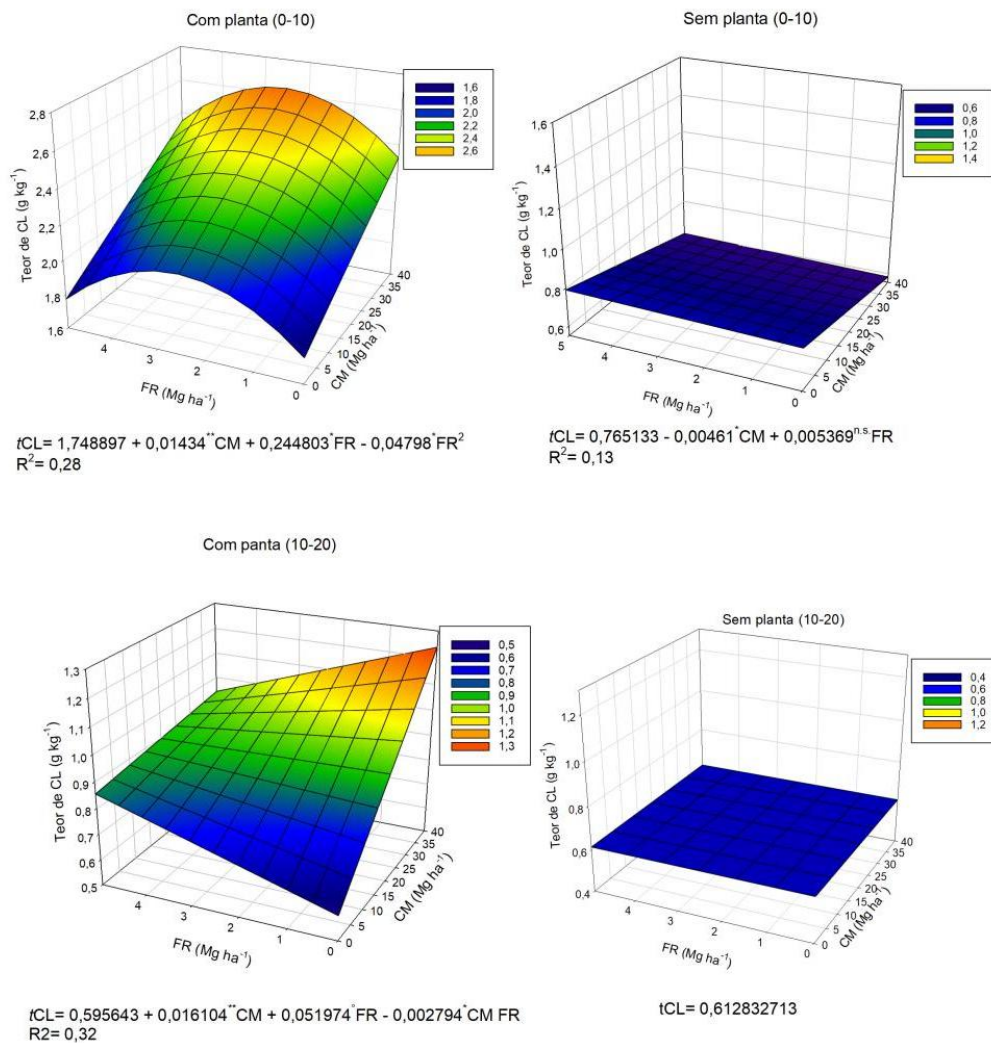
Figura 7: Resposta nitrogênio total (NT) a doses de cama de aviário (CM) (0, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹) e fosfato natural reativo (FR) (0, 1, 2,5 e 5 Mg ha⁻¹). * e ^{ns} significativo a 5% e não significativo, respectivamente.



Os teores de CL na subparcela com planta (CP) na camada de 0-10 cm apresentaram uma resposta linear quanto à adubação com CM e quadrática negativa quanto à adubação com FR (FIGURA 8). A melhor combinação de doses (CM 40 FR 2,5) proporcionou um teor de CL de 2,6 g kg⁻¹. Já na camada de 10-20 cm adubação com CM e FR proporcionou incrementos lineares nos teores de CL e interação negativa entre a adubação com CM e FR.

Na subparcela sem planta, foi verificado efeito linear negativo para a adubação com CM na camada e 0-10 cm e na camada de 10-20 cm os tratamentos não tiveram efeito significativo sobre os teores de carbono lábil.

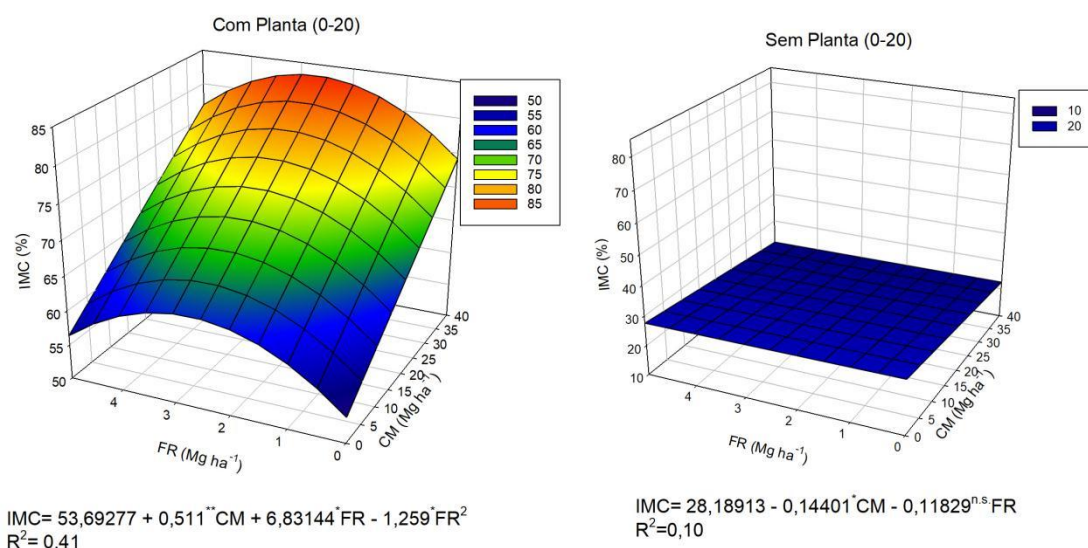
Figura 8: Resposta carbono lábil (CL) a doses de cama de aviário (CM) (0, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹) e fosfato natural reativo (FR) (0, 1, 2,5 e 5 Mg ha⁻¹). * e ^{ns} significativo a 5% e não significativo, respectivamente.



A CM proporcionou incrementos lineares no IMC na subparcela com planta (CP) na camada de 0-20 cm (FIGURA 9). Enquanto, a adubação com FR resultou em uma resposta quadrática negativa, sendo seu ponto máximo a dose de 2,7 Mg ha⁻¹. A combinação entre a dose de 40 Mg ha⁻¹ de cama de aviário e 2,7 Mg ha⁻¹ de fosfato natural reativo (CM40FR2,7) resultou em um IMC cujo valor foi 83,4% superior ao observado para os demais tratamentos (p < 0.05).

Na subparcela sem planta (SP) o IMC apresentou valores muito baixos, em média 25%. As adubações com CM proporcionou efeito lienear negativos nos valores de IMC.

Figura 9: Resposta índice de manejo de carbono (IMC) a doses de cama de aviário (CM) (0, 10, 20 e 40 Mg/ha) e fosfato natural reativo (FR) (0, 1, 2,5 e 5 Mg/ha) na camada de 0-20cm. **, * e ^{ns} significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.



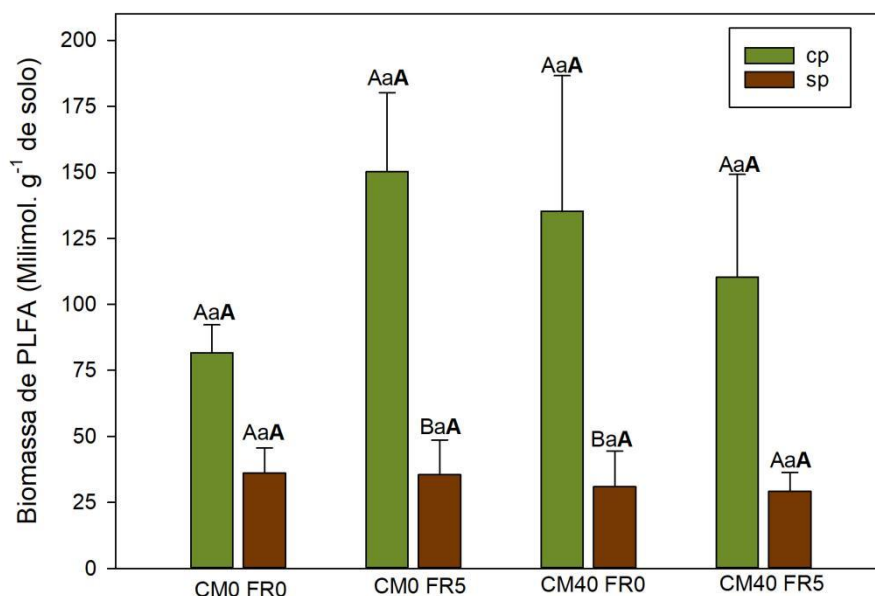
3.5 Alterações na estrutura da comunidade microbiana em função das adubações com cama de aviário e fosfato natural reativo e a presença da planta

A presença da planta resultou, em média, um aumento de 263% na biomassa total de PLFAs (tabela 7). Entretanto, ao desdobrar o fator planta dentro de cada nível de cama de aviário (CM) e fosfato reativo (FR), não foi observado efeito da planta nos tratamentos CM0FR0 e CM40FR5 (FIGURA 10). A biomassa total de PLFAs não foi afetada pela CM e pelo FR.

Tabela 7: Biomassa de PLFA total para os efeitos principais dos tratamentos com e sem planta, cama de aviário e fosfato natural reativo

Fatores	Sem		Com		P-valor *
Planta	32,91	B	119,41	A	P<0,05
Cama de aviário	75,89	A	76,44	A	ns
Fosfato natural reativo	71	A	81,88	A	ns
Teste F (P≤0,05)					

Figura10: Biomassa de PLFA (milimol.g-1 de solo) de Bactérias gram positivas (G+), bactérias gram negativas (G-), Actinomicetos (AC), Fungos micorrízicos arbusculares (FM) e fungos (F) submetidas a doses de cama de aviário (CM) (0 e 40 Mg ha-1) e fosfato natural reativo (FR) (0 e 5 Mg ha-1) nas subparcelas com planta (CP) e sem planta (SP). Médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si para a presença de planta, médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para o fator cama de aviário e médias seguidas por letras maiúsculas em negrito não diferem entre si para o fator fosfato natural segundo o teste Tukey a 5% de significância.

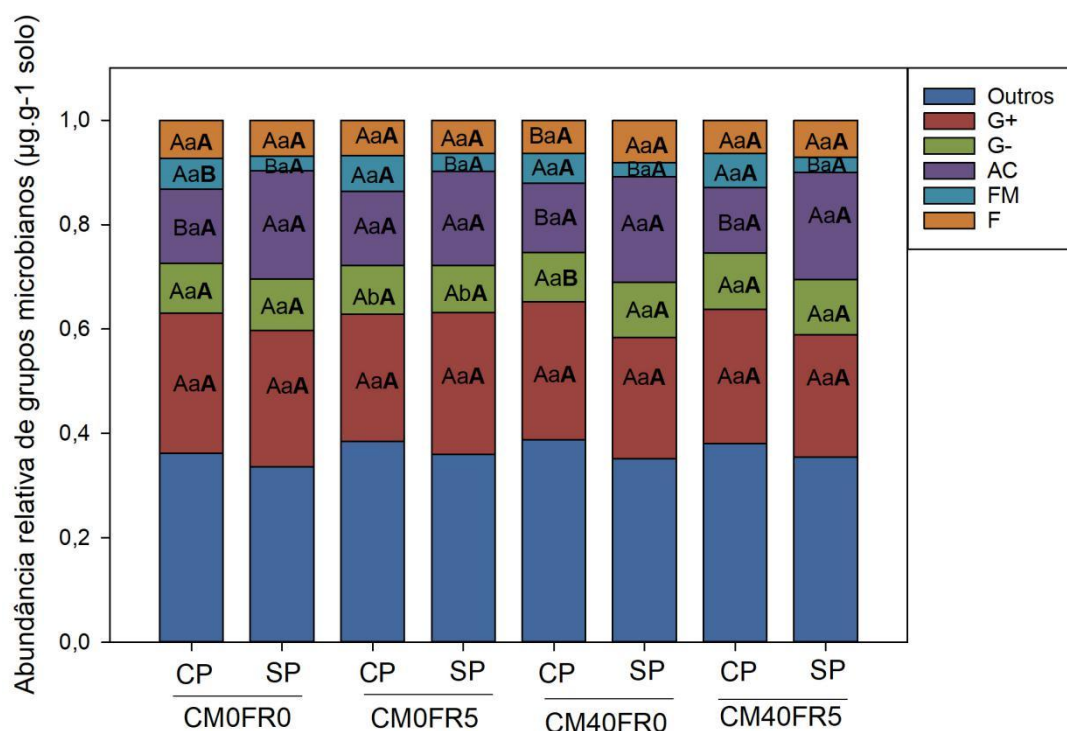


Em geral, a presença da planta aumentou a abundância relativa de fungos micorrízicos arbusculares (FM) em comparação às actinobactérias (AC). Apenas no tratamento CM0FR5 a presença da planta não resultou em diferenças significativas na abundância relativa de actinobactérias (FIGURA 11). Além disso, foi observado maior abundância relativa de fungos nas parcelas sem planta no tratamento CM40FR0. Ademais, a abundância relativa dos outros grupos microbianos não diferiu significativamente em relação a presença da planta.

A aplicação da CM (CM40) resultou em uma maior abundância relativa de bactérias gram-negativas nos tratamentos com fosfato natural reativo (FR5) tanto na subparcela com planta quanto na subparcela sem planta. Para os demais grupos microbianos, a presença da cama de aviário não resultou em diferenças significativas.

A aplicação de 5 t ha⁻¹ de FR proporcionou incremento na abundância relativa de fungos micorrízicos arbusculares no tratamento CPCM0 e de bactérias Gram-negativas no tratamento CP CM40. Para os demais grupos de microrganismos avaliados, a aplicação deste insumo não resultou em diferenças significativas na abundância relativa.

Figura 11: Abundância relativa de grupos microbianos ($\mu\text{g.g}^{-1}$ solo) de Bactérias gram positivas (G+), bactérias gram negativas (G-), Actinobactérias (AC), Fungos micorrízicos arbusculares (FM) e fungos (F) submetidas a doses de cama de aviário (CM) (0 e 40 Mg ha^{-1}) e fosfato natural reativo (FR) (0 e 5 Mg ha^{-1}) nas subparcelas com planta (CP) e sem planta (SP). Médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si para a presença de planta, médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si para o fator cama de aviário e médias seguidas por letras maiúsculas em negrito não diferem entre si para o fator fosfato natural segundo o teste Tukey a 5% de significância.



4. DISCUSSÃO

4.1 Massa e matéria seca da parte aérea e raiz da *Brachiaria brizantha* e dinâmica dos nutrientes na parte aérea

A massa de matéria seca do braquiarão alcançou valores de 2,7 Mg ha^{-1} em resposta aos efeitos residuais das adubações mineral e orgânica utilizadas no experimento (FIGURA 1). Estes resultados estão muito aquém dos resultados obtidos por Borges (2013), o qual encontrou produção de aproximadamente 17 Mg ha^{-1} em experimento com *Brachiaria brizantha* em área pós mineração de bauxita na qual foi aplicada 30 t ha^{-1} de cama de aviário e 1,5 t ha^{-1} de fosfato natural reativo no período chuvoso (mês de dezembro). Vale ressaltar que a produtividade das culturas apresenta relação direta com o suprimento dos nutrientes em menor disponibilidade em dado sistema e, normalmente o P tende a ser o nutriente mais

limitante em solos tropicais (VOISIN, 1963; NOVAIS e SMYTH, 1999). Entretanto, os teores de P estão acima da faixa adequado e os teores de N, K, S e Mn estão abaixo do ideal. Portanto, apesar da aplicação de altas doses de CM e FR no início do experimento e também da manutenção dos resíduos provenientes da poda da parte aérea das plantas sobre as parcelas, podem ter ocorrido perdas de nutrientes ao longo dos 6,9 anos do estudo e estes nutrientes também podem estar em formas não disponíveis para a planta, consequentemente, a produtividade foi reduzida. É provável que a maior disponibilidade de P em consequência da adubação com FR e da interação CM e FR (FIGURA 4) tenham aumentado o desequilíbrio nutricional e, consequentemente contribuído para a redução da produtividade.

A adubação com CM resultou em incrementos na produtividade de parte aérea e raízes do braquiário na camada de 0-10 cm (FIGURA 1 e 3). Lana et al. (2010) ao avaliar o efeito da cama de aviário na produtividade de parte aérea de *Brachiaria decumbens* observou efeito positivo do aumento das doses de CM. O aumento da produção em função da dose de CM pode ser atribuído à considerável quantidade de macro e micronutrientes que são fornecidos por este insumo (Tabela 1). Vários trabalhos têm verificado que a cama de aviário apresenta efeito residual sobre a disponibilidade de nutrientes (MATERECHERA e MORUTSE, 2009; KIFUKO et al., 2010). Por exemplo, com o uso da cama de aviário, em média 50% do N é disponibilizado no primeiro ano, 20% no segundo e os 30% restante nos anos seguintes (RIBEIRO et al., 1999). É possível que este efeito residual seja mais pronunciado em ambientes em que não há exportação de nutrientes via remoção dos resíduos, devido ao efeito da ciclagem biogeoquímica. Nesse sentido, a manutenção do material vegetal proveniente das podas sobre as parcelas favoreceu a ciclagem dos elementos e, por conseguinte, o desenvolvimento das plantas.

Assim, os nossos resultados indicam que as doses de FR foram suficientes para que este elemento não fosse limitante para a recuperação do solo degradado pela mineração. Entretanto, os baixos teores de N, K, S e Mn na parte aérea indicam que estes nutrientes limitaram a produtividade da cultura de cobertura. Portanto, é importante que ao longo do processo de recuperação de áreas degradadas sejam realizados o monitoramento das condições nutricionais da planta de cobertura e quando necessário, os elementos que estejam abaixo dos níveis ideais sejam suplementados para que a cultura de cobertura mantenha a produtividade.

4.2 Teores de COT, NT, CL e IMC

Os resultados de COT, NT e CL na figura 5 destacam a importância da planta de cobertura e do aporte contínuo de material vegetal ao longo do tempo para incrementos nas frações orgânicas do solo em áreas de recuperação pós-mineração. Este efeito é sobretudo evidente na camada superficial do solo. A produção da biomassa da parte aérea e raiz bem como as rizodeposições contribuem significativamente para os incrementos no COT, NT e CL. Além disso, o aporte de material vegetal favorece o desenvolvimento de microrganismos no solo, os quais apresentam um importante papel na formação de matéria orgânica do solo, seja pela transformação dos resíduos vegetais ou como fonte de C e N após a morte celular (SIMPSON et al., 2007). É importante salientar ainda, que as raízes e microrganismo do solo são essenciais na formação de agregados e consequentemente na persistência da MOS no solo em consequência da proteção física deste componente (GE et al., 2018; KÖGEL-KNABNER et al., 2008).

Oliveira (2013) em estudo conduzido na mesma área, também encontrou valores superiores para os teores de COT, NT, CL nas subparcelas com planta quando comparado com a pré-implantação na camada de 0-10 cm. Os teores de COT, NT e CL neste experimento foram aproximadamente 1,47, 0,10 e 0,31 dag kg⁻¹, respectivamente. Percebe-se que a magnitude dos teores de COT e NT encontrados por este autor foi inferior aos resultados obtidos no presente trabalho. Neste sentido, é importante destacar a influência do fator tempo na recuperação dos componentes orgânicos do solo em áreas mineradas, em especial para os teores de CT e NT. Carneiro et. al (2008) verificaram que o tempo de reabilitação é o fator-chave na recuperação dos teores de COT em áreas mineradas para bauxita.

Na camada de 10-20 cm os teores de COT, NT e CL na subparcela com planta não diferiram em relação a pré implantação e pós aplicação dos tratamentos (FUGURA 5). Isso pode ser atribuído a menor produção de massa de matéria seca de raízes nesta profundidade, conforme observado na figura 3. Dessa forma, houve baixa contribuição das raízes, principais responsáveis pelo incremento nos teores de componentes orgânicos em subsuperfície (10-20 cm) (SILVA e MENDONÇA, 2007).

As subparcelas sem planta (SP) apresentaram teores de COT, NT e CL inferiores a todos os tempos de avaliação, tanto na camada de 0-10 cm quanto na camada de 10-20 cm. Os teores de COT, NT e CL foram 21, 22 e 63% menores na camada de 0-10 cm e 23, 23 e 47% menores na camada de 10-20 cm, respectivamente, quando comparado à pré-implantação. Estes resultados indicam que na parcela sem planta houve perdas das frações orgânicas pré-

existentes do solo. É possível que o aporte de compostos orgânicos facilmente decomponíveis via CM tenha resultado em uma maior atividade microbiana e desencadeado a decomposição da MOS nativa (KUZYAKOV et al., 2000). Além disso, o solo exposto e a declividade do terreno favorecem os processos erosivos e consequentemente, perda da MOS (CERDAN et al., 2010).

Os resultados apresentados na figura 6 indicam que após 6,9 anos da instalação do experimento foi possível observar efeitos positivos da CM nos incrementos dos teores de COT. Vilas Boas et al., (2018) em experimento em área de recuperação de mineração de bauxita na zona da mata de Minas Gerais também observou efeitos positivos da adubação com 50 Mg ha⁻¹ de cama de aviário após 5 anos da aplicação dos tratamentos. Esses resultados demonstram que embora as condições de clima tropical favoreçam a decomposição da CM, o efeito residual da CM pode persistir ao longo de anos após a sua aplicação.

Os incrementos nos teores de COT proporcionados pela CM estão relacionados principalmente à contribuição do adubo orgânico para o desenvolvimento do braquiário. O solo utilizado na reconfiguração da área de mineração apresenta baixos teores de COT e estrutura pobre, o que dificulta o estabelecimento de plantas. A aplicação da CM resulta em incrementos nos teores de COT consequentemente na CTC efetiva do solo (FIGURA 5 e TABELA 2). Esta melhoria das condições químicas do solo dá condições para que as comunidades microbianas e a cultura de cobertura se estabeleçam e se desenvolva. Nesse sentido, a presença da planta favorece a persistência e incrementa dos teores de COT no solo (SIMPSON et al., 2007; GE et al., 2018; KOGEL-KNABER et al., 2008).

Os resultados de NT na camada de 0-10 cm apresentaram comportamento semelhante aos teores de COT em resposta a aplicação de CM com uma leve tendência para um efeito quadrático negativo, sendo o ponto máximo encontra-se fora do intervalo do espaço experimental. (FIGURA 7). A aplicação deste insumo resultou em um incremento dos teores de NT no solo. Oliveira (2013) em experimento na mesma área também verificou comportamento semelhante dos teores de COT e NT após um ano da aplicação do tratamento. É importante ressaltar que em geral, 90% do N na camada superficial do solo encontra-se na forma orgânica (ANDERSON et al., 1989). Nesse sentido, modificações nos teores de MOS, alteram significativamente os teores desse elemento no solo.

Os resultados da figura 8 sugerem uma redução dos teores de CL na camada de 0-10 cm nas doses superiores a 2,5 Mg ha⁻¹. O CL é um indicador sensível às mudanças do manejo do solo. Assim, o menor aporte de resíduos vegetais da parte aérea e raiz nas maiores doses de FR (FIGURAS 1 e 3) reduzem os teores de CL na camada superficial do solo. Resultado

semelhante foi verificado por Oliveira (2013) em experimento na mesma área após um ano da aplicação dos tratamentos. Apesar do comportamento semelhante a magnitude dos valores encontrados por este autor foi superior aos nossos resultados. A produtividade elevada no primeiro ano, bem como, a influencia da CM podem explicar os maiores teores de CL nos anos iniciais.

O IMC foi significativamente influenciado pelas adubações com cama de aviário e fosfato natural reativo nas subparcelas com planta. E de maneira análoga ao CL, a CM resultou em um efeito linear no IMC e o FR resultou em uma resposta quadrática negativa no IMC. Estes resultados corroboram a hipótese de Blair et al. (1995) e Nicoloso et al. (2008), no sentido que o IMC é um indicador sensível aos conteúdos totais de C e labilidade do C do solo, pois fornece informações sobre os melhores sistemas de manejo.

O maior valor de IMC (83,4 %) foi proporcionado pela combinação da dose 40 Mg ha^{-1} de CM e $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de FR. Estes resultados indicam que estas doses de fertilizantes foram eficientes para acelerar o processo de recuperação da área degradada, visto que, a parcelas sem CM e sem FR resultaram em um IMC muito inferior, aproximadamente 50%. Nas parcelas sem planta a situação é ainda mais crítica, em média o IMC foi de 25%.

Valores de IMC abaixo de 100 são indicativos de que após o impacto inicial da mineração, ainda não houve recuperação total dos estoques e qualidade da matéria orgânica do solo pelas práticas de manejo adotadas. O tempo, constituiu em um dos fatores mais determinantes quando se pretende recuperar uma área degradada. Carneiro et al. (2008) estudando área minerada para bauxita, previram que tendências estáveis de reabilitação ocorreram a partir dos 18 anos de revegetação.

Em resumo, os resultados das frações da MOS indicam que a presença da cultura de cobertura foi o principal determinante para os incrementos nos teores de COT, NT e CL. Além disso, o efeito residual da CM aumentou a biomassa de parte aérea e raiz e consequentemente foram verificados incrementos nos teores de COT e NT do solo. Por outro lado, o declínio da massa de matéria seca de parte aérea e raiz em consequência das maiores doses de FR, reduziram os teores de CL no solo.

4.3. Estrutura da comunidade microbiana:

Conforme a tabela 5, a presença da planta aumentou a biomassa total de PLFAs. Teixeira et al, (2019) verificaram que nos estágios iniciais (14 meses) da recuperação da área minerada para bauxita a atividade microbiana depende mais das adubações orgânicas do que de fertilizantes químicos ou da presença da planta. Entretanto, após 36 meses, estes autores

relatarem que os microrganismos já conseguem reestabelecer interações sinérgicas com as plantas. Neste sentido, é provável que, no presente estudo, as interrelações entre plantas e microrganismos tenham sido reestabelecidas, assim, a atividade microbiana depende principalmente da presença da planta.

Além da planta resultar em um incremento da biomassa total de PLFAs ela pode influenciar diretamente na abundância relativa de certos grupos microbianos no solo. Os resultados mostraram um incremento da abundância relativa de fungos micorrízicos arbusculares (FM) na parcela com planta, enquanto, a abundância relativa de actinobactéria (AC) foi reduzida (FIGURA 11). É importante destacar que os FM são organismos biotróficos, ou seja, só se propagam quando associados à planta viva. Neste sentido, a ausência da planta limitou o desenvolvimento destes microrganismos.

Enquanto os FM são favorecidos pela presença da planta, a abundância relativa de actinobactérias (AC) foi reduzida na presença do braquiário. Em geral, AC são menos favorecidas em solo rizosférico pois são organismos de crescimento lento e pouco competitivos. Assim, a introdução de planta no sistema culminou em uma maior competição entre as AC e outros microorganismos, reduzindo assim a sua população (CARDOSO e FREITAS, 1992).

A adubação com CM resultou em um incremento na abundância relativa de bactérias gram-negativas no tratamento com planta e com fosfato natural reativo (CPFR5) e no tratamento sem planta e com fosfato natural reativo (SPFR5). Vários trabalhos têm relatado incrementos das populações de G- com o aumento da disponibilidade de compostos orgânicos no solo (BOSSIO e SKOW, 1998; BORGA et al., 1994; ZELLES e BAI, 1993). Neste sentido, os incrementos de COT resultado do maior aporte de biomassa vegetal proporcionado pela adubação com CM na subparcela com planta e os efeitos diretos da adubação com CM no incremento do COT na subparcela sem planta favoreceram este grupo de microorganismo.

A presença do fosfato natural reativo resultou em um aumento na abundância relativa de fungos micorrízicos arbusculares no tratamento com planta em sem cama de aviário (CPCM0). A baixa disponibilidade de P na subparcela com planta no tratamento sem CM e sem FR (CM0FR0) pode ter resultado em uma competição entre as hifas do fungo micorrízico arbuscular e as raízes da planta, e conseqüentemente em uma redução da população de FM (SMITH et al., 2011). Em contrapartida na presença do FR a planta investiu na interação micorrízica para acessar o P presente no FR, o que resultou em um incremento da abundância relativa de FM. No trabalho de Silva et al. (2017) no qual foi avaliado a comunidade microbiana na rizosfera de milho, os autores verificaram que a adubação com fosfato natural

de Araxá (100 kg ha^{-1}) proporcionou um incremento na população de fungos do filo Glomerycota. Entre as famílias de fungos micorrízicos arbusculares, Gigasporaceae foi a mais abundante no tratamento com fosfato natural de Araxá.

Em suma, a biomassa total de PLFA após 6,9 anos da aplicação dos tratamentos é influenciada principalmente pela presença das plantas. Além disso, as plantas podem favorecer o desenvolvimento de microrganismos que estabelecem relações simbióticas, com as mesmas. Apesar dos efeitos residuais dos fertilizantes não afetarem a biomassa total de PLFA, os efeitos residuais da CM e FR ainda influenciam na composição da comunidade microbiana.

4.4. Implicações para a restauração e o manejo de solos degradados por mineração de bauxita

O monitoramento de algumas características do solo, como as que foram avaliadas neste estudo, é fundamental para prever a eficiência de restauração de áreas mineradas. Em primeira análise, o cultivo de plantas de cobertura é de suma importância para aumentar os teores de MOS no sistema. Os resultados observados evidenciam que, em geral, os teores de carbono no solo foram maiores nas parcelas em que a *Brachiaria brizantha* obteve maiores produtividades. Nesse sentido, o fornecimento de nutrientes em quantidades balanceadas e equilibradas é fundamental para otimizar a produção das plantas e, por conseguinte, acelerar a recuperação da área. Assim, o presente trabalho evidencia que a aplicação combinada de 40 Mg ha^{-1} de CM e $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de FR é recomendável para obter maiores produtividades da *Brachiaria brizantha* (Figura 1). É importante ressaltar, que as doses de FR foram suficientes para que o P não fosse o nutriente limitante neste solo. Entretanto, os resultados de teores N, K, S e Mn na parte aérea, evidenciaram que estes nutrientes limitaram a produtividade da cultura de cobertura. Neste sentido, o monitoramento das condições nutricionais da planta e reposição dos elementos que estão em baixa disponibilidade são importantes para manutenção da produtividade da cultura de cobertura.

Além disso, a cobertura do solo com espécies vegetais cria condições ao desenvolvimento microbiano. A maior biomassa total de biomarcadores de microrganismos nas subparcelas com planta evidencia este fato. É importante salientar que os microrganismos têm papel fundamental nos processos de formação da MOS e ciclagem de nutrientes, portanto a sua abundância e biodiversidade é essencial no processo de recuperação de áreas degradadas. Vale ressaltar ainda que as plantas realizam diversas interações de sinergismo com a microbiota que impactam significativamente as características do solo.

Conforme as discussões acima, a recuperação de áreas mineradas depende substancialmente do bom desenvolvimento de plantas e microrganismos do solo. Assim, a fim de realizar a reabilitação da área e reestabelecer as condições de estabilidade do sistema, é imprescindível a adoção de técnicas de manejo que favoreçam o desenvolvimento das plantas.

5. CONCLUSÕES:

Doses de FR superiores a 1,74 Mg ha⁻¹ reduzem na produtividade de *Brachiaria brizantha*.

Os efeitos residuais da adubação com CM são mais importantes para os incrementos nas frações orgânicas do que os efeitos da adubação com FR.

A adubação com 40 Mg ha⁻¹ de cama de aviário combinado com 2,5 Mg ha⁻¹ de fosfato natural e cultivo da *Brachiaria brizantha* apresentam um alto potencial para acelerar o processo de recuperação de áreas de mineração de bauxita.

O cultivo da *Brachiaria brizantha* aumenta a biomassa total de PLFA no solo e altera a abundância relativa de fungos micorrízicos arbusculares e actinobactérias.

6. REFERÊNCIAS

- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. P. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, (Boletim Técnico 78), 48 p, 1983.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index, for agricultural systems. **Australian Journal of Agriculture Research**, n. 46, p.1459-1466, 1995.
- Bligh, E.G.; W.J. Dyer. A rapid method for total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, n. 37, p. 911-917, 1959.
- BORGA, P.; NILSSON, M.; TUNLID, A. Bacterial communities in peat in relation to botanical composition as revealed by phospholipid fatty acid analysis. **Soil Biology & Biochemistry**, p. 26, n. 841-848, 1994.
- BORGES, O.P.J.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J.S.; VOURLITIS, G.L. Estimativa de Q10 por meio do efluxo de CO₂ no solo na estação seca numa floresta tropical de transição amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n.21, p. 117-121, 2006.
- BOSSIO, D.A.; SCOW, K.M. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns. **Microbial Ecology**, n. 35, p. 265-278, 1998.

CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, S. S. A Rizosfera. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P., (Ed.). **Microbiologia dos Solos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 41-58, 1992.

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

CERDAN, O.; GOVERS, G.; LE BISSONNAIS, Y.; VAN OOST, K.; POESEN, J.; SABY, N.; GOBIN, A.; VACCA, A.; QUINTON, J.; AUERSWALD, K.; KLIK, A.; KWAAD, F.J.P.M.; RACLOT, D.; IONITA, I.; REJMAN, J.; ROUSSEVA, S.; MUXART, T.; ROXO, M. J.; DOSTAL, T. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. **Geomorphology**, n. 122, p. 167–177, 2010.

DAWS, M. I.; STANDISH RJ, KOCH, J. M.; MORALD, T. K.; TIBBETT, M.; HOBBS, R.J. Phosphorus fertilisation and large legume species affect jarrah forest restoration after bauxite mining. **Forest Ecology and Management**, n. 354, p. 10–17, 2015.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, p. 212, 1997.

FEDERLE, T.W. Microbial distribution in soil-new techniques. In Perspective in Microbial Ecology ed. Megusar, F. and Gantar, M. Ljubljana, **Slovenia: Slovene Society for Microbiology**, p.493–498, 1986.

FROSTEGÅRD, A.; A. TUNLID, E. BÅÅTH. Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forests as revealed by phospholipid fatty acid analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 25, p.723-730, 1993.

GE, Z.; FANG, S.; CHEN, H. T. H.; ZHU, R.; PENG, S.; RUAN, H. Soil Aggregation and Organic Carbon Dynamics in Poplar Plantations. **Forests** 9, 508, 2018.

HEDLUND, K. Soil microbial community structure in relation to vegetation management on former agricultural land. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 34, p. 1299-1307, 2002.

KAISER, C.; KORANDA, M.; KITZLER, B.; FUCHUEGER, L.; SCHNECKER, J.; SCHWEIGER, P.; RASCHE, F.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; SESSITSCH, A.; RICHTER, A. Belowground carbon allocation by trees drives seasonal patterns of extracellular enzyme activities by altering microbial community composition in a beech forest soil. **New Phytol**, n. 187, p. 843–858, 2010.

KENWORTHY, A. L. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In: Reuther W. Plant analysis and fertilizers problems. Washington: **American Institute of Biological Science**. p. 28-23, 1961

KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, p. 139–162, 2002.

KROPPESTEDT, R. M. "The genus *Nocardiopsis*" In: Balows, A., Trüper, H. G. Dworkin, M. Harder, W. Schleifer, K.H. eds. *The Prokaryotes 2* Springer Berlin Heidelberg, New York, p. 1139-1156, 1992.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHL, K. Review of mechanisms and quantification of priming effect. **Soil Biology & Biochemistry**, n.32, p. 1485-1498, 2000.

LANA, R. M. Q; ASSIS, D. F; SILVA, A. A; LANA, A. M. Q; GUIMARÃES, E. C; BORGES, E. N. **Alterações na produtividade e composição nutricional de uma pastagem após segundo ano de aplicação de diferentes doses de cama de frango**. Biosci. J., Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 249-256, 2010.

LARNEY, F.J.; ANGERS, D.A. The role of organic amendments in soil reclamation: A review. **Canadian Journal of Soil Science**, n. 92, p. 19–38, 2012.

LEAL, O. A; CASTILHOS, R.M.V; PINTO, L.F.S; PAULETTO, E. A; LEMES, E.S; KUNDE, R.J. Initial Recovery of Organic Matter of a Grass-Covered Constructed Soil after Coal Mining. **Rev Bras Cienc Solo**, 2016.

MANDAL, D.; SRIVASTAVA. P.; GIRI, N.; KAUSHAL, R.; CERDA. A.; MEHERUL; ALAM, N. Reversing land degradation through grasses: A systematic meta-analysis in the Indian tropics. **Solid Earth**, n. 8, p. 217–233, 2017.

MATERECHERA, S A; MORUTSE, H M. Response of maize to phosphorus from fertilizer and chicken manure in a semi-arid environment of south Africa. **Experimental Agriculture**; Cambridge, p. 261-273, 2009.

Experimental Agriculture; Cambridge Vol. 45, Ed. 3, (Jul 2009): 261-273. Response of maize to phosphorus from fertilizer and chicken manure in a semi-arid environment of south africa.

NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e plantas em condições tropicais**. 1. ed. Viçosa: UFV. p. 399, 1999.

NZIGUHEBA, G.; BÜNEMANN, E.K. **Organic phosphorus dynamics in tropical agroecosystems**. In: TURNER, B.L., FROSSARD, E., BALDWIN, D.S. (Eds). *Organic Phosphorus in the Environment*. Oxford University Press, p. 412, 2005.

O'LEARY, W.M. AND WILKINSON, S.G. 1988. Gram-positive bacteria. In *Microbial Lipids* ed. Ratledge, C. and Wilkinson, London: **Academic Press. S.G.**, p. 117–185, 1988.

OLIVEIRA, D. M. S. **Matéria orgânica e fluxos de CO₂ e CH₄ em área minerada e fertilizada com cama de aviário e fosfato natural**. Dissertação (Solos e nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa. 2013.

OLSSON, P. A.; VAN AARLE, I. M.; ALLAWAY, W. G.; ASHFORD, A. E.; ROUHIER, H. Phosphorus Effects on Metabolic Processes in Monoxenic Arbuscular Mycorrhiza Cultures. **Plant Physiol.** Vol. 130, 2002.

OLSSON, P.A. Signature fatty acids provide tools for determination of the distribution and interactions of mycorrhizal fungi in soil. **FEMS Microbiology Ecology**, n. 29, p. 303–310, 1999.

OLSSON, P.A.; BAATH, E; JAKOBSEN, I.; SODERSTROM, B. The use of phospholipid and neutral lipid fatty acids to estimate biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in soil. **Mycology Research**, n. 99, p. 623–629, 1995

RIBEIRO, A. C; GUIMARÃES, P. T. G; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª aproximação. Viçosa, MG. 359p., 1999.

SCHLEGEL AJ, ASSEFA Y, BOND HD, WETTER SM, STONE LR. Corn response to long-term applications of cattle manure, swine effluent, and inorganic nitrogen fertilizer. **Agronomy Journal**, n. 107, p. 1701, 2015.

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

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

SHRESTHA, R.K.; LAL, R. Ecosystem carbon budgeting and soil carbon sequestration in reclaimed mine soil. **Environment International**, n. 32, p. 781–796, 2006.

SILVA, U.C.; MEDEIROS, J.D.; LEITE, L.R.; MORAIS, D.K; CUADROS-ORELLANA, S.; OLIVEIRA, C.A.; DE PAULA LANA, U.G.; GOMES, E.A.; AND DOS SANTOS, V.L. Long-Term Rock Phosphate Fertilization Impacts the Microbial Communities of Maize Rhizosphere. **Front. Microbiol**, n. 8, p.1266, 2017.

SIMPSON, A. J; SIMPSON, M. J; SMITH, E; KELLEHER, P.K. Microbially Derived Inputs to Soil Organic Matter: Are Current Estimates Too Low? **Environ. Sci. Technol**, n. 41, p. 8070–8076, 2007.

SMITH, I, J; GRONLUND, M; SMITH, F.A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Phosphorus Nutrition: Interactions between Pathways of Phosphorus Uptake in Arbuscular Mycorrhizal Roots Have Important Implications for Understanding and Manipulating Plant Phosphorus Acquisition1 Vol. 156, p. 1050–1057, 2011.

SRINIVASARAO, C.; VENKATESWARLU, B.; LAL, R.; SINGH, A.K.; KUNDU, S.; VITTAL, K. P. R, PATEL, J. J.; PATEL, M.M. Long-term manuring and fertilizer effects on depletion of soil organic carbon stocks under pearl millet-cluster bean-castor rotation in Western India. **Land Degradation & Development**, n. 25, p. 173–183, 2014.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5), 1995.

TEIXEIRA, R.S.; SOUZA, I. F.; SANTOS, R. S.; GOMES, L. C.; BORGES, S. R.; VERGUTZ, L.; SILVA, I.R. Impact of fertilization on cover crops and microbial community on a bauxite-mined soil undergoing reclamation. **Plant Nutr. Soil Sci**, 000, p. 1–9, 2019.

VILAS BOAS, H. F.; ALMEIDA, L. F. J.; TEIXEIRA, R. S.; SOUZA, I. F.; SILVA, I. R. Soil organic carbon recovery and coffee grain yield following bauxite mining. **Land Degradation & Development**, p. 1565-1573, 2018.

WANTZEN, K. M. & MOL, J. H. Soil Erosion from Agriculture and Mining: A Threat to Tropical Stream Ecosystems. **Agriculture** , n. 3, p. 660-683, 2013

WHITE, D. C.; DAVIS, W. M.; NICKELS, J. S.; KING, J. D.; BOBBIE, R. J. Determination of the sedimentary microbial biomass by extractible lipid phosphate. **Oecologia**, n. 40(1), p. 51-62, 1979.

WILKINSON, S.G. Gram-negative bacteria. In *Microbial Lipids* ed. Ratledge, C. and Wilkinson, S.G. **London: Academic Press**. p. 299–457, 1988.

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

ZELLES, L.; BAI, Q.Y. Fractionation of fatty acids derived from soil lipids by solid phase extraction and their quantitative analysis by GCMS. **Soil Biology & Biochemistry**, n. 25,p. 495-507, 1993.