



Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Unidade Universitária de Dourados
Programa de Pós- Graduação em Recursos Naturais

**INDICADORES DAS CONDIÇÕES DO SOLO E BANCO DE
SEMENTES DE MAT NATIVA E ÁREAS EM RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA**

Elaine Novak

Dourados – MS
Julho/2017





Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Unidade Universitária de Dourados
Programa de Pós- Graduação em Recursos Naturais

INDICADORES DAS CONDIÇÕES DO SOLO E BANCO DE SEMENTES DE MAT NATIVA E ÁREAS EM RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

Aluna: Elaine Novak
Orientador: Laércio Alves de Carvalho
Co-orientador: Etenaldo Felipe Santiago
Co-orientadora: Michely Tomazi

“Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, área de concentração em Recursos Naturais, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Recursos Naturais”.

Dourados – MS
Julho/2017



FICHA CATALOGRAFICA

N822a Novak, Elaine

Indicadores das condições do solo e banco de sementes de mata native e áreas em restauração ecológica/ Elaine Novak.

Dourados,MS: UEMS, 2017.

161 p.; 30cm.

Tese (Doutorado) – Recursos Naturais – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Dourados, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho.

Co-orientores: Michely Tomazi; Etenaldo Felipe Santiago

1. Atributos do solo 2. Áreas degradadas 3. Recuperação de áreas degradadas I. Título.

CDD 20.ed. 631.42

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

Acadêmica: Elaine Novak
Orientador: Laércio Alves de Carvalho
Co-orientador: Etenaldo Felipe Santiago
Co-orientadora: Michely Tomazi

APROVADA (___/___/___)

Laércio Alves de Carvalho
(orientador)

Elói Panachuki

Vinícius de Oliveira Ribeiro

Mario Vito Comar

Paulo Leonel Libardi

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Maura Helena Bernardes Novak e José Novak, que nunca mediram esforços e sempre me apoiaram e confiaram em minha capacidade de buscar meus objetivos.

Aos meus irmãos Ederson e Elizeu, exemplos de dedicação a serem seguidos, as minhas sobrinhas Luiz Felipe, Eduardo, Ellen Carolina e Maria Eduarda pelas poucas horas de distração, amor e carinho.

À meu esposo Wagner Lino de Souza pelo apoio, compreensão, companheirismo, amizade, dedicação e abdicar a conquista de mais um sonho.

AGRADECIMENTOS

Mais uma conquista chegou ao fim, sendo trilhada pela ajuda de muitos, por isso devo minha gratidão...

Sou grata a Deus por trilhar meus passos sempre com coragem, força e fé.

Agradeço

Agradeço aos meus pais Maura e José que apoiaram minhas escolhas sem questionarem, sempre ajudando e, acima de tudo, pelos ensinamentos da vida.

Aos meus irmãos e suas esposas Ederson e Jéssica e Elizeu e Waléria que vibraram com minhas vitórias e que deram meus melhores presentes: Ellen Caroline, Maria Eduarda e Luiz Felipe e Eduardo.

À meu esposo Wagner, que abdicou-se de momentos de distração á permanecer ao meu lado, dando força e carinho e sempre ouvindo minhas lamentações.

Aos meus amigos Karla, Simone, Fernanda, Polyana e Daiana pelo força para retornar á vida acadêmica.

Aos amigos que conquistei nesta jornada, Ana Carolina, Cristiano, Tiziana, Irzo e Ivan que sempre compartilharam sorrisos e lágrimas.

Sou grata à Fabiane e Marina, que além da amizade, auxiliaram nas análises estatísticas.

Ao meu orientador e amigo Laércio, pelos ensinamentos e conselhos.

Ao meu co-orientator Felipe pelas ótimas correções e sugestões.

À minha co-orientadora Michely pelo acolhimento e conhecimento transmitido.

Ao professor Elói e sua equipe pelo auxilio nos procedimentos laboratoriais.

Ao professor Fábio (in memoriam) e seus alunos pelo apoio para desenvolvimento dos trabalhos.

Ao laboratorista Vladimir do laboratório de microbiologia de solos da Embrapa, pela grande ajuda até aos sábados e feriados.

Aos membros do GECA (Grupo de Estudos em Cana-de-açúcar), em especial às “pupilas” (Amanda, Rebeca, Larissa, Isabela), pois uma conquista nunca é alcançada pelas mãos de uma única pessoa.

Sou grata aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais e à UEMS, que mostram que o ato de ensinar é reflexo do trabalho de pessoas competentes.

A usina BIOSEV de Rio Brillhante e aos seus funcionários do setor ambiental pelo apoio ao projeto.

FUNDECT pela concessão da bolsa de estudo.

Enfim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para mais esta conquista.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	16
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1. Áreas degradadas	22
2.2 Qualidade do solo	24
2.3 Indicadores de qualidades do solo	25
2.3.1 Atributos físicos do solo	26
2.3.1.1 Estabilidade de agregados do solo.....	28
2.3.2 Atributos químicos do solo	30
2.3.2.1 Dinâmica da matéria orgânica do solo	34
Roscoe e Machado (2002) definem a matéria orgânica do solo (MOS) como sendo: ...	34
2.3.3 Atributos microbiológicos do solo.....	38
2.4 Avaliação do banco de sementes	41
CAPÍTULO 2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SOLO EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	55
4. INTRODUÇÃO.....	57
5. MATERIAL E MÉTODOS	59
5.1 Caracterização da área de estudo	59
5.2 Delineamento experimental e procedimento laboratorial	60
5.3 Análise exploratória dos dados	61
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
7. CONCLUSÃO	71
8. REFERÊNCIAS.....	72
CAPÍTULO 3 - BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS.	76
RESUMO	76
9. INTRODUÇÃO.....	78
10. MATERIAL E MÉTODOS.....	80
10.1 Caracterização da área de estudo	80
10.2 Amostragem.....	82
10.3 Procedimentos laboratoriais.....	82
10.4 Análise estatística	84
11. RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
12. CONCLUSÃO.....	92

13. REFERÊNCIAS	93
CAPÍTULO 4 - ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA E AGREGAÇÃO DO SOLO E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO COM DISTINTA COBERTURA VEGETAL.....	99
14. INTRODUÇÃO.....	101
15 . MATERIAL E MÉTODOS.....	102
15.1 Caracterização da área de estudo	102
15.2 Delineamento experimental	104
15.3 Procedimentos laboratoriais.....	104
15.4 Análise estatística	107
16. RESULTADOS E DISCUSSÃO	108
156.1 Alterações nos atributos físicos do solo.....	108
16.2 Distribuição das classes de agregados do solo.....	111
16.3 Mudanças nas frações da matéria orgânica do solo nas diferentes coberturas vegetais do solo.....	116
16.4 Análise multivariada dos atributos físicos e das frações da matéria orgânica do solo.....	118
17. CONCLUSÃO.....	122
18. REFERÊNCIAS	123
CAPÍTULO 5 - INFLUÊNCIA DO MANEJO E DA VARIAÇÃO SAZONAL SOBRE O BANCO DE SEMENTES EM REGIÃO DE TRANSIÇÃO CERRADO-MATA ATLÂNTICA	129
19. INTRODUÇÃO.....	131
20. MATERIAL E MÉTODOS.....	132
20.1 Caracterização da área de estudo	132
20.2 Coleta e Procedimento	132
20.3. Análise estatística.....	135
21. RESULTADOS E DISCUSSÃO	135
22. CONCLUSÃO.....	151
23. REFERÊNCIAS	152
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	159
REFERÊNCIAS	162

LISTA DE SIGLAS

Al	Alumínio
BaCl ₂	Cloreto de bário
C	Carbono
Ca	Cálcio
C-BMS	Carbono da biomassa microbiana do solo
CCA	Análise de Correlação Canônica
C-CO ₂	Respiração basal
CHCl ₃	Clorofórmico puro e analítico
CO ₂	Dióxido de carbono
COT	Carbono Orgânico Total
COP	Carbono Orgânico Particulado
COam	Carbono Orgânico ligado aos Minerais
CTC	Capacidade de troca catiônica
Ds	Densidade do solo
DMPs	Diâmetro Médio Ponderado Seco
DMPu	Diâmetro médio Ponderado Úmido
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
H	Hidrogênio
H+ Al	Acidez potencial
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
HCl	Ácido clorídrico
IEA	Índice de estabilidade de agregados
K	Potássio
K ₂ SO ₄	Sulfato de potássio
Ma	Macroporosidade
Mg	Magnésio
Mi	Microporosidade
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
P	Fósforo
PCA	Análise de componentes principais
pH	Potencial hidrogenionico
PT	Porosidade total
qCO ₂	Quocientes metabólicos
qMIC	Quocientes microbianos
RP	Resistência mecânica à penetração

SBSoma de bases
V%Saturação por base

LISTA DE FIGURAS

- Figure 1-** Mapa de localização..... 59
- Figure 2 -** Biplot dos atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm em áreas com restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa. CP- Componentes principais; REC1- área em restauração ecológica 1; REC2- área em restauração ecológica 2; REC3- área em restauração ecológica 3; REC4- área em restauração ecológica 4; REC5- área em restauração ecológica 5; CN- Cana-de-açúcar; MATA- Fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional semidecidual. 64
- Figure 3 -** Biplot dos atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm em áreas com restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa. CP- Componentes principais; REC1- área em restauração ecológica 1; REC2- área em restauração ecológica 2; REC3- área em restauração ecológica 3; REC4- área em restauração ecológica 4; REC5- área em restauração ecológica 5; CN- Cana-de-açúcar; MATA- Fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua. 67
- Figure 4-** Dendograma de distância euclidiana com base nos atributos químicos do solo nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar. REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional semidecídua)..... 69
- Figure 5-** Mapa de localização..... 80
- Figure 6-**Valores médios mensais de precipitação pluvial das áreas avaliadas. As letras representam as iniciais de cada mês, de janeiro a dezembro. Dados Adaptados de EMBRAPA-CPAO, Dourados, MS, 2014. 81
- Figure 7-** Dendrograma das distâncias euclidiana dos atributos microbiológicos do solo. A – camada 0-10 cm, B –camada de 10-20 cm; nas áreas em restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa. REC1: área em restauração ecológica 1; REC2: área em restauração ecológica 2; REC3: área em restauração ecológica 3; REC4: área em restauração ecológica 4; REC5: área em restauração ecológica 5; CN: área de cultivo de cana-de-açúcar; MATA: remanescentes de floresta estacional semidecidual. 90
- Figure 8-** Mapa de localização..... 103
- Figure 9-**Distribuição relativa de agregados seco (A e B) e estáveis em água (C e D) nas camadas de solo de 0-10 e 10-20 cm (n=4) de um Latossolo Vermelho eutrófico típico em Rio Brilhante (MS). REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua).

Macro, meso e microagregados: agregados com diâmetro >2,0 mm, entre 2,0 e 250 μ m e <250 μ m, respectivamente. Letras iguais para a mesma classe de agregados e camada de solo não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. 113

Figure 10-Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico ligado aos minerais (Coam) nas camadas 0-10 (A) e 10-20 cm (B) (n=4) de um Latossolo Vermelho eutrófico típico em Rio Brillhante (MS). REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua). Letras iguais para a mesma fração da matéria orgânica do solo não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. 116

Figure 11-Análise de Componentes Principais (PCA) com base nos atributos físicos densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (PT), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico ligado aos minerais (COam), diâmetro médio ponderado seco e úmido (DMPs e DMPu) e índice de estabilidade de agregado (IEA) nas camadas de 0-10 (A) e 10-20 cm (B) (n=4), de um Latossolo Vermelho eutrófico típico em Rio Brillhante (MS). REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua). 119

Figure 12-Dendograma de distância euclidiana com base nos atributos físicos do solo nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar. REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua). 121

Figure 13- Dinâmica de emergência de plântulas nas áreas em restauração ecológica e vegetação nativa, na estação chuvosa (A) e seca (B). 135

Figure 14- Boxplot da análise de kruskal Wallis da emergência de plântulas nas áreas em restauração ecológica (RECs 1 e 2) e vegetação nativa (MATA), na estação chuvosa e seca. São apresentados os valores mínimos e máximos, mediana e desvio padrão... 136

Figure 15-Boxplot da análise de kruskal Wallis para emergência de plântulas entre os períodos de amostragens. São apresentados os valores mínimos e máximos, medianas e desvios padrões. 138

Figure 16-Frequência relativa da dinâmica da emergência das plântulas nas áreas em restauração ecológica e vegetação nativa, na estação chuvosa (A) e seca (B). 142

Figure 17-Boxplot da análise de kruskal Wallis da frequência relativa de plântulas nas áreas em restauração ecológica e vegetação nativa, na estação chuvosa (verão) e seca (inverno). $H= 0,2132$ e $H= 0,647$ para a estação chuvosa (verão) e seca (inverno), respectivamente. No gráfico estão sendo apresentados os valores mínimos e máximos, medianas e desvios padrões. 144

Figure 18-Boxplot da análise de kruskal Wallis da frequência relativa de plântulas entre os períodos de amostragem. $H= 2,21$. No gráfico estão sendo apresentados os valores mínimos e máximos, medianas e desvios padrões. 144

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1 - saturação por bases (V%).	32
Equação 2 - cálculo da concentração de carbono.	83
Equação 3- cálculo do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS).	83
Equação 4 - cálculo da respiração basal.	84
Equação 5- cálculo da densidade.....	104
Equação 6- macroporosidade do solo (Ma).....	104
Equação 7- microporosidade do solo	105
Equação 8- porosidade total do solo.....	105
Equação 9 – Diâmetro Médio Ponderado.....	106
Equação 10 – Índice de Estabilidade de Agregados.....	106
Equação 11 - taxa de germinação/emergência	133
Equação 12 - frequência relativa.	133
Equação 13- tempo médio de germinação/emergência	134
Equação 14 - velocidade média de germinação/emergência.	134
Equação 15- índice de sincronização.....	134

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Médias dos valores de pH, Matéria orgânica (MO), fósforo (P), teor cátions trocáveis (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar..... 61
- Tabela 2- Análise dos componentes principais dos atributos químicos do solo das áreas avaliadas na camada de 0-10 cm. 63
- Tabela 3- Resultado da significância da análise dos componentes principais (PCA) das variáveis químicas do solo em relação às áreas avaliadas nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. 65
- Tabela 4- Análise dos componentes principais dos atributos químicos do solo das áreas avaliadas na camada de 10-20 cm. 67
- Tabela 5 - Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC) das áreas em restauração ecológica (RECs), cultivo de cana-de-açúcar (CN) e vegetação nativa (MATA) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. 85
- Tabela 6- Médias dos valores de Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Porosidade total (PT) e análise granulométrica nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar. 109
- Tabela 7 - Médias dos valores de diâmetro médio ponderado seco e úmido (DMPs e DMPu) e índice de estabilidade de agregados (IEA) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar. 112
- Tabela 8- Variação do Tempo Médio de Germinação e Velocidade Médio de Germinação..... 145
- Tabela 9 - Famílias e espécies amostradas nas áreas em restauração ecológica e no fragmento de vegetação nativa preservado. Grupos Ecológicos (GE):Pioneiras (P), Si (Secundária Inicial), St (secundária tardia), Climax (C), Sem classificação (SC). 147

RESUMO

Apesar da crescente demanda sobre as questões acerca da importância de recuperação dos recursos florestais e da necessidade de conservá-los, ainda são poucos os estudos relativos aos processos ecológicos envolvidos. Os Objetivos deste trabalho foram avaliar a qualidade ambiental de diferentes áreas com base nos atributos do solo em diferentes áreas, sendo cinco áreas em restauração ecológica (REC1 a REC5), uma área de vegetação nativa (MATA) e uma de cultivo de cana-de-açúcar (CN), bem como a viabilidade do banco de sementes do solo e a influência da variação sazonal sobre o processo germinativo. Ao buscar compreender os processos ecológicos que ocorrem em áreas que estão em restauração, o estudo partiu de duas vertentes de trabalho, uma que visou analisar a evolução da qualidade ambiental com base nos atributos do solo e outra que almejou avaliar se duas das cinco áreas em restauração apresentaram um banco de sementes capaz de fornecer indicativos sobre a capacidade de regeneração natural de uma dada vegetação, a viabilidade das sementes existentes no solo, bem como sua influência na estrutura da vegetação. Neste sentido, constata-se que o cultivo de cana-de-açúcar resultou em modificações da qualidade do solo através de operações mecânicas de máquinas e equipamentos agrícolas na área cultivada e que a restituição de parâmetros de integridade do solo em áreas que sofreram ações de reposição de cobertura vegetal por meio do plantio de mudas nativas ou suspensão do manejo com atividades agrícolas apresentam dinâmica própria, mesmo em áreas com relativa proximidade, tipo e classificação de solo e cobertura vegetal. Pode-se elucidar ainda que, embora o tempo de restauração seja relativamente curto, o desenvolvimento da cobertura vegetal foi fator crucial para promover a melhoria da qualidade do solo de algumas áreas em restauração ecológica estudadas. Contudo, embora não sendo viável a aplicação de técnicas estatísticas mais robustas que viabilizariam maior compreensão dos processos ecológicos que ocorrem nas áreas em restauração, é sensato afirmar que a cobertura vegetal inicial das áreas promoveu melhoria da estrutura e propriedades do solo, tornando-o propício para o recrutamento de novos indivíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Atributos do solo, banco de sementes, cobertura vegetal, recuperação de áreas degradadas.

ABSTRACT

Although growing demand for questions about the importance of recovering forest resources and the need to conserve them, there are still few studies on the ecological processes involved. The objective of this work was to evaluate the environmental quality of different areas based on the soil attributes in different areas, being five areas in ecological restoration (REC1 to REC5), an area of native vegetation (MATA) and a sugarcane area (CN), as well as the soil seed bank viability and the influence of the seasonal variation on the germination process. In order to understand the ecological processes that occur in areas undergoing restoration, the study was based on two aspects of work, one aimed at analyzing the environmental quality evolution based on the soil attributes and another that aimed to evaluate if two of the five areas in restoration presented a seed bank capable of providing indicatives about the natural regeneration capacity of a given vegetation, the seeds viability in the soil, as well as its influence on the vegetation structure. From this, it was verified that the sugarcane cultivation resulted in modifications of the soil quality through mechanical operations of agricultural machines and equipment in the cultivated area and that the restitution of soil integrity parameters in areas that suffered actions of vegetation cover replacement by planting native seedlings or suspension of management with agricultural activities present their own dynamics, even in areas with relative proximity, type and soil classification and vegetation cover. It can be further elucidated that, although the recovery time is relatively short, the development of the vegetal cover was crucial factor to promote the improvement of the soil quality in some ecological recovery areas studied. However, although it was not feasible to apply more robust statistical techniques that would enable a better understanding of the ecological processes that occur in the recovery areas, it is sensible to affirm that the initial vegetation coverage of the areas promoted improvement of the soil structure and properties, making it propitious for the recruitment of new individuals.

KEYWORDS: Soil attributes, seed bank, vegetal cover, degraded areas recovery.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO GERAL

A necessidade de produção de alimentos e bens de consumo em quantidade suficiente para suprir a demanda crescente das populações, o consumo de combustíveis fósseis, bem como o aumento na produção de matéria-prima produtora de bioenergia, de maneira geral, incorrem na expansão de áreas agricultáveis. Contudo, o uso e manejo dos solos para tais fins, além da supressão da cobertura vegetal nativa, quando inadequados, podem acarretar desequilíbrios nos ecossistemas, sobretudo na qualidade do solo, levando à diminuição de sua fertilidade e alteração de seus atributos (RANGEL & SILVA, 2007; COSTA et al., 2008), na degradação edáfica e na biodiversidade, desta forma ameaçando as oportunidades e flexibilidades de aumentar os serviços ecossistêmicos.

Cherubin et al. (2016) ressaltam que quando os ecossistemas naturais estão em equilíbrio dinâmico, os atributos físicos, químicos e biológicos atuam cooperativamente de tal modo que os solos desempenham suas funções adequadamente. Assim, o sucesso dos programas de restauração ecológica não pode ser avaliado apenas pela velocidade em que se forma a cobertura vegetal, mas também a avaliação e monitoramento dos diferentes atributos químicos, físicos e microbiológicos de solo são empregados como indicadores de qualidade e/ou degradação ambiental.

Vários fatores contribuem para melhorar a qualidade do solo nos primeiros centímetros, tais como a entrada de carbono pela pelo resíduo vegetal sobre a superfície do solo, maior atividade biológica e bioquímica, maior ciclagem de nutrientes e entrada de fertilizantes, melhor estrutura e resistência física do solo (CHERUBIN et al., 2016). Assim, a análise de indicadores químicos e microbiológicos do solo em áreas em restauração é empregada quando se deseja obter informações sobre a qualidade do ecossistema e também afere o desempenho de funções-chave do solo, como a ciclagem e armazenamento de nutrientes (CHAER & TÓTOLA, 2007) e na estabilização do solo e na decomposição da matéria orgânica (GREEN et al., 2007).

A qualidade física do solo pode fornecer subsídios para avaliar a capacidade do solo em funcionar dentro dos limites de um ecossistema sustentável. Além disso, avaliações das propriedades do solo, decorrentes de impactos da intervenção antrópica

em ecossistemas naturais, podem constituir importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental, permitindo caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras, especialmente quando adotada como referência a vegetação nativa original (CARDOSO et al., 2011) e podem ajudar a definir práticas específicas de manejo do solo de forma a melhorar o ambiente para o crescimento das plantas (LIMA et al., 2010).

O estabelecimento da cobertura vegetal pode ser fortemente correlacionado com as variações bióticas e abióticas do ecossistema. A estrutura do solo é potencialmente importante para as interações planta-solo, uma vez que pode variar muito dependendo da história de uso da terra, composição de espécies de plantas e estágio sucessional (PÉRÈS et al., 2013). Assim, o estudo da composição florística pode torna-se uma importante ferramenta para compreensão dos processos ecológicos que ocorrem em áreas em restauração ecológica, pois, a cobertura vegetal resulta da capacidade do solo em proporcionar um ambiente favorável ao estabelecimento e desenvolvimento das plantas. Contudo, a relação solo-planta é uma interação na qual estes agentes proporcionam mútuos benefícios e a partir deste pressuposto propõem-se que o índice de cobertura vegetal é um bom indicador de qualidade de um solo, pois representa o incremento do ritmo da sucessão natural (resiliência).

Neste sentido, esta tese tem como tema central verificar se áreas que sofreram supressão da cobertura vegetal nativa, após anos de atividade agropastoril, em especial pastagem e cultura da cana-de-açúcar, e agora se encontram em processo de restauração pelo incremento no desenvolvimento da cobertura vegetal, apresentaram melhoria das condições ambientais. Pressupõe-se que os impactos do uso intensivo de fertilizantes associados à mecanização e a implantação da regeneração e plantio de espécies arbóreas tenham reflexos sobre a qualidade ambiental sobre tais áreas.

Sob o ponto de vista prático e de interesse ambiental, o estudo das variações dos atributos do solo e da composição da cobertura vegetal assume importante papel no entendimento dos processos ecológicos em tais locais e subsidia o direcionamento das estratégias de recuperação dos ecossistemas.

Dessa forma, questiona-se: As áreas avaliadas apresentam variações nos atributos do solo? Existe similaridade da cobertura vegetal das áreas em restauração em relação a área preservada (MATA)? As áreas em restauração apresentam evolução na sucessão natural (resiliência)? As áreas em restauração apresentam maior similaridade à área

preservada ou cultivada? A cobertura vegetal apresenta correlação com a estrutura do solo e seus atributos?

Na tentativa de diagnosticar e avaliar o ritmo da sucessão natural (resiliência) de áreas em restauração ecológica, esta tese de doutoramento foi dividida em dois subprojetos, sendo: (1) Avaliação dos atributos do solo de áreas em restauração ecológica; (2) Avaliação do banco de sementes e estudo da composição florística de áreas em restauração ecológica e vegetação nativa. Diante disso, o objetivo central deste trabalho foi avaliar a qualidade por meio da análise de atributos do solo e da dinâmica da cobertura vegetal de diferentes áreas. Para tanto, objetivou-se especificamente (a) estabelecer os parâmetros de qualidade física, química e biológica do solo das diferentes áreas; (b) avaliar as alterações na estrutura e agregação do solo; (c) avaliar a dinâmica da matéria orgânica do solo através do método de fracionamento físico; (d) avaliar se as áreas em restauração apresentam um banco de sementes e se o mesmo é viável ao processo de regeneração e, ainda avaliar a influência do manejo e da variação sazonal sobre a germinação do banco de sementes; (e) analisar os aspectos visuais da comunidade através do estudo da composição florística das áreas em restauração e vegetação nativa.

Para contemplar os objetivos, a tese está subdividida em seis capítulos, incluindo, o capítulo 1, com esta introdução geral e o referencial teórico que compreendem a apresentação da temática central e da problemática existente. No segundo capítulo, intitulado como “Comparação da composição química do solo em diferentes condições ambientais”, objetivou-se avaliar a qualidade do solo com base nos atributos químicos em diferentes usos por meio de métodos estatísticos multivariados.

O terceiro capítulo, denominado “Biomassa e atividade microbiana do solo sob diferentes coberturas vegetais”, utilizando-se de análises de variância, multivariada e análise de agrupamento a partir de dados dos atributos microbiológicos fez-se a mensuração da qualidade do solo em áreas com distintas coberturas vegetais como forma de contribuição ao seu manejo.

No quarto capítulo, “Alterações na estrutura e agregação do solo e dinâmica da matéria orgânica do solo com distinta cobertura vegetal”, são apresentadas as possíveis alterações da estrutura do solo e de seus atributos físicos, bem como a dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais.

O quinto capítulo, intitulado como “Influência do manejo e da variação sazonal sobre o banco de sementes em região de transição Cerrado-Mata Atlântica”,

correspondente ao segundo subprojeto, objetivou-se avaliar se as áreas em restauração apresentam um banco de sementes viável à regeneração, o comportamento do processo germinativo das sementes e se o mesmo é influenciado pela variação sazonal, bem como os aspectos visuais da comunidade por meio do estudo da composição florística das áreas em restauração e vegetação nativa.

As considerações finais trazem conclusões, resumem e refletem sobre os resultados auferidos bem como as respostas aos objetivos e hipóteses formuladas em cada capítulo. Também apresentam indicações e recomendações para próximos estudos baseados no entendimento dos processos ecológicos que ocorrem em áreas em restauração.

Trata-se portanto, de seis capítulos baseados nos estudos e pesquisas sobre as alterações ambientais que áreas submetidas a uso e manejos agropastoril podem sofrer e, desta forma apresentar subsídios para melhor compreender o processo de resiliência que ocorre em áreas perturbadas e/ou degradadas, contribuindo assim, para o direcionamento das estratégias e metodologias a serem adotadas em projetos de restauração ecológica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Áreas degradadas

Um ecossistema degradado é aquele que, após distúrbios, teve eliminado, com a vegetação, os seus meios de regeneração biótica (ALVES & SOUZA, 2008), como o banco de sementes, banco de plântulas, chuvas de sementes e rebrota (ALVES & SOUZA, 2011) e assim, tornam-se necessárias a implantação de medidas regenerativas procurem rehabilitar suas funções ecossistêmicas originais.

Para *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) (1999), áreas degradadas são locais que tiveram redução na sua capacidade em produzir bens sob uma forma especificada de utilização, podendo ser definida como áreas que sofreram um processo de redução e/ou perda da capacidade potencial do solo (quantitativamente e/ou qualitativamente). Essa redução da capacidade produtiva não é necessariamente um processo contínuo, porém pode ocorrer em um pequeno espaço de tempo. Melloni et al. (2008) complementam que áreas degradadas podem ser consideradas aquelas que perderam sua qualidade intrínseca e/ou atribuída, sendo as extensões naturais que perderam a capacidade de recuperação natural após sofrerem distúrbios por ação do homem ou por acidente natural que diminui a atual e futura capacidade produtiva do ecossistema (PATRICIO, 2009).

O decreto N° 7.830 de 17 de outubro de 2012, dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, que trata a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, define:

“ área degradada - área que se encontra alterada em função de impacto antrópico, sem capacidade de regeneração natural; área alterada - área que após o impacto ainda mantém capacidade de regeneração natural” (BRASIL, 2012).

O termo degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas do ambiente, ocasionando a destruição ou remoção da fauna e a flora nativa, que acarreta a perda ou a remoção da camada fértil do solo e inviabilizando o desenvolvimento socioeconômico (IBAMA, 1990).

A recuperação de áreas degradadas pode ser definida como um processo de reversão de tais áreas em terras produtivas e autossustentáveis, de acordo com uma proposta preestabelecida de uso do solo (IBAMA, 1990). O Snuc (Sistema Nacional de

Unidades de Conservação) (MMA, 2002), sancionado pela Lei 9.985 de julho de 2000, em seu artigo 2º, definiu:

[...] recuperação: a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original. E restauração como a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original (BRASIL, 2000).

Recuperar um ambiente degradado significa recompor ou restaurar, por meio do plantio, indução da regeneração natural ou enriquecimento ecológico de espécies nativas, a dinâmica vegetal e suas funções ambientais para que ela volte ao mais próximo possível da situação original, de modo a garantir a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica, da biodiversidade, do fluxo gênico de fauna e flora e o bem estar da população humana (CAMPANILI & SCHAFFER, 2010).

IBAMA (1990) afirma que recuperação significa que o sítio degradado será retornado a uma forma de utilização de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo. Isso sugere que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Significa também que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem.

Atualmente, um termo preferencialmente utilizado por muitos pesquisadores é a restauração ecológica, onde restaurar um ecossistema não é copiar um modelo da natureza, mas sim recuperar visando atingir níveis de estabilidade, sustentabilidade e integridade biológica dos ecossistemas naturais. A restauração ecológica almeja recriar comunidades ecologicamente viáveis, protegendo e fomentando a capacidade natural de mudanças dos ecossistemas e resgatando os processos ecológicos de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (SER, 2004).

Primack & Rodrigues (2001) enfatizam que a ecologia da restauração busca restabelecer um ecossistema que ocupava originalmente um determinado local, através da recuperação de suas funções.

As principais ações para que as áreas degradadas possam voltar a ser produtivas consiste no desenvolvimento e estabelecimento de sistemas de manejo do solo seguindo da revegetação do local, propiciando o retorno da fauna, em especial polinizadores e dispersores, sendo necessária a intensificação de pesquisas que contemplem, entre

outras linhas, a interação dos conhecimentos sobre a físico-química e microbiologia do solo, a fenologia, a ciclagem de nutrientes e a autoecologia das espécies vegetais (PATRICIO, 2009).

2.2 Qualidade do solo

A discussão sobre Qualidade do Solo (QS) intensificou-se no início dos anos 1990, quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, nas publicações, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009; AUDEH et al., 2011).

Assim como o ar e a água, a qualidade do solo está diretamente relacionada com a saúde e produtividade dos ecossistemas terrestres (SOARES & CASAGRANDE, 2013). Segundo Doran & Parkin (1994), a qualidade do solo pode ser definida como a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de ecossistema (natural ou manejado) em desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação, produtividade e da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente e à promoção da saúde das plantas, animais e do homem.

A avaliação da qualidade ambiental por meio de atributos do solo é bastante complexa devido à grande diversidade de usos, à multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e aos aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço (MENDES et al., 2006).

Islam & Weil (2000) sugeriram que a qualidade do solo refere-se a um estado funcional complexo, o qual não pode ser medido de forma direta, mas sim a partir de atributos do solo designados como indicadores de qualidade do solo, sendo sua qualidade considerada sobre os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (ARATANI et al., 2009).

Inúmeras pesquisas (ARAGÃO et al., 2012; MOLINE & COUTINHO, 2015; CHERUBIN et al., 2016) vêm demonstrando a importância de indicadores como mecanismo para entendimento da qualidade ou estado de conservação de diversos sistemas. Por exemplo, Cunha et al. (2012) estudaram diferentes atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactadas por sistemas de cultivo. Já Bergmann et al. (2016) avaliaram a interação entre a estrutura do solo, raízes e microbiota como um determinante da relação solo-planta e Stefanoski et al. (2016)

fizeram a seleção de indicadores da qualidade do solo para diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado.

2.3 Indicadores de qualidades do solo

O uso de indicadores de qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental é de grande importância. A escolha dos indicadores para ser utilizado em áreas degradadas não é fácil. Entretanto, a avaliação e a atribuição de valores à qualidade do solo nessas áreas permitem avaliar as políticas de uso do solo e as práticas que o degradam ou melhoram, a identificação de áreas ou sistemas de manejo críticos, bem como a ampliação do conhecimento e compreensão sobre o manejo sustentável (MELLONI et al., 2008).

A avaliação das alterações ocorridas em propriedades dos solos em função do seu uso e manejo assume grande importância, uma vez que o entendimento das modificações ocorridas, decorrentes do seu cultivo, pode fornecer elementos para produção em bases sustentáveis (CANELLAS et al., 2003; RANGEL & SILVA, 2007; COSTA et al., 2008).

Segundo Arshad & Martin (2002), um número mínimo de indicadores precisam ser mensurados para avaliar as mudanças na qualidade do solo, resultante de diferentes sistemas de manejo. Dentre os indicadores utilizados, Chaer (2001) e Karlen et al. (2003), destacam os seguintes indicadores:

- a) Físicos: compactação e/ou adensamento subsuperficial; densidade do solo; encrostamento superficial; estabilidade de agregados; profundidade de enraizamento; porosidade do solo (micro, macro e total); resistência à penetração; temperatura do solo; textura; taxa de infiltração e capacidade de retenção de água no solo.
- b) Químicos: Capacidade de troca catiônica (CTC); matéria orgânica do solo (MOS); condutividade elétrica (CE); disponibilidade de nutrientes; fósforo; potencial hidrogeniônico (pH); potássio; presença de metais pesados; presença de elementos radioativos; nitrogênio; saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e outros.
- c) Biológicos: Carbono da biomassa microbiana (C-BMS); nitrogênio potencialmente mineralizado; população microbiana e fungos micorrízicos;

quociente metabólico (qCO_2); quociente microbiano ($qMIC$); respiração basal ($C-CO_2$); taxa de decomposição de resíduos biológicos e fauna edáfica.

Ecosistemas naturais ou em restauração quando estão em equilíbrio dinâmico, os atributos físicos, químicos e biológicos atuam cooperativamente de tal modo que os solos desempenham suas funções adequadamente (CHERUBIN et al., 2016).

2.3.1 Atributos físicos do solo

A capacidade do solo em promover ao sistema radicular condições físicas adequadas para o crescimento e desenvolvimento das plantas é denominada qualidade física do solo (TORMENA et al., 1998), de modo que condições inadequadas ao crescimento das plantas resultam de complexas interações entre resistência do solo à penetração (RP), aeração e disponibilidade de água (TORMENA et al., 2007), podendo afetar o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura do solo, limitando o crescimento e o desenvolvimento das plantas (STEPNIEWSKI et al., 2002).

De modo geral, solos mantidos sob vegetação nativa apresentam condições físicas adequadas ao desenvolvimento das plantas (ANDREOLA et al., 2000), na qual o volume de solo explorado pelas raízes é relativamente grande. À medida que o solo vai sendo submetido ao uso agrícola, as propriedades físicas sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (SPERA et al., 2004).

Os atributos físicos do solo têm sido utilizados para avaliação da qualidade estrutural de solos, pois podem ajudar a definir práticas específicas de manejo do solo de forma a melhorar o ambiente para o crescimento e desenvolvimento das plantas (LIMA et al., 2010).

Indicadores como densidade do solo, retenção de água, porosidade total (DORAN et al., 1996; SPERA et al., 2004), condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (TORMENA et al., 1999) são bastante utilizados para avaliação da qualidade do solo refletindo, de modo geral, no grau de compactação do solo.

O termo compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada (LIMA, 2004). Para a Pedologia, a compactação do solo é definida como uma alteração no arranjo de suas partículas constituintes do solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997) com diminuição do seu volume.

A compactação é um dos principais processos de degradação física dos solos, sendo resultante da perda da estabilidade estrutural devido ao declínio da matéria orgânica associada ao intenso uso do solo (GIAROLA et al., 2007). Um incremento na compactação do solo resulta em redução da infiltração, aumento do escoamento superficial de água no solo, menor crescimento do sistema radicular das plantas, maior densidade, diminuição da porosidade total, aumento da microporosidade e da resistência do solo em virtude de cargas ou pressão aplicada (CUNHA et al., 2009) e reduz a absorção de nutrientes (LUCIANO et al., 2012).

A densidade do solo (D_s) refere-se à relação entre a massa de solo seco e o volume total, e é afetada pela cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e uso e manejo do solo (SILVA et al., 2000). Seu aumento excessivo pode acarretar em diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, o que ocasiona prejuízo à qualidade física do solo (SOUZA et al., 2005), e à produtividade da cultura. Isso é comprovado na cultura de arroz de terras altas, onde Guimarães & Moreira (2001) concluíram que o aumento da densidade do solo proporcionou um decréscimo no crescimento da parte aérea e na quantidade de raízes observando, ainda, o engrossamento das raízes em função da compactação. Entretanto, Reichert et al. (2009) afirmam que aumentos na densidade do solo não são necessariamente prejudiciais ao crescimento das culturas, porque até certos limites esse aumento pode contribuir para o armazenamento de água no solo e para a capacidade de suporte de carga.

Na literatura, ainda não existe um consenso em relação ao valor crítico a partir do qual o solo pode ser considerado compactado (RICHART et al., 2005). Torres & Saraiva (1999) afirmam que a densidade varia de acordo com as características do solo. Segundo Alvarenga et al. (1996) e Corsini & Ferraud (1999), em solos argilosos, esse índice é de $1,27 \text{ g cm}^{-3}$. Camargo & Alleoni (1997) propuseram que em Latossolo Vermelho o valor crítico relativo à densidade do solo é superior a $1,10 \text{ g cm}^{-3}$ e Tormena et al. (2008) afirmam que densidade do solo acima de $1,16 \text{ g cm}^{-3}$ corresponde ao limite que compromete o sistema radicular das plantas e afeta a qualidade física do solo, porém, com teor de argila em torno de 60% (DEXTER, 2004). Porém, o valor de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ é aceito como limite crítico, a medida que ocorre um decréscimo do teor de argila do solo (ARSHAD et al., 1996). Mendes et al. (2006) afirmam que valores em torno de 1,0; 1,10 e $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ podem ser encontrados em solos sem interferência antrópica, solos cultivados e sob intenso tráfego, respectivamente. Contudo, Michelin

et al. (2009) encontraram vários valores críticos de densidade do solo em função do teor de argila.

A porosidade total refere-se a fração volumétrica do solo ocupada com ar e/ou água, representando o local onde circulam a solução (água e nutrientes) e o ar, sendo, portanto, o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (HILLEL, 1970).

Os poros, em função do seu diâmetro, são classificados em macroporos (porosidade não capilar), que apresenta diâmetro superior a 0,05 mm e os microporos (porosidade capilar) que apresenta diâmetro inferior a 0,05 mm. Os macroporos permitem a livre movimentação de ar e condução de água durante o processo de infiltração (BRADY & WEIL, 2002). Já os microporos geralmente são caracterizados por serem ocupados por água, pois apresentam tamanho reduzido o que não permite uma movimentação adequada de ar no solo (FRANCO, 2006).

De acordo com o uso e manejo, o solo estará sujeito à compactação. O volume de macroporos está correlacionado à densidade do solo (D_s), na qual sua diminuição acarreta em aumento da D_s (LIMA et al., 2010). Segundo Taylor & Aschroft (1972) e Alvarenga (1993), a macroporosidade inferior a $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (ou 10%) do volume do solo compromete o sistema radicular e o desenvolvimento dos microorganismos, pois a baixa aeração induz à ramificação das raízes adventícias superficiais, tornando-as menos eficientes na absorção de água, nutrientes e trocas gasosas (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

2.3.1.1 Estabilidade de agregados do solo

A estrutura é um dos atributos mais importantes do solo, pois interfere diretamente na disponibilidade de ar e água às raízes das plantas, no suprimento de nutrientes, na resistência mecânica do solo à penetração e no desenvolvimento do sistema radicular (SCHIMIGUEL et al., 2014). Esta, por sua vez, resulta da formação dos agregados e pode ser avaliada quantitativamente pela distribuição dos agregados estáveis em água sob diferentes diâmetros de peneiras (SILVA & MIELNICZUK, 1997; VEZZANI & MIELNICZUK, 2011).

Segundo Curi et al. (1993), agregado é um conjunto coerente de partículas primárias do solo com forma e tamanho definidos, os quais comportam-se, mecanicamente, como uma unidade estrutural. A estrutura fragmentar dos agregados é formada pela floculação dos constituintes propiciada pela presença de matéria orgânica

(MO) e cátions, bem como acumulação dos mesmos, devido à presença de MO, atividade biológica, argila, ferro, calcário e sílica, e fissuração ou quebra dos domínios floculados ou cimentados (SILVA, 2005). A MO atua na formação e estabilização de agregados por meio de polímeros orgânicos que se ligam às superfícies inorgânicas por intermédio de cátions polivalentes e polímeros hidroximetálicos, formando complexos organo-minerais (PICCOLO & MBAGWU, 1994).

O principal papel da agregação do solo é controlar os movimentos internos de água, ar e calor e o crescimento de raízes. A contribuição da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico, sendo recomendável o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura necessária ao desenvolvimento das plantas. O aumento de resíduos orgânicos no solo tende a diminuir a densidade do solo e criar poros de diâmetro grande, que favorecem a entrada de ar e a drenagem de água (VASCONCELOS et al., 2010).

Assim, a agregação também é uma propriedade do solo que pode ser utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade do mesmo, uma vez que a manutenção de sua estrutura facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade (NEVES et al., 2006) e pode influenciar indiretamente demais propriedades, tais como, a porosidade, a infiltração, a retenção de água e a densidade do solo (IBIAPINA et al., 2014).

Para SILVA & MIELNICZUK (1997), a qualidade da agregação do solo pode ser determinada pelo diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA), quando os agregados são relacionados por classes de diâmetro, sendo que, quanto mais agregados se fragmentarem em água, menor a sua estabilidade.

A matéria orgânica exerce grande influência no processo de formação e estabilização dos agregados (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011). Há estudos que destacam a correlação entre os teores de matéria orgânica e a dinâmica dos agregados dos solos. Os trabalhos realizados por Fontana et al. (2010) e Portugal et al. (2010) mostraram que a relação da matéria orgânica com a agregação do solo pode ser avaliada por meio das substâncias húmicas, que são importantes no processo de formação e estabilização, devido sua ação cimentante, que possibilita a formação de agregados estáveis. Entre elas, a humina se destaca, pois tem efeito benéfico na estabilidade dos agregados.

Além disso, a textura do solo afeta a estabilidade e a própria formação de agregados, e solos com maior teor de argila favorecem a agregação (SILVA et al., 2014). Segundo Vezzani & Mielniczuk (2011), a maior presença de argila contribui

para aumentar a aproximação das partículas do solo. Por outro lado, horizontes arenosos dificultam a proteção física da matéria orgânica, dificultando a formação de agregados (SANTOS et al., 2011).

2.3.2 Atributos químicos do solo

A utilização de características químicas do solo para avaliar as mudanças ocorridas em função dos seus diferentes tipos de uso, já vem ocorrendo há vários anos com intuito de avaliar a qualidade do solo em diferentes ecossistemas (MOLINE & COUTINHO, 2015; RUIZ et al., 2015), pois é o componente do solo mais afetado pelo sistema de manejo adotado (GAZOLLA et al., 2015), desempenhando um papel importante na avaliação das mudanças promovidas pelo uso e manejo (SOUZA et al., 2016).

Dentre os atributos químicos que avaliam a qualidade do solo, a matéria orgânica (MO) é um dos melhores indicadores, pois apesar de compor menos de 5% da fase sólida da maioria dos solos, apresenta uma alta capacidade de interagir com os demais componentes, alterando, assim, suas propriedades (WENDLING et al., 2010).

A matéria orgânica do solo (SOM) desempenha um papel importante na manutenção da produtividade dos solos, pois fornece energia e substratos e promove a diversidade biológica que ajuda a manter a qualidade do solo e a funcionalidade do ecossistema (GUIMARÃES et al., 2012). Atua, também, na solubilização de nutrientes de minerais insolúveis presentes no solo, contribui para o aumento da densidade populacional de organismos e, por consequência disso, aumenta o controle biológico de doenças e pragas e tem um efeito positivo na conservação de atributos físicos (CRUZ et al., 2010), devido à sua capacidade de reter água e nutrientes (GUIMARÃES et al., 2012).

É importante ressaltar que em solos tropicais, na região do Cerrado, as temperaturas mais elevadas aceleram a decomposição da matéria orgânica, levando à necessidade de contínuo aporte da mesma para manter a estrutura do solo em condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas (BEUTLER et al., 2001).

A conversão da vegetação natural, por derrubada ou pela queima, pode resultar na diminuição da MO, conseqüentemente na fertilidade do solo e no aumento da erosão (SIQUEIRA NETO et al., 2009). Segundo AMADO (2000), a diminuição da MO é favorecida pela mobilização do solo, que acarreta em maiores perdas de carbono, pois o

revolvimento do solo proporciona uma maior aeração e aumenta o contato dos resíduos orgânicos com a microbiota do solo, estimulando assim o processo de oxidação da MO pelos microrganismos. Como consequência, em solos submetidos ao revolvimento intenso, pode ocorrer o balanço negativo da matéria orgânica do solo no sistema, no qual a taxa de adição é menor que a taxa de decomposição, apresentando menores conteúdos de carbono orgânico, assim, com o baixo conteúdo de MO diminui a retenção de cátions (BAYER, 1996).

Uma alternativa em áreas em restauração é a utilização de leguminosas e/ou gramíneas para cobertura inicial do solo, pois podem elevar a quantidade de resíduos ao solo, permitindo desta forma, um aumento no teor de MO, seguido de um aumento na capacidade de troca de cátions (CTC) e redução na lixiviação de cátions, além de adicionar nitrogênio (N) proveniente da fixação de N_2 atmosférico (TESTA et al., 1992).

A capacidade de trocas catiônicas (CTC) é uma importante variável do solo utilizada em interpretações e em cálculos de necessidade de corretivo e fertilizantes. A CTC potencial (também representada por T) é calculada a pH 7,0 e a CTC efetiva (também representada por t) é calculada no pH do solo. No Brasil, tem sido mais usado o valor de T a pH 7,0 que é calculado somando-se as bases e a acidez potencial $[SB+(H+Al)]$. A CTC efetiva (t ao pH do solo) é calculada somando-se as bases com a acidez trocável $(SB+Al^{3+})$ (NOVAIS & MELLO, 2007).

Se a maior parte da CTC do solo estiver ocupada por cátions essenciais, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , considera-se que o solo nestas condições apresenta boas condições nutricionais às plantas. Por outro lado, se grande parte da CTC estiver ocupada por cátions potencialmente tóxicos, como H^+ e Al^{3+} , este representa um solo pobre no aspecto nutricional. Um valor baixo de CTC indica que o solo possui pouca capacidade de reter cátions em forma trocável, neste caso, não se devem fazer adubações e calagens em grandes quantidades de uma única vez, mas sim de forma parcelada para evitar maiores perdas por lixiviação (RONQUIM, 2010). O aumento da CTC do solo pode ocorrer através da calagem (adição de Ca^{2+} , Mg^{2+}), saturação de K^+ , incremento de matéria orgânica do solo, que decorre de práticas sustentáveis de manejo e adoção de adubação verde.

A saturação por bases (V%) é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada também na classificação dos solos. Neste sentido, solos que apresentam $V\% \geq 50\%$ são solos classificados como eutróficos (férteis), já os

solos que apresentam $V\% < 50\%$ são distróficos (pouco férteis). Um índice $V\%$ baixo pode refletir em baixo teor de cátions, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , saturando as cargas negativas dos colóides e que a maioria delas está sendo neutralizada por H^+ e Al^{3+} , deixando o solo ácido e até mesmo conter alumínio em nível tóxico às plantas (RONQUIM, 2010).

A saturação por bases ($V\%$) representa a participação das bases no complexo sortivo do solo, expressa em percentagem (NOVAIS & MELLO, 2007), sendo calculada pela Equação 1.

$$V(\%) = \text{SB}/\text{CTC} \cdot 100 \quad (1)$$

A soma de bases (SB) é calculada somando-se os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e, quando disponível, Na^+ e NH_4^+ trocáveis (NOVAIS & MELLO, 2007; RONQUIM, 2010).

Segundo Alvarez et al. (1994), o pH do solo pode influenciar a disponibilidade de nutrientes às raízes das plantas, propiciando condições favoráveis ou de toxidez. Costa (2004) enfatiza que o pH afeta extraordinariamente a solubilidade de vários elementos, como por exemplo, o ferro e o alumínio.

Em condições naturais, os solos podem ser ácidos, em decorrência do material de origem e da intensidade da ação de agentes de intemperismo, como clima e organismos. Regiões com altas precipitações pluviais apresentam tendências à maior acidificação do solo pela remoção de cátions de caráter básico do complexo de troca, como Ca, Mg, K e Na, e o conseqüente acúmulo de cátions de natureza ácida, como Al e H (SOUZA et al., 2007).

Os componentes da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) são identificados como acidez trocável e titulável, de acordo com o extrator usado para sua quantificação. Assim, a acidez trocável é a porção da acidez do solo que pode ser extraída com um sal neutro de ácido forte não tamponado, geralmente KCl, sendo quase inteiramente devida ao alumínio monomérico, por isso é também denominada alumínio trocável. Já a acidez titulável é a quantidade de acidez neutralizada na faixa do pH do solo até um valor de pH previamente selecionado, correspondendo aproximadamente à acidez medida ao pH de tamponamento do extrator, normalmente 7,0, sendo representada como $\text{H} + \text{Al}$ (KAMINSKI et al., 2002; GAMA et al., 2013).

Conceitualmente, a quantificação da acidez potencial do solo representa a quantidade de base necessária para neutralizá-la ou, em última análise, a necessidade de calcário do solo, pois a acidez do solo pode, além de ser tóxica, interferir na

disponibilidade de alguns nutrientes e na atividade dos microrganismos (KAMINSKI et al., 2002) e, conseqüentemente limitar a produção (PAVINATO et al., 2009).

A recomendação de calagem é feita com base em indicadores de acidez do solo e na resposta das culturas à elevação de pH (NICOLODI et al., 2008). Além disso, a deposição de resíduos vegetais pode promover a elevação do pH do solo na camada superficial, pela troca ou complexação dos íons H e Al, por Ca, Mg, K e outros compostos presentes no resíduo vegetal, aumentando assim a saturação por bases (AMARAL et al., 2004).

Em diversos sistemas podem ocorrer ações naturais ou antropogênicas que podem ser prejudiciais ao funcionamento do ecossistemas. Dentre os desequilíbrio que podem vir a ocorrer no solo, a perda de nutrientes é um dos mais problemáticos, pois pode restringir o desenvolvimento vegetal (SALVADOR et al., 2011). Os principais fatores que afetam a disponibilidade e absorção de nutrientes são, principalmente, o tipo de solo, o pH, a concentração e o equilíbrio entre a fração trocável e em solução do solo, além de interações iônicas (MALAVOLTA, 1980).

Em relação a alguns dos macronutrientes estudados, o elemento fósforo (P) constitui cerca de 0,2% da massa seca das plantas, sendo um componente estrutural de macromoléculas, como ácidos nucléicos e fosfolipídios, e de adenosina trifosfato (ATP), é também um elemento-chave em várias vias metabólicas e reações bioquímicas, como participante de inúmeras etapas das vias C3 e C4 do ciclo de Calvin e da glicólise (HOLFORD, 1997), promove o crescimento radicular (DECHEN & NACHTIGALL, 2007), sendo essencial também para a produção de biomassa vegetal (SILVA et al., 2007). Segundo Souza et al. (2007), a disponibilidade de P aumenta e depois diminui, devido à redução da acidez e aumento de OH⁻ na solução do solo.

O potássio (K) tem inúmeras funções na planta, destacando-se, principalmente, a ativação de vários sistemas enzimáticos, muitos deles participantes dos processos de fotossíntese e respiração. O K não atua somente na síntese de proteínas, de carboidratos de adenosina trifosfato (ATP), mas também na regulação osmótica, na manutenção de água da planta à incidência de pragas e doenças por meio do efeito na resistência e na permeabilidade das membranas plasmáticas. Sua deficiência normalmente reduz o tamanho dos internódios, a dominância apical e o crescimento das plantas, retarda a frutificação e origina frutos de menor tamanho e com menor intensidade de cor (ERNANI et al., 2007; DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

O cálcio geralmente encontra-se em baixa concentração nos solos ácidos (SALVADOR, et al., 2011). Dentre suas funções se destacam a participação no crescimento de meristemas e, particularmente, para o crescimento, funcionamento apropriado dos ápices radiculares, impede danos à membrana plasmática, atua como modulador da ação de hormônios vegetais, regulando a germinação, o crescimento e senescência, estimula a atividade microbiana, auxilia na disponibilidade do molibdênio e na absorção de outros nutrientes, além de ajudar a reduzir o nitrato (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

O magnésio (Mg) atua como ativador de reações enzimáticas. Dentre as reações que participam estão as de transferência de fosfato ou nucleotídeos, de grupos carboxílicos e de ativadores de desidrogenase, mutase e liase, possui também papel estrutural como componente da molécula de clorofila, e é requerido pela planta para manter a integridade dos ribossomos (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

Segundo Silva et al. (2007), a diminuição dos teores de Ca e Mg pode representar excesso de acidez e baixa saturação por bases no solo e, provavelmente, toxidez às plantas causada pelo Al.

2.3.2.1 Dinâmica da matéria orgânica do solo

Roscoe e Machado (2002) definem a matéria orgânica do solo (MOS) como sendo:

[...] todo o carbono orgânico presente no solo na forma de resíduos frescos ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados (ex.: carvão em solos de savana), associados ou não à fração mineral; assim como a porção viva, compostas por raízes e pela micro, meso e macrofauna (ROSCOE & MACHADO, 2002, p.13).

Devido à sua complexidade e diversidade estrutural, a MOS trata-se de um heterogêneo conjunto de materiais orgânicos diferindo em composição, grau de disponibilidade para a microbiota e função no ecossistema (Carter, 2001). Assim, devido à necessidade de entender processos que acompanham a MO, diversos métodos procuram separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função (Christensen, 2000). A escolha do método depende do objetivo do estudo, seja ele para a caracterização e identificação química de componentes específicos da MOS, ou para a quantificação ou descrição de compartimentos da mesma importantes na ciclagem e liberação de nutrientes às plantas (COLLINS et al., 1997).

Christensen (2000) postula que, dependendo do grau de associação com a matriz do solo, a MO pode estar livre ou fracamente associada às partículas de solo, sendo então chamada de matéria orgânica não-complexada (MONC) ou carbono orgânico particulado (COP) (GAZOLLA et al., 2015); ou estar fortemente ligada às partículas minerais, formando complexos organo-minerais (COM), estes, por sua vez, são chamados de primários, pois resultam da interação direta entre partículas minerais primárias e compostos orgânicos. A MONC e COM formam a estrutura básica do solo. Quando os COM-primários se agrupam formam-se os agregados. Neste processo, pode ocorrer o aprisionamento da matéria orgânica não complexada no interior dos agregados, dando origem a uma divisão da MONC em livre (na superfície ou entre os agregados) e oclusa (dentro dos agregados), esta última a MO está pouco acessível a microbiota do solo.

Devido à estabilização e mecanismos de proteção, a MOS tende a estar disponível em diferentes graus à biota, bem como sua redução das perdas pela respiração, erosão ou lixiviação (SOLLINS, et al., 1996). Os mecanismos básicos de proteção da MOS são a recalcitrância molecular, a proteção física por oclusão e proteção coloidal (SOLLINS et al. 1996; ROSCOE & MACHADO 2002) ou interação organo-mineral com a superfície dos óxidos e silicatos (PINHEIRO et al., 2015).

A Recalcitrância molecular refere-se à resistência intrínseca da molécula orgânica ao ataque microbiano. Diferentes compostos dos resíduos vegetais e animais apresentam complexidade distintas (ROSCOE & MACHADO, 2002). Os principais compostos orgânicos do solo podem ser agrupados em carboidratos (celulose, hemicelulose e amino açúcares), lignina, compostos proteicos (peptídeos e aminoácidos) e lipídios (CONCEIÇÃO, 2006). Moléculas mais complexas, como por exemplo lignina ou compostos humificados (estruturas aromáticas) tendem a sofrer um processo mais lento de decomposição devido a forte energia de ligação do anel, comparativamente as moléculas mais simples, como cadeias alifáticas de carboidratos (BALDOCK et al., 1992).

A Proteção física por oclusão em agregados dificulta a ação de microrganismos e sua atividade enzimática sobre o substrato orgânico, atuando como uma barreira física e diminuindo a disponibilidade de O₂ para os processos oxidativos de decomposição (BALDOCK et al., 1992). Esse tipo de proteção ocorre em agregados de diferentes classes de tamanho. De modo geral, o tamanho dos agregados interfere diretamente na estrutura do solo. Quanto maior for o diâmetro médio dos agregados, menor será a

possibilidade de erosão, maior será a quantidade de carbono fixada e melhor será a retenção de umidade pelo solo (SCHIMIGUEL et al., 2014).

Na proteção coloidal ou interação organo-mineral com a superfície dos óxidos e silicatos os microrganismos têm acesso ao substrato orgânico, porém, encontram dificuldades em removê-lo da superfície mineral onde está adsorvido (SOLLINS et al., 1996; CONCEIÇÃO, 2006).

Em termos de dinâmica e grau de decomposição dos reservatórios da MOS, geralmente a MONC-livre apresenta maior taxa de decomposição e menor grau de humificação. A MONC-oclusa ocupa uma taxa intermediária e COM-primário apresenta menor taxa de decomposição e maior grau de humificação (BALDOCK et al., 1992; ROSCOE & MACHADO, 2002)

A importância da matéria orgânica no funcionamento dos ecossistemas tem despertado o interesse da comunidade científica para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas que visam quantificar e quantificar a MOS e seus compartimentos, objetivando o entendimento de sua dinâmica nos diferentes solos.

Por estar localizada em diferentes compartimentos, a MOS apresenta diferentes tempos de ciclagem e formas de proteção, e é constituída basicamente de frações lábeis e estáveis (RANGEL & SILVA, 2007). Quantitativamente, o estoque de MOS pode ser avaliado utilizando o solo inteiro ou em diferentes frações. Neste sentido, o fracionamento químico permite obter as quantidades de substâncias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina) presentes no solo. Por outro lado, o fracionamento físico permite separar e quantificar frações da MO associadas à matriz mineral (mais decomposta) e frações lábeis (MO particulada) constituídas de resíduos em estágios iniciais de decomposição (TOMAZI, 2008). Em curto prazo, alterações na proporção das frações lábeis da MO podem fornecer informações importantes sobre a sustentabilidade ambiental e sobre a qualidade do solo em agroecossistemas, permitindo correções nas estratégias de uso e de manejo adotadas (SANTOS et al., 2012).

Os métodos físicos empregados em estudo da MOS visam à separação de reservatórios funcionais e dinâmicos, bem como o isolamento de complexos organo-minerais. Assim, trata-se de um procedimento utilizado para relacionar a MOS com a agregação e estabilidade de agregados ou para a quantificação de seus compartimentos, visando, assim, estudar sua estrutura química e dinâmica (ROSCOE & MACHADO, 2002) nos diversos ambientes.

O conceito por trás do fracionamento físico enfatiza o papel das frações minerais na estabilidade e transformação da mesma (CHRISTENSEN, 1992). Assim, dependendo do arranjo espacial das frações minerais e orgânicas do solo, a MO pode apresentar diferentes velocidades de decomposição, dependendo da sua localização física no solo (FREIXO et al., 2002).

Os métodos de fracionamento físico visam à separação dos reservatórios da MOS de forma que possam ser quantificados e caracterizados (ROSCOE & MACHADO, 2002). Para tanto, são utilizados dois métodos, o densimétrico que se baseia na diferença entre a densidade entre os compartimentos, e o granulométrico que leva em consideração diferenças no tamanho de partículas. Entretanto, existem pontos conflitantes na literatura sobre a relevância das frações isoladas por ambos os métodos, especialmente no que diz respeito aos processos que levam ao isolamento dos resíduos ao longo prazo (MONI et al., 2012).

O fracionamento densimétrico baseia-se na separação de frações orgânicas e minerais com base na densidade das partículas (ROSCOE & MACHADO, 2002). A flotação em líquido com alta gravidade específica permite a separação da MO em frações com densidades mais altas e baixas que a solução utilizada, obtendo-se, desta forma, a fração leve (FL), que corresponde à MO não associada aos minerais, e a fração pesada (FP), a qual corresponde a fração constituída por materiais orgânicos fortemente ligados à fração mineral (TOMAZI et al., 2011) que se encontra em estágio avançado de humificação, sendo altamente estáveis devido à sua estabilidade química, pela interação com a fração mineral e a proteção física pela sua localização no interior de microagregados estáveis do solo (SANTOS et al., 2011) além de serem intrinsecamente recalcitrantes (Bayer, 1996). Os produtos mais utilizados neste método são o iodeto de sódio (NaI) e o politungstato de sódio (PTS) (CONCEIÇÃO et al., 2007).

A FL pode ser separada em FL-livre (FLL) e FL-oclusa (FLO). Estas três frações (FLL, FLO e FP) apresentam diferentes funções e permitem fazer inferências sobre a atuação dos mecanismos de estabilização da MO no solo (CONCEIÇÃO et al., 2008; TOMAZI et al., 2011). Devido à alta taxa de decomposição, a FL-livre está muito ligada, em termos de dinâmica, ao suprimento de resíduos orgânicos do sistema e, por essa razão, sua quantidade no solo e composição apresentam maior variabilidade espacial e sazonal que as demais frações (CHRISTENSEN, 2000). Kunde et al., (2016) enfatizam que, devido ao mecanismo de proteção da FLL no solo consistir apenas de sua recalcitrância molecular, o estoque dessa fração depende da adição de resíduos e da

velocidade de decomposição, e seu tempo de permanência no sistema é curto, pela facilidade de degradação.

O teor e a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) também são atributos que representam a qualidade do solo que podem ser alterados com uso e manejo do solo (GUIMARÃES et al., 2013). Um solo de boa qualidade não deve apresentar apenas elevado teor de MOS, necessita também de um equilíbrio entre as etapas de decomposição dessa matéria orgânica (CAETANO et al., 2013). Dentre seus componentes que podem ser considerados como bons indicadores de sua qualidade estão a sua fração lábil (com menor grau de decomposição) (LOSS et al., 2009) (COT e COP) e estável ou não lábil (alto grau de decomposição) (COam) (CONCEIÇÃO et al., 2014).

O fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo é baseado no grau de associação da MO com a matriz do solo, ou seja, o carbono pode estar livre ou fracamente associado às partículas de solo, sendo chamado de carbono orgânico particulado (COp), ou estar fortemente ligado às partículas minerais, formando complexos organo-minerais (COam) (GAZOLLA et al., 2015). Desta forma, estudos sobre as frações da MO podem ser eficientes para identificar mudanças decorrentes de práticas de manejo do solo ou da substituição de áreas naturais por cultivos agrícolas (TORRES et al., 2014) um curto período de tempo (ROSSI et al., 2012) ou ao longo dos anos.

2.3.3 Atributos microbiológicos do solo

O aumento da população e atividade da comunidade edáfica microbiana determina a intensidade dos processos bioquímicos do solo (DIÓGENES et al., 2013). Os indicadores microbiológicos podem ser definidos como uma espécie de microrganismo ou grupos de microrganismos que indicam, pela sua presença e atividade numa determinada área, a existência de uma condição ambiental específica, sendo de grande utilização em estudos da qualidade do solo, pois apresentam alta sensibilidade a perturbações antropogênicas, apresenta correlações com diversas funções benéficas do solo, incluindo armazenamento e disponibilidade de água, decomposição de resíduos orgânicos, transformação e ciclagem de nutrientes, bem como o papel direto nos processos do ecossistema, tais como a conversão de nutrientes em formas disponíveis às plantas, formação da estrutura do solo (MELLONI et al., 2008).

O uso de atributos biológicos para avaliação da qualidade do solo vem sendo progressivamente adotado, por responderem de forma mais rápida às alterações ambientais (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007; FACCI, 2008). Muitos atributos biológicos podem ser utilizados, entretanto, neste trabalho foram adotados apenas o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal ou atividade metabólica (C-CO₂), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$) como medidas da qualidade do solo.

A biomassa microbiana do solo é considerada a parte viva e ativa da matéria orgânica do solo (WICK, et al., 1998; ROSCOE, et al., 2006), desempenhando importante papel nas funções-chave, como o controle da decomposição e o acúmulo de MO no ambiente, regulação do fluxo de matéria e energia do solo (SELLE, 2007; BELO et al., 2012), ciclagem de nutrientes, solubilização de nutrientes (ROSCOE et al., 2006) (particularmente fóstatos), degradação de compostos xenobióticos e poluentes, estruturação do solo, controle biológico e supressão de agentes patogênicos das plantas (KASCHUK et al., 2010) e também representa a principal fonte de enzimas do solo que regulam os processos de transformação dos elementos (BOHME & BOHME, 2006).

Juntamente com o teor de carbono orgânico, a biomassa microbiana tem sido utilizada como indicador de alterações e de qualidade, devido à sua relação com as funções ecológicas do ambiente, e a capacidade de refletir rapidamente as mudanças no uso e manejo do solo (ARAÚJO & MELO, 2010), sendo então um fator importante para o monitoramento da qualidade do solo (LISBOA et al., 2012).

Para avaliar o efeito das mudanças ocorridas no ambiente, há necessidade de utilização de métodos capazes de detectar pequenas alterações na biomassa microbiana. Além da determinação do teor de carbono presente na biomassa, pelo método de fumigação - extração descrito por Vance et al. (1987), que se baseia no fato do carbono presente nos microrganismos mortos pela fumigação ser liberado para o solo, também é comumente avaliado a respiração basal, que reflete diretamente a atividade dos microrganismos e informa quanto à atividade biológica do solo (ROSCOE et al., 2006).

Da mesma forma que outras atividades metabólicas, a respiração depende do estado fisiológico das células e é influenciada por diversos fatores, tais como a umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes no solo. Valores mais elevados da respiração basal (liberação de C-CO₂) implicam em maior atividade biológica, que está diretamente relacionada com a disponibilidade de carbono no solo (MERCANTE et al., 2006).

O quociente metabólico (qCO_2) é um índice que combina os resultados de biomassa microbiana com as determinações das taxas de respiração, representado pela taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1985). Já o quociente microbiano ($qMIC$) reflete a eficiência da conversão do carbono da MO em C microbiano e pode indicar situação em que a microbiota esteja enfrentando algum tipo de estresse. Desta forma, quando o ambiente mostra-se mais estável, seus valores tendem a crescer (MERCANTE et al., 2006).

No geral, informações sobre as mudanças no carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C- CO_2), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$) podem explicar os processos ecológicos do ambiente. Compreender o comportamento e a dinâmica dos microrganismos do solo ajuda a avaliar as práticas de uso do solo que mantêm e/ou melhoram a qualidade deste ao longo do tempo. Isto porque as mudanças na atividade microbiana e na composição das comunidades microbianas influenciam diretamente sua fertilidade, bem como o crescimento das plantas e a ciclagem de nutrientes (CRECCHIO et al., 2007, CHEN et al., 2014).

A sustentabilidade ou a degradação de um ambiente pode ser estimada, entre outros, pela avaliação e monitoramento de solos sensíveis a alterações pelo uso e manejo ao longo do tempo a partir dos quais se avalia a evolução de sua qualidade (NASCIMENTO et al., 2014). Assim, independente do indicador utilizado para aferir a qualidade do solo, eles devem elucidar processos do ecossistema e relacionar aos processos-modelo, integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e os respectivos processos (DORAN & PARKIN, 1994), ser de fácil mediação, apresentar resposta a mudanças, limite claro entre condições de sustentabilidade e não sustentabilidade e relação direta com requerimentos de QS (qualidade do solo) (GOEDERT & OLIVEIRA, 2007).

Além da recuperação da estrutura do solo e seus atributos, a resiliência de um ambiente perturbado ou degradado é fortemente favorecida pelo restabelecendo da cobertura vegetal, pois ela estabiliza a superfície, é visualmente atraente e auto-sustentável e provém a base para sucessão natural ou manejada até o estabelecimento de uma comunidade mais complexa (BEGON et al., 2007). Assim, para o entendimento dos processos ecológicos que ocorrem em áreas que estão em processo de restauração, é necessário ter o conhecimento da capacidade regenerativa de tais áreas e da dinâmica florestal, que pode ser avaliados através de estudos de banco de sementes e diversidade florestal.

2.4 Avaliação do banco de sementes

A fragmentação florestal decorrente da implantação de atividades agropecuárias pode provocar desequilíbrio nos ecossistemas, acarretando em redução do fluxo gênico entre e dentro das populações, na extinção local de espécies e na degradação do ambiente. Neste contexto, trabalhos de recuperação de áreas degradadas ou perturbadas passam a ser uma necessidade de muitas regiões do país, especialmente no Bioma Cerrado. Dentre as estratégias destinadas à restauração, a regeneração natural por meio da germinação dos diásporos é fundamental para a sobrevivência das espécies, sendo um dos fatores que permite a sua manutenção e regeneração do ambiente (FRANCO et al., 2012) de forma mais barata e eficiente (CALEGARI et al., 2013). Contudo, a regeneração natural é favorável quando há presença de um banco de sementes, que pode ser constituído tanto por sementes autóctones quanto por aquelas alóctones.

Banco de sementes pode ser entendido como todas as sementes viáveis no solo ou associadas à serapilheira em uma determinada área num dado momento, sendo considerado um sistema dinâmico, com entrada de sementes por meio da chuva de sementes, e dispersão, podendo ser transitório, com sementes chamadas de recalcitrantes, que germinam dentro de um ano após o início da dispersão e não suportam a dessecação, ou persistente, com sementes ortodoxas, que permanecem no solo por longos períodos no solo após a desidratação (SWAINE & WHITMORE, 1998; SCHORN et al., 2013), podendo, assim, ser classificado como sistema transitório, com sementes viáveis apenas por um ano, ou persistentes, com sementes que permanecem viáveis no solo por mais de um ano (NÓBREGA et al., 2009). Essa permanência representa uma reserva do potencial genético acumulado e está intrinsecamente relacionada à resiliência do habitat, que se traduz pela capacidade de um ecossistema se recuperar após um distúrbio, considerando suas funções e processos ecológicos (MORESSI, et al., 2014).

O estoque de sementes no banco pode ser influenciado pela variação no balanço de entrada e saída de semente (NÓBREGA et al., 2009), o qual determina a composição vegetal de um ecossistema. Contudo, o balanço de sementes pode ser influenciado pela heterogeneidade que ocorre no espaço e no tempo (LEAL-FILHO et al., 2013). Espacial, as variações podem estar associadas aos diferentes tipos de habitats e profundidade do solo (VINHA et al., 2011) e temporal as sementes podem apresentar diferentes comportamentos em respostas as variações climáticas (SOUZA et al., 2010).

Por meio da avaliação do banco de sementes é possível identificar casos em que, apenas o isolamento dos fatores de degradação garantiria a regeneração florestal e outras situações contrárias (áreas onde o banco de sementes não se apresenta promissor) em que deve haver intervenções complementares (CALEGARI et al., 2013), pois o mesmo auxilia no estabelecimento de populações, de grupos ecológicos e, conseqüentemente, contribui para a manutenção da diversidade florística (MASSOCA et al., 2012).

Inúmeros trabalhos de banco de sementes do solo estão focados no estudo da densidade e composição florística de um determinado ecossistema (FRANCO et al., 2012; CAPELLESSO et al., 2015), contudo, em nosso trabalho são apresentados o comportamento do processo germinativo e a influência da variação sazonal sobre a germinação das espécies que compunhem o banco.

Desta forma, o conhecimento da dinâmica do banco de sementes do solo em respostas ao uso e manejo inadequados do solo, favorece a implantação de estratégias que podem acelerar a restauração da cobertura vegetal e dos processos ecológicos de tais áreas após seu uso.

3. REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R.C. COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p. 319-326, 1996.

ALVARENGA, R.C. **Potencialidade de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1993, 112 p.

ALVAREZ V., V.H.; MELLO, J.W.V.; DIAS, L.E. **Acidez e calagem do solo**. Brasília: ABEAS/UFV, 1994. 68 p (Curso de Fertilidade e Manejo do Solo - Módulo IV).

ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação do subsolo em área de empréstimo usada para construção de hidrelétrica. **Revista Ciências Agrônômicas**, v.42, n.2, p. 301-309, 2011.

ALVES, M. C.; SOUZA, Z.M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2505-2516, 2008.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.179-189, 2000.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 115–123, 2004.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of soils**, v.1, p. 81-89, 1985.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M. & OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e/ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.857-865, 2000.

ARAGÃO, D.V.; CARVALHO, C.J.R.; KATO, O.R.; ARAÚJO, C.M.; SANTOS, M.T.P.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazônica**, v.42, n.1, p. 11-18, 2012.

ARATANI, R.C.; FREDDI, O. S.; CENTAURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 677-689, 2009.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v.23, n.3, p. 66-75, 2007.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America. Special publicacion, p.123-141, 1996.

ARAUJO, A.S.F.;MELO, W.J. Soil microbial biomass in organic farming system. **Ciência rural**, v.40, n.11, p.2419-2426, 2010.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environmet**, v.88, p. 153-160, 2002.

AUDEH, S.J.S.; LIMA,A.C.R.; CARDOSO, I.M.; CASALINHO, H.; JUCKSCH, I.J. Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.6, n.3, p. 34-48, 2011.

BALDOCK, J.A.; OADES, J.M.; WATERS, A.G.; PENG, X.; VASSALLO, A.M.; WILSON, M.A. Aspects of the chemical-structure of soil organic materials as revealed by solid-state C¹³ NMR-Spectroscopy. **Biogeochemistry**, v.16, p.1-42, 1992.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, 1996. 241 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em ciência do solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BEGON, M., TOWNSEND, C.R.; HARPER, J. **Ecologia de indivíduos a ecossistemas**. 4ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

BELO, E.S.; TERRA, F.D.; ROTTA, L.R.; VIVELA, L.A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; VILELA, L.A.F.; CARNEIRO, M.A.C. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Gl. Science Technology**. v.5, n.3, p. 107-116, 2012.

BERGMANN, J.; VERBRUGGEN, E.; HEINZE, J.; XIANG, D.; CHEN, B.; JOAHI, J.; RILLING, M.C. The interplay between soil structure, roots, and microbiota as a determinant of plant–soil feedback. **Ecology and Evolution**, v.6, p. 7633–7644, 2016.

BEUTLER,A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.167-177, 2001.

BOHME, L.; BOHME, F. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization. **European Journal of Soil Biology**, v.42, p. 1-12, 2006.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 13. ed. New Jersey :Prentice Hall /Upper Saddle River, 2002. 960p.

BRASIL - Lei 9.985 de julho de 2000 – disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm acesso em: 11/12/2013.

BRASIL, Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012, http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/ Ato2011-2014/2012/Decreto/D7830.htm.
Acesso em: 28/02/2017.

BRASIL, Lei N° 12.727, de 17 De Outubro DE 2012. <http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2014/10/Lei-12727-2012-Codigo-florestal.pdf> **acesso em: 04/02/2016.**

- CAETANO, J.O.; BENITES, V.M.; SILVA, G.P.; SILVA, I.R.; ASSIS, R.L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milheto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 1245-1255, 2013.
- CALEGARI, L.; MARTINS, S.V.; CAMPOS, L.C.; SILVA, R.; GLERIANI, J.M. Avaliação do banco de sementes do solo para fins de restauração florestal em Carandaí, MG. **Revista Árvore**, v.37, n.5, p. 871-880, 2013.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. 132p.
- CAMPANILI, M. & SCHÄFFER, W.B. **Mata Atlântica: manual de adequação ambiental**. Brasília: MMA/SBF. 2010. 96p
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhaço e adição de Vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.
- CAPELLESSO, E.S.; SANTOLIN, S.F.; ZANIN, E.M. Banco e chuva de sementes em área de transição florestal no sul do Brasil. **Revista Árvore**, v.39, n.5, p. 821-829, 2015.
- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagem no Pantanal sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.613-622, 2011.
- 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, p.147-157, 2009.
- CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Dissertação (mestrado em microbiológica agrícola) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001, 103 p.
- CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381-1396, 2007.
- CHEN, S.; ZOU, J.; HU, Z.; CHEN, H.; LU, Y. Global anual soil respiration in relation to climate, soil properties and vegetation characteristics: Summary of available data. **Agricultural in Forest Meteorology**, v.198-199, p. 335-346, 2014.
- CHERUBIN, M.R.; KALEN, D.L.; FRANCO, A.L.C.; CERRI, C.E.P.; TORMENA, C.A.; CERRI, C.C. A soil management assessment framework (SMAF) evolution of brazilian sugarcane expansion on soil quality. **Soil Science Society of America Journal**, v.25, p. 215-226, 2016.
- CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Sciences**, v. 20, p. 1-90, 1992.

CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil: Structure, function and turnover. In: **Plant production**. Tjele, 2000. p. 95. (DIAS Report, 30).

CONCEIÇÃO, P.C. **Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**. Tese (Doutorado)- programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006, 155 p.

CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; SANTOS, D.C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v.44, n. 5, p. 794-800, 2014.

CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. Eficiência do politungstato de sódio no fracionamento físico densimétrico da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1301-1310, 2007.

CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.541-549, 2008.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.2, p. 289-298, 1999.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.

COSTA, J. B. **Caracterização e constituição do solo**. 7ª. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004, 527 p.

COSTA, J.R.; FONTES, J.R.A.; MORAIS, R.R. **Banco de sementes do solo em áreas naturais e cultivos agrícolas**. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2013, 35 p.

CRECCHIO, C.; CURCI, M.; PELLEGRINO, A.; RICCIUTI, P.; TURSI, N.; RUGGIERO, P. Soil microbial dynamics and genetic diversity in soil under monoculture wheat grown in diferente long-term management systems. **Soil Biology & Biochemistry**, v.39, p. 1391–1400, 2007.

CRUZ, J.S.; ASSIS JUNIOR, R.N.; MATIAS, S.S.R.; CAMACHO-TAMAYO, J.H.; TAVARES, R.C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-amarelo Cultivado com cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.2, p.271-278, 2010.

CUNHA, E. STONE, L.F.FERREIRA, E.P.B. DIDONET, A.D. MOREIRA, J.A.A.; Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactada por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.56-63, 2012.

CUNHA, J.P.A.R.; CASCÃO, V.N.; REIS, E.F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientia Agronomy**, v.31, n.3, p. 371-375, 2009.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. IN: NOVAIS et al. Fertilidade do solo. **Sociedade brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, 2007, 1017 p.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

DIÓGENES, L.C.; NÓBREGA, J.C.A.; NÓBREGA, R.S.A.; ANDRADE JUNIOR, A.S.; PRAGANA, R.B.; MATIAS, S.S.R. Microbial attributes and carbon and nitrogen stocks in Latosol under irrigated monocropping and intercropping. **Revista de Ciências Agrárias**, v.56, n.2, p.106-111, 2013.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining assessing soil quality**. IN: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZICEK, D.F.; STEWARD, B.A (eds.). Defining soil quality for a sustainable environmet. Madison, WI, SSSA. American Society of Agronomy, Spec. Public, v.35, p.03-21, 1994.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, v.56, p. 2-54, 1996.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Fósforo. IN: NOVAIS et al. Fertilidade do solo. **Sociedade brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, 2007, 1017 p.

FACCI, L.D. **Variáveis microbiológicas como indicadoras da qualidade do solo sob diferentes usos**. Dissertação (mestrado) do curso de pós graduação em agricultura tropical e subtropical – Instituto agrônomo, Campinas, SP, 2008, 104 p.

FAO - Poverty Alleviation and Food Security in Asia: **Land Resources** - (Food and agriculture organization of the United Nations). This preliminary report was prepared by FAO-AGL in reference to FAO Regional Office for Asia and the Pacific, July 1999. RAP Publication 1999/2. [online] Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/003/x6625e/x6625e00.htm> Acesso em 10/08/2012.

FONTANA, A.; BRITO, R.J.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, v.5, p. 291-297, 2010.

FRANCO, A. M. P. **Caracterização física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota/RS**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2006. 120 p

FRANCO, B.K.S.; MARTINS, S.V.; FARIA, P.C.L.; RIBEIRO, G.A. Densidade e composição florística do banco de smenetes de um trecho de floresta estacional semidecidual no campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.36, n.3, p. 423-432, 2012.

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, P. L. O. de A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 445-453, 2002.

GAMA, M.A.P.; MATOS, G.S.B.; SILVA, G.R.; BRASIL, E.C.; NUNES, O.F. Potential acidity estimated by SMP pH um soils of the State of Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.199-203, 2013.

GAZOLLA, P.R.; GUARESCHI, R.F.; PERIN, A.; PEREIRA, M.G.; ROSSI, C.Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, p.693-704, 2015.

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.863-873, 2007.

GOEDERT, W.J.; OLIVEIRA, S.A. **Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola**. IN: NOVAIS et al. Fertilidade do solo. Sociedade brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, MG, 2007, 1017 p.

GREEN, V.S.; STOTT, D.E.; CRUZ, J.C.; CURI, N. Tillage impactos on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. *Soil & Tillage Research*, v.92, p. 114–121, 2007.

GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 703-7, 2001.

GUIMARÃES, D.V.; GONZAGA, M.I.S.; MELO NETO, J.O.; REIS, A.F.; LIMA, T.S.; SANTANA, I.L. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio em fragmento de Mata Atlântica do município de Neópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, v.8, n.4, p.1-5, 2012.

GUIMARÃES, D.V.; GONZAGA, M.I.S.; SILVA, T.O.; SILVA, T.L.; DIAS, N.S.; MATIAS, M.I.S. Soil organic matter pools and carbono fractions in soil under different land uses. **Soil & Tillage Research**, v.126, p. 177-182, 2013.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.

HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement and, its uptake by plants. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, n.3, p.227-239, 1997.

IBIAPINA, T.V.B.; SALVIANO, A.A.C.; NUNES, L.A.P.L.; MOUSINHO, F.E.P.; LIMA, M.G.; SOARES, L.M.S. Resistência à penetração e agregação de um Latossolo Amarelo sob monocultura de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. **Científica**, v.42, n.4, p. 411-418, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990, 96p.

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

KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; MARTINS, J.R.; SANTOS, E.J.S.; TISSOT, C.A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no

cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1107-1113, 2002.

KARLEN, D.L.; DITZLER, C.A.; ANDREWS, S.S. Soil quality: Why and how? **Geoderma**, v.114, p. 145-156, 2003.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v.42, p.1-13, 2010.

KUNDE, R.J.; LIMA, C.L.R.; SILVA, S.D.A.; PILLON, C.N. Frações físicas da matéria orgânica em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p. 1520-1528.

LEAL-FILHO, N.; SENA, J.S.; SANTOS, G.R. Variações espaço-temporais no estoque de sementes do solo na floresta amazônica. **Acta Amazônica**, v.43, n.3, p.305-314, 2013.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2004. 70p.

LIMA, V.M.P.; MAGALHÃES, C.A.S.; OLIVEIRA, G.C.; LIMA, J.M. Structural quality of soils cultivated with coffee and pasture in an environmental protection area. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.709-716, 2010.

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

LOSS, A., PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v.39, n.4, p.78-83, 2009.

LUCIANO, R.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M.T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1733-1744, 2012.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MASSOCA, P.E.S.; JALOVAC, A.C.C.; BENTOS, T.V.; WILLIAMSON, G.B.; MESQUITA, R.C.G. Dinâmica e trajetória da sucessão na Amazônia central. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v.7, n.3, p. 235-250, 2012.

MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N. Indicadores da qualidade do solo. **Informe Agropecuário**, v.29, n.244, p.17-29, 2008.

MENDES, F.G.; MELLONI, E.G.P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v.12, n.3, p. 211-220, 2006.

- MERCANTE, F.M.; OTSUBA, A.A.; SILVA, R.F.; HERNANI, L.C.; OLIVEIRA, H. **Monitoramento de parâmetros microbiológicos em área manejadas sob plantio direto na Bacia Hidrográfica do Alto Taquari, MS.**Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, boletim informativo 38, 2006, 24p.
- MICHELON, C.J.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; MELO, G.L.; SPOHR, R.B.; ANDRADE, J.G. Qualidade física dos solos irrigados de algumas regiões do Brasil Central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p. 39-45, 2009.
- MOLINE, E.F.V.; COUTINHO, E.L.M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.1, p. 14-20, 2015.
- MONI, C.; DERRIEN, D.; HATTON, P.J.; ZELLER, B.; KLEBER, M. Density fractions versus size separates: does physical fractionation isolate functional soil compartments? **Biogeosciences**, v.9, p. 5181-5197, 2012.
- MORESSI, M.; PADOVAN, M.P.; PEREIRA, Z.V. Banco de sementes como indicadores de restauração em sistemas agroflorestais multiestratificados no sudoeste de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v.38, n.6, p. 1073-1083, 2014.
- NASCIMENTO, P. C.; BISSANI, C.A.; LEVIEN, R.; LOSEKANN, M. E.; FINATO, T. Uso da terra e atributos de solos do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.9, p. 920-926, 2014.
- NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C. & KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo Argiloso. **Ciência Rural**, v.36, p.1410–1415, 2006.
- NICOLODI, M.N., ANGHINONI, I., GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do planalto do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1217-1226, 2008.
- NÓBREGA, A.M.; VALERI, S.V.; PAULA, R.C.; PAVANI, M.C.M.D.; SILVA, S.A. Banco de sementes de remanescentes naturais e de áreas reflorestadas em uma várzea do Rio Mogi-Graçu-SP. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p. 403-411, 2009.
- NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. IN: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, MG, 2007, 1017 p.
- PATRICIO, R.L. **Avaliação dos métodos de revegetação de áreas degradadas utilizados na mineração de níquel em Niquelândia Goiás**. Dissertação de mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental – Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2009, 41p.
- PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A.; Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1031-1040, 2009.
- PÉRÈS, G., CLUZEAU, D., MENASSERI, S., SOUSSANA, J. F., BESSLER, H., ENGELS, C., EISENHAUER, N. Mechanisms linking plant community properties to

soil aggregate stability in an experimental grassland plant diversity gradient. **Plant and Soil**, v.373, p. 285–299, 2013.

PICCOLO, A.; MBAGWU, J.S.C. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.1-2, p.950- 955, 1994.

PINHEIRO, E.F.M.; CAMPOS, D.V.B.; BALIEIRO, F.C.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G. Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter. **Agricultural Systems**, v.132, p. 35-39, 2015.

PORTUGAL, A. F.; JUNCKSH, I.; SCHAEFER, C.E.R.G.; NEVES, J.C.L. Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, v.57, p.545- 553, 2010.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: E. Rodrigues, 2001. 327 p.

RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, n.2, p.242-254, 2009.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, n.3, p. 321-344, 2005.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Embrapa, 2010, 30 p.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002, 86 p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; SANTOS, J.C.F.; HUNGRIA, M. **Biomassa microbiana do solo: Fração mais ativa da matéria orgânica**. IN: ROSCOE, R. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, 2006, 304 p.

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

RUIZ, E.C.; RUIZ, A.C.; VACA, R.; AGUILA, P.; LUGO, J. Assessment of soil parameters related with soil quality in agricultural systems. **Life Science Journal**, 12(1): 154-160, 2015.

SALVADOR, J.T.; CARVALHO, T.C.; LUCCHESI, L.A.C. Relação cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambiental**, v.9, n.1, p. 27-32, 2011.

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

SANTOS, D.C.; LIMA, C.L.R.; KUNDE, R.J.; CARVALHO, J.S.; ABEIJON, L.M.; PILLON, C.N. Agregação e proteção física da matéria orgânica em Planossolo Háplico sob diferentes sistemas e manejo. **Bioscience Journal**, v.28, n. 1, p. 54-63, 2012.

SCHIMIGUEL, R.; SÁ, J.C.M.; BRIEDIS, C., HARTMAN, D.C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. **Synergismus Scientifica UTFPR**, v.9, n.1, p.1-5, 2014.

SCHORN, L.A.; FENILLI, T.A.B.; KRÜGER, A. PELLENS, G.C.; BUDAG, J.J.; NADOLNY, M.C. Composição do banco de sementes no solo em áreas de preservação permanente sob diferentes tipos de coberturas. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 49 – 58, 2013.

SELLE, G.L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, v.23, n. 4, p. 29-39, 2007.

SER – **Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Groups**. Versão 2, Outubro 2004. [online] Disponível em: <http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration#3>. Acesso em: 24/06/2013.

SILVA, A.S. **Análise morfológica dos solos e erosão**. IN: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 340 p.

SILVA, A.S.; SILVA, I.F.; BANDEIRA, L.B.; DIAS, B.O.; NETO, L.F.S. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, v.44, n.10, p. 1783-1789, 2014.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997.

SILVA, R.C.; PEREIRA, J.M.; ARAÚJO, Q.R.; PIRES, A.J.V.; DEL REI, A.J. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.101-107, 2007.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.191-199, 2000.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, n.4, p. 709-717, 2009.

SOARES, M.R.; CASAGRANDE, J.C. **O solo: Base para a restauração ecológica**. IN: BARBOSA, L.M. Políticas públicas para a restauração ecológica e conservação da biodiversidade (V simpósio de restauração ecológica). São Paulo, Instituto de Botânica – SMA, 2013. 400p.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B.A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**. v.74, p. 65-105, 1996.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e sua correção**. IN: NOVAIS et al. Fertilidade do solo. Sociedade brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, MG, 2007, 1017 p.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.11, p. 1135-1139, 2005.

SOUZA, G.P.; FIGUEIREDO, C.C.; SOUSA, D.M.G. Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p. 168-1676, 2016.

SOUZA, T.M.S.; LIMA, P.B.; ALMEIDA JR, E.B.; ALMEIDA, A.L.S.; ZICKEL, C.S. Densidade, germinação e flora do banco de sementes do solo da restinga da RPPN de Maracáipe, Pernambuco, Brasil. **Diversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos**, p. 439-454, 2010.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.533-542, 2004.

STEFANOSKI, D.C.; FIGUEIREDO, C.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L. Selecting soil quality indicators for different soil management systems in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1643-1651, 2016.

STEPNIEWSKI, W.; HORN, R.; MARTYNIUK, S. Managing soil biophysical properties for environmental protection. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.88, p.175-181, 2002.

SWAINE, M.D.; WHITMORE, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rainforest. **Vegetatio**, v.5, p. 81-86, 1998.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology- The physics of irrigated and no irrigated soil**. San Francisco, W.H. Freeman, p. 532, 1972.

TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J. & MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.107- 114, 1992.

TOMAZI, M. **Estabilidade da matéria orgânica em Latossolos do Cerrado sob sistemas de uso e manejo**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em

Ciências do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008, 106 p.

TOMAZI, M.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C. O uso de amostras peneiradas a dois milímetros subestima a proteção física da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 1323-1329, 2011.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.211-219, 2007.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P., LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S. DC.; DEXTER, A.R. Quantification of the soil physical quality of a tropical Oxisol using the index. **Scientia Agricola**, v.65, n.1, p. 56-60, 2008.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil & Tillage Research**, v.52, p.223-232, 1999.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; MORAES, A.G.L.; BEUTLER, S.J. Frações granulométricas e oxidáveis da matéria orgânica em sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v.27, n.4, p. 16-23, 2014.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, n.6, p 703-707, 1987.

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

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

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J.; Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.33, n 4, p. 743-755, 2009.

VINHA, D.; ALVES, L.F.; ZAIDAN, L.B.P.; GROMBONE-GUARATINI, M.T. The potential of the soil seed bank for the regeneration of a tropical urbanforest dominated by bamboo. **Landscape and Urban Planning**, v.90, p. 178-185, 2011.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONCA, E.S.; ALVARENGA, R.C., Organic-matter pools of soil under pines and annual cultures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, p. 1707-1722, 2010.

WICK, B.; KUHNE, R.F.; VLEK, P.L.G. Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow management systems in south-western Nigeria. **Plant and Soil**, v.202, p. 97-107, 1998.

CAPÍTULO 2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SOLO EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS

RESUMO

A sustentabilidade ou a degradação de um ambiente pode ser estimada, entre outros, pela avaliação e monitoramento de atributos do solo sensíveis às alterações pelo uso e manejo ao longo do tempo. Compreender alterações decorrentes de manejo empregados em diferentes sistemas pode auxiliar no entendimento dos processos ecológicos que preconizam a ecologia da restauração. Assim, avaliou-se a qualidade do solo com base em seus atributos químicos em diferentes usos, sendo cinco áreas em restauração ecológica, uma área de vegetação nativa e uma de cultivo de cana-de-açúcar, todas localizadas em uma propriedade rural particular no município de Rio Brilhante, MS, em uma área de transição entre os Biomas Cerrado-Mata Atlântica. Os atributos químicos avaliados foram: matéria orgânica (MO), pH, capacidade de trocas catiônicas (CTC), soma de bases (SB), potássio (K), fósforo (P), magnésio (Mg), cálcio (Ca), saturação por base (V%) e acidez potencial (H+Al). Os dados foram submetidos à análise multivariada, dentre elas análise de componentes principais e agrupamento. Os resultados obtidos mostraram que, dentre as áreas em restauração ecológica, REC1 apresentou relação negativa com os atributos químicos do solo e demonstrou maior similaridade com a área de cultivo de cana-de-açúcar. Em contrapartida, REC3 apresentou a melhor qualidade química do solo e maior similaridade com área de vegetação nativa, inferindo, desta forma, que o desenvolvimento da cobertura vegetal e a ausência de mecanização foram importantes para promover a melhoria da qualidade do solo. Todavia, espera-se que, a longo prazo, todas as áreas em restauração atinjam seus níveis de estabilidade, sustentabilidade e integridade biológica resgatando assim, os processos ecológicos que auxiliam no reestabelecimento de um ecossistema preservado.

PALAVRAS-CHAVE: Atributos químicos, restauração ecológica, vegetação nativa, sistema produtivo.

ABSTRACT

The sustainability or degradation of the environment can be estimated, among others, for the evaluation and monitoring of sensitive soil attributes for the use and management over time. Understanding the changes resulting from management uses in different systems can assist in the knowledge of ecological processes that advocate restoration ecology. Thus, the objective of this work was to evaluate the soil quality based on its chemical attributes in different uses, being five areas in ecological restoration, an area of native vegetation and a sugarcane crop, all locations in a property Rural in Rio Brilhante city, MS, in a transition area between the Cerrado-Mata Atlântica Biomes. The chemical attributes evaluated were: organic matter (OM), pH, cation exchange capacity (CTC), sum by bases (SB), potassium (K), phosphorus (P), magnesium (Mg), calcium (V%) and potential acidity (H + Al). The data were submitted to multivariate analysis, among them: the principal component analyze and clustering. The results obtained showed that, among the areas under ecological restoration, REC1 presented a lower relation with soil chemical attributes and greater similarity with a sugarcane cultivation area. On the other hand, REC3 presented a better soil chemical quality and greater similarity with native vegetation area, thus inferring that the vegetation cover development and a mechanization absence were important to promote an improvement of soil quality. However, it is hoped that in the long time, all areas under restoration will reach their stability levels, sustainability and biological integrity, thereby rescuing the ecological processes that help restore a preserved ecosystem.

KEY WORDS: Chemical attributes; ecological restoration, native vegetation, production system.

4. INTRODUÇÃO

A remoção da cobertura vegetal e a implantação de atividades agropecuárias podem provocar desequilíbrios nos ecossistemas em função dos sistemas de manejo empregados (FREITAS et al., 2015), sobretudo na qualidade do solo, levando à diminuição de sua fertilidade e alteração de seus atributos (RANGEL & SILVA, 2007; COSTA et al., 2008), e na biodiversidade em diversos biomas e assim, ameaçando as oportunidades e flexibilidades de aumentar os serviços ecossistêmicos.

O Estado de Mato Grosso do Sul apresenta um perfil agropecuário de grande importância socioeconômica, com destaque à produção de grãos, pastagem e a cultura da cana-de-açúcar. Se, de um lado, os sistemas de produção indicam o potencial econômico e social de tais atividades, por outro, à vulnerabilidade a processos de degradação dos ecossistemas naturais, principalmente àqueles inerentes à abertura de novas áreas e ao uso e ocupação do solo de forma inadequada.

Em cumprimento ao Código Florestal brasileiro em sua recente versão (Lei 12.727 de 17 de Outubro de 2012), muitas propriedades rurais tiveram que apresentar um plano de recuperação de áreas degradadas devido à obrigatoriedade da recomposição florestal de áreas manejadas de forma inadequada (BRASIL, 2012). Todavia, a restauração de áreas degradadas envolve uma série de medidas que buscam, inicialmente, minimizar os efeitos da degradação e, posteriormente, implantar metodologias corretivas que visam à rápida recuperação do ecossistema.

Entretanto, antes da adoção das diferentes medidas mitigadoras é de extrema importância a avaliação dos atributos do solo, pois, retratam seu diagnóstico atual que colabora tanto para o entendimento dos fatores de sua degradação, quanto para a definição de métodos adequados às condições específicas do local ou da região (AUDEH et al., 2011), tendo como resultado, o melhor planejamento das práticas de restauração. Desta forma, o sucesso dos programas de restauração não pode ser avaliado apenas pela velocidade de formação da cobertura vegetal, mas também através do monitoramento dos diferentes atributos do solo que são empregados como indicadores de qualidade e/ou degradação ambiental.

A sustentabilidade ou a degradação de um ambiente pode ser estimada, entre outros, pela avaliação e monitoramento de atributos do solo sensíveis a alterações pelo uso e manejo ao longo do tempo a partir dos quais se avalia a evolução de sua qualidade (NASCIMENTO et al., 2014). Compreender as interações entre a biodiversidade

vegetal e as propriedades químicas e os efeitos das alterações nas propriedades do solo decorrentes de impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais podem ajudar a identificar abordagens que auxiliam no processo de recuperação de áreas degradadas (MUELLER et al., 2014) a longo prazo, e serve como importante instrumento para o monitoramento da conservação ambiental, pois permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras, especialmente quando adotada como referência a vegetação nativa (CARDOSO et al., 2011).

O emprego de métodos estatísticos multivariados em estudos sobre a qualidade do solo em sistemas agrícolas, ecossistemas naturais (CASTILHOS et al., 2015; LEE et al., 2014; MOTA et al., 2014; ROSENBURGH et al., 2013), antropizados e em processo de recuperação (YADA et al., 2015; FREITAS et al., 2015) vem crescendo nos últimos anos, sobretudo porque possibilitam descrever inferências sobre conjuntos de dados no nível de significância conhecido, permitindo assim ampla faixa de compreensão da distribuição geral dos resultados (PAYE et al., 2012), auxiliam na tomada de decisão do uso e manejo adequado do solo, baseando-se no comportamento dos seus atributos, e indicam os atributos que sofrem maior alteração com a ação antrópica (OLIVEIRA et al., 2015), também descrevem as variáveis químicas do solo que explicam a maior variabilidade possível em um conjunto de dados (componentes principais) (CORTEZ et al., 2011) e possibilitam a caracterização e agrupamento de diferentes sistemas pelo seu grau de similaridade, explicando, desta forma o máximo de intercorrelação entre as variáveis e demonstra quais delas contribuem mais para a caracterização e/ou alteração do solo (OLIVEIRA et al., 2015).

Este artigo, portanto, tem como objetivo avaliar a qualidade do solo com base nos atributos químicos em diferentes usos por meio de métodos estatísticos multivariados. Este trabalho pressupõe que os impactos do uso intensivo de fertilizantes associados à mecanização tenha reflexos sobre a qualidade do solo, assim, compreender as alterações decorrentes de manejo empregado em área de cultivo de cana-de-açúcar, áreas em processo de restauração ecológica que no passado foram cultivadas com pastagem e cana-de-açúcar e em área de vegetação nativa auxilia no entendimento dos processos ecológicos que preconizam a ecologia da restauração. Neste sentido, as respostas das seguintes questões poderão contribuir para melhor entendimento e planejamento das práticas de restauração: As áreas analisadas apresentam diferenças na composição química do solo? As áreas em restauração ecológica apresentam evolução substancial na

qualidade química do solo? As áreas em restauração assemelham-se à área de vegetação nativa ou à área cultivada?

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi conduzido no município de Rio Brillhante, Estado de Mato Grosso do Sul (21°48' S; 44°32' W). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico típico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). De acordo com o sistema de classificação köppen (Cwa), o clima é caracterizado como mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos secos.

Para comparação da composição química do solo em diferentes condições ambientais foi utilizada uma região remanescente composta por vegetação nativa, com fisionomia florística de área de transição entre Cerrado e Mata Atlântica, denominada MATA, cinco áreas em restauração ecológica identificadas como REC1 a REC5, respectivamente, e uma área de cultivo de cana-de-açúcar (CN) (Figura 1).

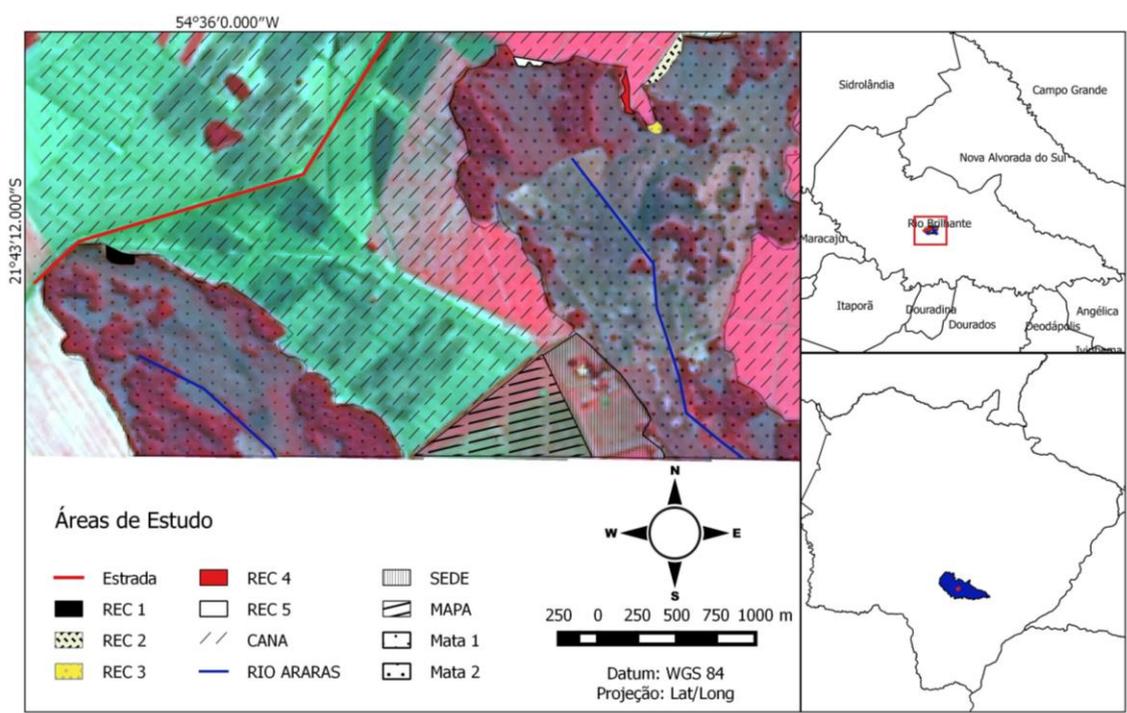


Figura 1- Mapa de localização elaborado no Quantum QGis 14.2- Elaborado por Leonardo Lima dos Santos, 2015.

As áreas em restauração foram estabelecidas originalmente em formação de floresta estacional semidecidual e substituída por pastagem (*Brachiaria brizantha*) manejadas num período de dez anos e, posteriormente, por cana-de-açúcar num período

de 2 anos. Após este período, as áreas foram destinadas à restauração ambiental. Devido à localização, as foram identificadas como REC1 a REC5, com adoção de regeneração natural e plantio de espécies nativas florestais, tais como *Myracrodruon urundeuva*, *Schinus terebinthifolia*, *Handroanthus avellanadae*, *Machaerium stipitatum* e *Dabergia miscolobium*, entre outras, na área identificada como REC2, e regeneração natural nas demais áreas, ressaltando que nenhuma das áreas houve intervenção mecânica e aplicação de fertilizantes.

O plantio da cana-de-açúcar (RB86 – 7515) foi realizado com preparo convencional do solo utilizando duas gradagens (grades aradoras), uma subsolagem até a profundidade de 0,45 m e uma gradagem niveladora. Foi utilizado fertilizante mineral NPK (05-15-10) durante o plantio da cultura, e nos cortes anuais a reposição foi feita utilizando fertilizante mineral NPK (30-05-25) na linha da cultura. Nos tratos culturais da cana soca foram realizadas operações de cultivo entre linhas da cultura, visando minimizar os efeitos da compactação do solo causada pelo intensivo tráfego de máquinas na colheita. Na época de amostragem (período chuvoso 2014), a cultura de cana-de-açúcar encontrava-se no quarto corte de colheita mecanizada.

5.2 Delineamento experimental e procedimento laboratorial

Para avaliação dos atributos químicos do solo, amostras foram coletadas no período chuvoso de 2014, nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições aleatórias em cada área e camada estudada. As amostras coletadas foram armazenadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas ao laboratório de química de solo da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

As análises químicas foram realizadas no laboratório seguindo métodos descritos pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (1997). Com base nos resultados da análise, foram estimados os valores para cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), acidez potencial (H^+ Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), matéria orgânica (MO), saturação por bases (V%), fósforo (P) e $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ em ambas as camadas (Tabela 1).

Tabela 1- Médias dos valores de pH, Matéria orgânica (MO), fósforo (P), teor cátions trocáveis (K+, Ca²⁺ e Mg²⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar.

Áreas	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	(CaCl ₂)	g dm ⁻³	(g m ⁻³)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	%
Camada 0-10 cm										
CN	5,5	42,95	0,92	0,38	7,25	2,17	4,26	9,81	14,08	69,62
MATA	5,8	62,76	1,85	0,39	9,35	3,20	3,97	12,94	16,92	76,14
REC1	5,4	48,12	0,97	0,26	8,10	2,87	4,52	11,24	15,76	71,42
REC2	5,6	55,22	2,62	0,41	9,00	3,20	3,72	12,61	16,34	77,13
REC3	5,3	55,42	0,75	0,54	8,32	2,87	5,10	11,74	16,84	69,53
REC4	5,6	53,75	0,87	0,38	8,85	2,95	3,87	12,18	16,06	75,82
REC5	5,8	48,92	1,10	0,35	7,87	2,85	3,36	11,07	14,43	76,63
Camada 10-20 cm										
CN	5,5	37,30	0,62	0,22	6,37	1,90	3,96	8,50	12,46	68,25
MATA	5,3	48,99	1,15	0,22	7,55	2,65	3,93	10,42	16,61	63,34
REC1	5,2	44,13	0,72	0,18	7,92	2,40	4,75	10,51	15,26	68,86
REC2	5,5	47,12	0,70	0,31	8,07	2,52	4,03	10,91	14,94	72,76
REC3	5,3	51,20	0,47	0,25	8,67	2,62	5,11	11,55	16,66	69,22
REC4	5,5	48,92	0,75	0,25	8,47	2,70	4,24	11,43	15,66	72,82
REC5	5,8	43,55	0,87	0,24	7,80	2,52	3,33	10,57	13,90	75,85

REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua).

5.3 Análise exploratória dos dados

Os dados obtidos foram padronizados para obter médias zero e desvio-padrão unitários (MANLY, 2008) essenciais na análise multivariada.

Com o objetivo de reduzir a dimensionalidade do conjunto de variáveis e facilitar a interpretação da independência entre elas (JOSÉ et al., 2013) e identificar quais variáveis explicam a maior parte da variabilidade dos dados foi utilizada uma análise de componentes principais (PCA), na qual utilizou-se a média da composição química do solo em diferentes condições ambientais (MATA, REC1-5 e CN). A análise de PCA foi realizada utilizando a função “*prcomp*” no pacote “*vegan*” (OKSANEN et al., 2006) no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

Tal análise consiste na transformação linear de “n” variáveis originais, geralmente correlacionadas, em “n” novas variáveis não correlacionadas chamadas de componentes principais (LANDIM, 2011), que consistem em eixos ortogonais obtidos pela rotação do sistema original em que há “p” variáveis aleatórias como eixos das coordenadas (PIOVESAN, 2009). O primeiro eixo, também chamado de componente principal 1, é responsável pela maior variação possível no conjunto de dados e o segundo eixo, o

componente principal 2, pela maior variação possível restante, e assim por diante, até que toda variação do conjunto tenha sido explicada (LANDIM, 2011).

A significância da influência das variáveis químicas do solo entre as áreas avaliadas foi quantificada através da função “*envfit*” no software “*vegan*” (OKSANEN et al., 2006) que após a obtenção de um valor de r^2 (coeficiente de determinação) para as variáveis químicas utilizou um processo de randomização para definir a significância destas (999 permutações) para os eixos da PCA.

Para a seleção dos componentes principais mais significativos e representativos seguiu-se o critério estabelecido por Kaiser (1958), que consiste em incluir apenas os componentes cujos valores sejam superiores a 1. Este critério tende a incluir poucos componentes quando o número de variáveis originais é inferior a vinte e, em geral, utiliza-se apenas componentes que conseguem sintetizar uma variância acumulada em torno de 70% (NASCIMENTO et al., 2014).

Geometricamente, na interpretação gráfica da análise de componentes principais (PCA) os pesos dos componentes principais correspondem aos cossenos dos ângulos que fazem com as variáveis originais (LYRA et al., 2010). A intercorrelação entre as variáveis do solo é demonstrada pelos ângulos entre as setas e a importância destas variáveis pelo comprimento das setas (JOSÉ et al., 2013). O grau com que a variável se correlaciona com o eixo é determinado pelo ângulo formado entre determinada seta e o eixo de ordenadas (MELÉM et al., 2008; PEREIRA et al., 2010).

Para verificar o padrão da variação da composição química do solo em diferentes condições ambientais (Mata, REC1-5 e CN) foi utilizada uma análise de agrupamento (*cluster analysis*), através do método do vizinho mais distante (*complete linkage*) utilizando o coeficiente de distância euclidiana (LANDIM, 2011).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na camada superficial, os resultados da análise de componentes principais (PCA), os dois primeiros eixos explicaram 59,4% e 26,5% respectivamente. Sendo que, soma de base (SB) apresentou maior associação negativa (-0,399) no primeiro eixo, enquanto que H+Al apresentou maior associação positiva (0,554) no segundo eixo (Tabela 1).

Os autovetores dos dois primeiros eixos da PCA explicaram 85,6% da variabilidade dos dados na camada superficial, onde a carga fatorial de cada variável no primeiro componente principal (CP1) apresentou significância mediana a baixa, pois apresentaram autovalores (escores) abaixo de 0,5 (COELHO, 2003). As variáveis que apresentaram cargas fatoriais abaixo desses valores são aquelas que retêm pequena parte da variação total contribuindo em menor proporção para discriminar o uso do solo (PRAGANA et al. 2012). No segundo componente principal (CP2), apenas acidez potencial (H+Al) apresentou alta significância (Tabela 2).

Tabela 2- Análise dos componentes principais dos atributos químicos do solo das áreas avaliadas na camada de 0-10 cm.

Componentes de variância	Componentes principais	
	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores	0,594	0,265
Proporção %	59,4	26,5
Proporção acumulada %	59,4	85,9
Variáveis	Correlação com os componentes principais*	
pH	-0,309	-0,341
Ca	-0,393	0,114
Mg	-0,389	0,050
H+Al	0,152	0,554
K	-0,061	0,429
P	-0,289	-0,123
SB	-0,399	0,126
CTC	-0,301	0,403
V%	-0,322	-0,367
MO	-0,369	0,221

* Coeficientes de correlação com as variáveis originais padronizadas. Número em negrito indica a variável com maior carga fatorial (escores) dentro de cada fator. Critério de classificação: valor absoluto <0,30, considerado pouco significativo; 0,30–0,40, mediamente significativo; e ≥0,50, altamente significativo (COELHO, 2003).

As variâncias explicadas e cumulativas dos dois primeiros componentes principais extraídos na análise de componentes principais (PCA), em ambas as camadas, acumularam e explicaram a maior variabilidade dos dados (85,9%), por isso, como a contribuição dos demais componentes foi mínima, estes não foram considerados na

análise. Desta forma, não é necessário analisar toda a informação, mas somente estudar as informações de variabilidade relevantes, simplificando a análise em um número inferior de variáveis, sem ocorrer perda de informação. Segundo Andrade et al. (2007), esses fatores comuns e independentes (componente principal) reduzem a dimensão de variáveis inter-relacionadas em dimensões menores, para explicar a variabilidade dos dados originais.

A soma da variabilidade retida nos componentes explicou 85,9% da variabilidade original dos dados referentes aos efeitos das diferentes áreas sobre as variáveis químicas do solo, em que PC1 e PC2 retiveram 59,4% e 26,5%, respectivamente, das informações originais dos dados na camada superficial (Tabela 2 e Figura 2). As áreas em restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa influenciaram os atributos químicos do solo, conforme indicado pela intercorrelação entre as variáveis do solo e as áreas avaliadas (Figura 2). Contudo, das dez variáveis químicas analisadas, fósforo e potássio não influenciaram significativamente a qualidade do solo na camada superficial (Tabela 3).

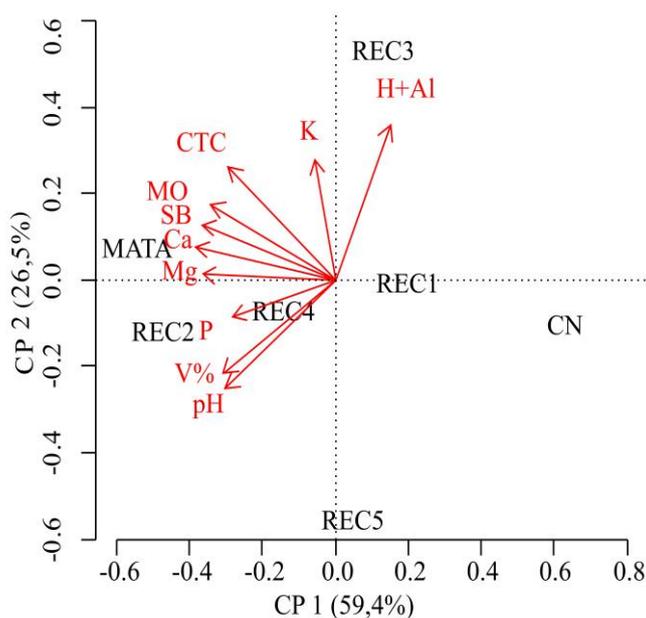


Figura 2 - Biplot dos atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm em áreas com restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa. CP- Componentes principais; REC1- área em restauração ecológica 1; REC2- área em restauração ecológica 2; REC3- área em restauração ecológica 3; REC4- área em restauração ecológica 4; REC5- área em restauração ecológica 5; CN- Cana-de-açúcar; MATA- Fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional semidecidual.

Tabela 3- Resultado da significância da análise dos componentes principais (PCA) das variáveis químicas do solo em relação às áreas avaliadas nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm.

Variável	Camada 0-10 cm				Camada 10-20 cm			
	CP1	CP2	r ²	Pr(>r)	CP1	CP2	r ²	Pr(>r)
pH	-0.66488	-0.74695	0.8657	0.023*	0.31002	-0.95073	0.9387	0.002*
Ca	-0.95813	0.28632	0.9560	0.002*	-0.94164	-0.33661	0.9358	0.005*
Mg	-0.99279	0.11986	0.9054	0.013*	-0.93623	-0.35138	0.8783	0.019*
H+Al	0.26921	0.96308	0.9421	0.005*	-0.55956	0.82879	0.6478	0.117 ^{ns}
K	-0.13057	0.99144	0.4999	0.216 ^{ns}	-0.28048	-0.95986	0.5452	0.219 ^{ns}
P	-0.91093	-0.41256	0.5352	0.260 ^{ns}	0.90111	0.43360	0.0004	0.999 ^{ns}
SB	-0.95014	0.31183	0.9879	0.002*	-0.92876	-0.37068	0.9785	0.003*
CTC	-0.59513	0.80363	0.9661	0.001*	-0.92919	0.36960	0.9450	0.003*
V%	-0.66508	-0.74677	0.9650	0.004*	0.00905	-0.99996	0.7793	0.046*
MO	-0.85621	0.51662	0.9379	0.003*	-0.99912	-0.04191	0.9521	0.003*

CP – componente principal; ns - não significativo; * significativo a 0,05%;

Observa-se que os conteúdos de Ca, K, Mg, o complexo sortivo (SB e CTC) e MO relacionam-se entre si e em relação oposta às características do complexo de acidez do solo (H+Al), as quais formam grupos distintos relacionados a MATA e REC3, respectivamente (Figura 2). Estes resultados demonstram a dinâmica natural do solo, na qual o conteúdo dos cátions básicos e a reatividade do complexo sortivo estão relacionados com o conteúdo de matéria orgânica. Esta relação é ainda mais dependente da matéria orgânica em solos com baixos teores de argila e com cobertura florestal, onde a deposição de serapilheira é fundamental para a ciclagem biogeoquímica (ROVEDDER et al., 2014), como reportado por Sobral et al. (2015) que encontraram forte influência da composição granulométrica influenciando a dinâmica do carbono no solo. Além disso, Carneiro et al. (2009a) e Morais et al. (2012) enfatizam que o fato da área sob vegetação nativa apresentar uma maior diversidade de espécies vegetais do que nos demais sistemas acarreta em deposição de substratos orgânicos oxidáveis com composição variada na serapilheira. A maior relação com a MO deve-se também ao fato de ela estar diretamente associada com a não interferência antrópica, sem o uso de implementos agrícolas e de tratamentos culturais (CARNEIRO et al., 2009b), possibilitando o acúmulo de maiores teores de biomassa microbiana ao longo do perfil do solo, refletindo em maior equilíbrio do ecossistema.

Na MATA, é possível verificar grande influência de MO e CTC, indicando que a remoção da vegetação nativa e a utilização agrícola reduziram os teores de carbono orgânico no solo, como reportado por Freitas et al. (2015). Esses resultados também estão de acordo com Portugal et al. (2010) e Freitas et al. (2011), segundo os quais pode haver um declínio no estoque de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas

em sistemas agrícolas. Ainda enfatizam que essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica do solo e a menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados, o que provavelmente está ocorrendo em maior intensidade na área com o cultivo de cana-de-açúcar.

Teferi et al. (2016), estudando os efeitos do uso e da cobertura vegetal sobre os indicadores de qualidade do solo, constataram que a vegetação nativa e áreas reflorestadas contribuem para o aumento da matéria orgânica do solo e redução da compactação do solo, quando comparadas às áreas manejadas intensamente.

As áreas em restauração ecológica REC2 e REC4 formaram um grupo relacionado à característica da solução do solo, como pH e ao V% e P. As áreas REC1, REC5 e CN não apresentaram influência sobre a característica química do solo na camada superficial. Esses resultados indicam que o maior equilíbrio e a diversidade de fatores (florística, hifas fúngicas e serapilheira na superfície do solo) nos ecossistemas naturais favorecem a manutenção dos atributos químicos do solo (ALVES et al., 2011).

Na camada 10-20 cm, os autovetores dos dois primeiros eixos da PCA foram 2,223 e 1,637, respectivamente, e a soma da variabilidade retida nos componentes explicou 76% da variabilidade original dos dados referentes aos efeitos das diferentes áreas sobre as variáveis químicas do solo, em que PC1 e PC2 retiveram, 49,4% e 26,6% das informações originais dos dados, respectivamente (Tabela 4 e Figura 3). Contudo, das dez variáveis químicas analisadas, acidez potencial, fósforo e potássio não influenciaram significativamente a qualidade do solo (Tabela 3).

Na PCA, além dos cátions básicos Ca e Mg, SB, CTC e MO apresentaram significância moderada no CP1. No segundo componente principal (CP2), pH e V% apresentaram alta carga fatorial (Tabela4), corroborando com Silva et al. (2010), Silva et al (2014) e Alves et al. (2014) que também encontraram componentes principais correlacionados com a acidez do solo.

Tabela 4- Análise dos componentes principais dos atributos químicos do solo das áreas avaliadas na camada de 10-20 cm.

Componentes de variância	Componentes principais	
	CP 1	CP 2
Autovalores	2,223	1,631
Proporção %	49,4	26,6
Proporção acumulada %	49,4	76
Variáveis	Correlação com os componentes principais*	
pH	0,176	-0,543
Ca	-0,421	-0,152
Mg	-0,407	-0,151
H+Al	-0,244	-0,364
K	-0,124	-0,420
P	0,009	0,005
SB	-0,427	-0,169
CTC	-0,420	0,168
V%	0,004	-0,541
MO	-0,439	-0,017

* Coeficientes de correlação com as variáveis originais padronizadas. Números em negrito indicam as variáveis com maior carga fatorial (escores) dentro de cada fator. Critério de classificação: valor absoluto <0,30, considerado pouco significativo; 0,30–0,40, mediamente significativo; e $\geq 0,50$, altamente significativo (COELHO, 2003).

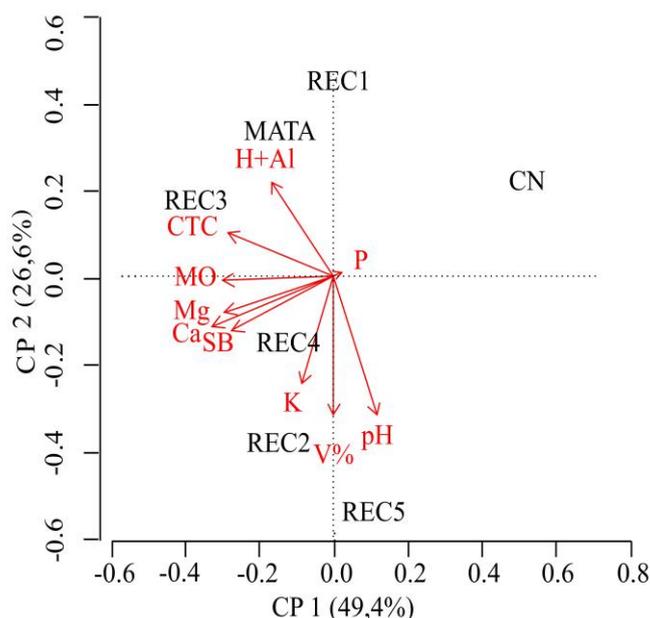


Figura 3 - Biplot dos atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm em áreas com restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa. CP- Componentes principais; REC1- área em restauração ecológica 1; REC2- área em restauração ecológica 2; REC3- área em restauração ecológica 3; REC4- área em restauração ecológica 4; REC5- área em restauração ecológica 5; CN- Cana-de-açúcar; MATA- Fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua.

Analisando a Figura 3 e seus respectivos eixos, no quadrante superior esquerdo da linha vertical encontram-se as áreas em restauração ecológica, REC1 e REC3, e MATA,

enquanto que, no quadrante inferior esquerdo encontram-se REC2 e REC4. As áreas REC5 e CN encontram-se no quadrante direito inferior e superior, respectivamente.

A área em processo de restauração REC3 e a MATA estiveram mais associadas à CTC e ao complexo de acidez (H+Al) do que aos demais atributos químicos do solo, REC5 associou-se com o pH do solo e as áreas REC2 e REC4 associaram-se às variáveis relacionadas à fertilidade do solo, como os cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), SB, MO e V%. A área de cultivo de cana-de-açúcar (CN) apresentou pequena associação com fósforo, contudo, observa-se que este atributo não apresentou importância significativa (Tabela 3) para a explicação dos dados. Contudo, a aplicação de fertilizantes minerais e resíduos orgânicos em áreas de cultivo de cana-de-açúcar promove aumento no teor de fósforo e aumento ou manutenção do nível de potássio no solo (CHERUBIN et al., 2016).

Resultado similar foi encontrado por Oliveira et al. (2015) que também verificaram que áreas de vegetação nativa e agroflorestal apresentaram forte associação com acidez potencial do solo. Em solos naturais ou em processo de recuperação, a acidez potencial do solo pode estar relacionada à lixiviação ou à adsorção de cátions de caráter básico do complexo de troca, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ e, o consequente acúmulo de cátions de natureza ácida, como Al^{3+} e H^+ . Além disso, em solos mais argilosos, como das áreas de estudo, a acidez potencial pode estar relacionada à decomposição da matéria orgânica e dos resíduos vegetais e à ionização de seus ácidos carboxílicos, fenólicos e álcoois terciários no estágio inicial da mineralização, o que contribui para acidez do solo (SOUSA et al., 2007), devido à formação de complexos orgânicos hidrossolúveis entre Ca^{2+} e Mg^{2+} com ligantes orgânicos (MIYAZAWA et al., 1993), facilitando a descida desses cátions no perfil do solo (Franchini et al. 1999), o que ocasiona sua acidificação, comprovada no estudo de Ebeling et al. (2008), que encontraram correlação positiva entre o teor de matéria orgânica e acidez potencial em Organossolo.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que dentre as áreas no processo de restauração ecológica, REC1 apresentou menor correlação com os atributos químicos do solo e maior similaridade com CN, enquanto que as demais áreas em restauração apresentaram maiores correlações com os atributos químicos do solo, o que pode estar relacionado a maior riqueza e diversidade arbórea, corroborando com Caldeira et al. (2008) os quais citam a influência da riqueza arbórea local na fertilidade do solo.

Com a análise de agrupamento hierárquico para o conjunto de atributos químicos estudados, foi possível a divisão de grupos interpretativos (Figura 4). Nesta análise, as áreas em restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa foram agrupadas com base no seu grau de similaridade, classificando-as em grupos homogêneos.

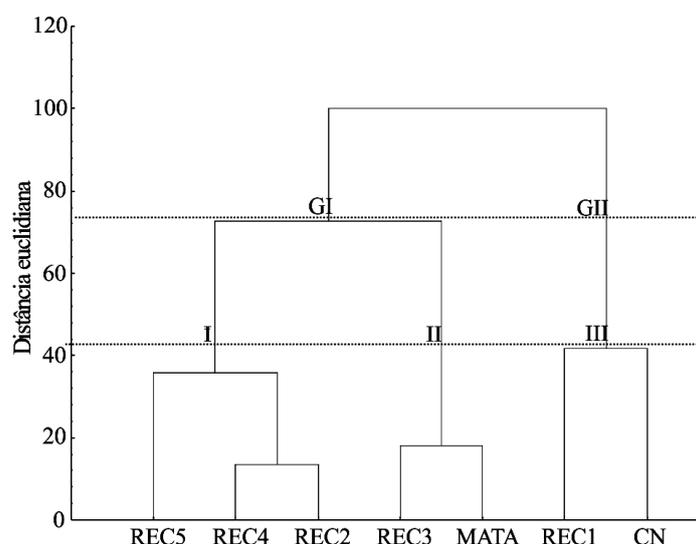


Figura 4- Dendrograma de distância euclidiana com base nos atributos químicos do solo nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar. REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional semidecídua).

Na interpretação da matriz de similaridade entre as áreas foi admitido um corte na distância euclidiana de setenta e dois permitindo uma divisão clara de grupos ordenados através do conjunto dos atributos químicos, constituindo o grupo GI, que engloba os dados que representam as áreas em restauração (REC2, REC3, REC4, REC5) e vegetação nativa (MATA), o grupo GII formado pela área em restauração REC1 e cultivo de cana-de-açúcar (CN). Todavia, ao efetuar um corte na distância euclidiana de quarenta e dois, demonstrando as áreas que apresentam maior similaridade, houve a formação de três grupos, sendo I o grupo formado por REC2, REC4 e REC5, II o grupo representado por REC3 e MATA, III o grupo formado por REC1 e CN. A formação de grupos que apresentam maior grau de similaridade indica que o tempo de resiliência e o manejo do solo podem influenciar no comportamento dos atributos químicos do solo.

Visando estudar o agrupamento das áreas com base no grau de similaridade entre elas sem levar em consideração a separação por camadas, chegou-se à conclusão que, em relação aos atributos químicos do solo, as áreas que estão em processo de

restauração estão respondendo positivamente ao processo de recuperação, pois foi constatado que quatro das cinco áreas em restauração estudadas apresentaram grande similaridade com área de vegetação nativa, fato também encontrado por Caló (2014), estudando os atributos químicos e microbiológicos do solo em áreas em restauração florestal no Espírito Santo e por Yada et al. (2015), ao estudarem os atributos dos solos degradados por mineração de estanho e em recuperação. Entretanto, diferem dos encontrados por Negreiros et al. (2011), estudando a caracterização físico-químico de solos degradados e naturais, que não observaram nenhum tipo de regeneração substancial da vegetação nos locais degradados após décadas de retirada do solo superficial e Freitas et al. (2015) que observaram que a área de vegetação nativa formou um grupo distinto da área de cana-de-açúcar e reflorestada.

Essa separação entre os três diferentes usos do solo (vegetação nativa, restauração ecológica e cultivo de cana-de-açúcar) salienta o fato de que o cultivo de cana-de-açúcar produz uma modificação nos atributos do solo, fazendo com que ele se torne diferente do solo originalmente coberto por vegetação nativa. As diferenças são devidas às variações entre a fertilidade natural da mata e a decorrente de diferentes níveis de adubação da cana, além de haver influência do manejo do solo na implantação e manutenção da cultura, bem como pelo uso de implementos agrícolas.

Essas diferenças de agrupamento são resultado, portanto, das diferenças dos atributos observadas em função do manejo, possibilitando uma análise mais generalizada da qualidade das áreas estudadas. Uma explicação provável para esse resultado deve-se ao fato de o cultivo da cana-de-açúcar promover depreciação da matéria orgânica em função do preparo intensivo do solo e do uso de fertilizantes.

Assim, a análise de componente principal e a análise de agrupamento mostram de forma clara a ligação entre as áreas ou as alterações nos solos quando se aplica um manejo específico. Quando se compara a vegetação nativa (MATA), sendo um ambiente em equilíbrio, com as demais áreas nota-se que algumas das áreas em restauração (REC2, REC3, REC4 e REC5) se encontram mais próximas ou com características similares às da área em equilíbrio. Isso pode demonstrar que o aumento da diversidade vegetal e conseqüentemente, uma maior deposição de resíduos vegetais com composição diversificada pode ser uma prática de restauração viável em áreas degradadas, como também reportado por Polo et al. (2015).

7. CONCLUSÃO

As análises de componentes principais e a classificação hierárquica possibilitaram a caracterização e o agrupamento das áreas em três grupos diferentes, considerando a similaridade entre os atributos químicos do solo e mostrando que pode haver diferença entre a composição química do solo entre as áreas.

Dentre as áreas em restauração ecológica, REC1 apresentou relação negativa com os atributos químicos do solo e maior similaridade com área de cultivo de cana-de-açúcar. Em contrapartida, REC3 apresentou a melhor qualidade química do solo e maior similaridade com área de vegetação nativa, inferindo, desta forma, que o desenvolvimento da cobertura vegetal e a ausência de mecanização foram importantes para promover a melhoria da qualidade do solo. Todavia, espera-se que, a longo prazo, todas as áreas em restauração atinjam seus níveis de estabilidade, sustentabilidade e integridade biológica resgatando assim, os processos ecológicos que auxiliam no reestabelecimento de um ecossistema preservado.

Não se descarta a hipótese de que a REC3 apresentou melhores condições para o estabelecimento da cobertura vegetal em função de sua localização geográfica. Por possuir maior contato e aproximação de borda com a MATA, possivelmente possibilitou maior aporte de material alóctone, quando comparada as demais áreas avaliadas.

8. REFERÊNCIAS

- ALVES, S.M.F.; QUEIROZ, D.M.; ALCÂNTARA, G.R.; REIS, E.F. Variabilidade espacial de atributos físicos-químicos do solo usando técnica de análise de componentes principais e geostatística. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p. 22-30, 2014.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; NICOLAU, E. N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, p. 341-347, 2011.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, v.37, p.1791-1797, 2007.
- AUDEH, S.J.S.; LIMA, A.C.R.; CARDOSO, I.M.; CASALINHO, H.; JUCKSCH, I.J. Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.6, n.3, p. 34-48, 2011.
- BRASIL, Lei N° 12.727, de 17 De Outubro DE 2012. <http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2014/10/Lei-12727-2012-Codigo-florestal.pdf> acesso em: **04/02/2016**.
- CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29, n.1, p. 53-68, 2008.
- CALÓ, L.O. **Atributos químicos e biológicos em áreas de restauração florestal**. Dissertação de mestrado em Ciência Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, 2014, 111 p.
- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 613-622, 2011.
- CARNEIRO, C.E.A.; MELÉM JÚNIOR, N.J.; AZEVEDO, M.C.B.; ANDRADE, E.A.; KOGUSHI, M.S.; DIEHL, R.C.; RICCE, W.S.; PASSARIN, A.L.; VAZ, R.H.M.; STELMACHUK, T.L.L.; GUIMARÃES, M.F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho eutroférrico. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, n.1, p. 5-10, 2009a.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W.C. 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, 2009b.
- CASTILHOS, N.D.B.; MELQUIADES, F.L.; THOMAZ, E.L.; BASTOS, R.O. X-ray fluorescenc and gamma-ray spectrometry combined with multivariate analysis for topographic studies in agricultural soil. **Applied Radiation and Isotopes**. v.95, p. 63-71, 2015.
- CHERUBIN, M.R.; KALEN, D.L.; FRANCO, A.L.C.; CERRI, C.E.P.; TORMENA, C.A.; CERRI, C.C. A soil management assessment framework (SMAF) evolution of brazilian sugarcane expansion on soil quality. **Soil Science Society of America Journal**, v.25, p. 215-226, 2016.
- COELHO, A.M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas**. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME,

- L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVARES V., V.H. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.259-290, 2003.
- CORTEZ, J. W.; FERNANDES, A. L. T.; SILVA, R. P.; CARVALHO FILHO, A.; FURLANI, C. E. A. Métodos multivariados na avaliação dos atributos físicos do solo na cafeicultura irrigada. **Engenharia na agricultura**, v.19, n.2, p. 132-140, 2011.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v.67, n.22, p. 429-439, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997, 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF, EMBRAPA, 2013, 342 p.
- FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p. 2267-2276, 1999.
- FREITAS. L.; CASAGRANDE, J. C.; DESUÓ, I. C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. **Holos Environment**, v.11, n.2, p. 137 - 147, 2011.
- FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, V.M.R. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, v.45, n.2, p. 229-240, 2015.
- JOSÉ, J.V.; REZENDE, R.; FREITAS, P.S.L.; HONGYU, K.; PERBONI, A.; MARQUES, P.A.A.; DIAS, C.T.S.; COELHO, R.D. Análise multivariada e geoestatística de variáveis físico-hídricas de diferentes solos. **Water Resources and Irrigation Management**, v.2, n.3, p. 121-129, 2013.
- KAISER, H. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v.23, n.3, p. 187-200, 1958.
- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. São Paulo: Oficina do Texto, 2011, 208 p.
- LEE, H.; ALDAY, J.G.; CHO, K-H.; LEE, E.J.; MARRS, R.H. Effects of flooding on the seed bank and soil properties in a conservation área on the Han River, South Korea. **Ecological Engineering**, v.70, p. 102-113, 2014.
- LYRA, W. S.; SILVA, E.C.; ARAÚJO, M.C.U.; FRAGOSO, W.D. Classificação periódica: Um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Química Nova**, v.33, p. 1594-1597, 2010.
- MANLY, B.F.J. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3 ed. Porto Alegre: bookman, 2008, 229 p.
- MELÉM JÚNIOR, N.J.; FONSECA, I.C.B.; BRITO, O.R.; DECAENS, T.; CARNEIRO, M.M.; MATOS, M.F.A.; GUEDES, M.C.; QUEIROZ, J.A.L.;

- BARROSO, K.O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29, n.3, p. 499-506, 2008.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.411-416, 1993.
- MORAIS, T. P. S.; PISSARRA, T. C. T.; REIS, F. C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho-Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p. 213 - 223, 2012.
- MOTA, J.C.A.; ALVES, C.V.O.; FREIRE, A.G.; ASSIS JUNIOR, R.N. Uni and multivariate analyses of soil physical indicators of a Cambisol from Apodi Plateau – CE, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.140, p. 66-73, 2014.
- MUELLER, B.C.; PAULA, F.S.; MIRZA, B.S.; RODRIGUES, J. L.M.; NUSSLEIN, K.; BOHANNAN, B.J.M. Links between plant and fungal communities across a deforestation chronosequence in the Amazon rainforest. **The International Society for Microbial Ecology (ISME journal)**, v.8, p. 1548-1550, 2014.
- NASCIMENTO, P. C.; BISSANI, C.A.; LEVIEN, R.; LOSEKANN, M. E.; FINATO, T. Uso da terra e atributos de solos do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.9, p. 920-926, 2014.
- NEGREIROS, D.; FERNANDES, G.W.; BERBARA, R.L.L.; RODARTE, L.H.O.; BARBOSA, N.P.U. Caracterização físico-química de solos quartzíticos degradados e áreas adjacentes de campo rupestre na Serra do Cipó, MG, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, v.6, n.3, p.156-161, 2011.
- OKSANEN, J.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; O'HARA, B. **Community ecology package**: Vegan. Version 1.8.1. 2006. Disponível em: <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/>. Acesso em: 9 out. 2010
- OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; FREITAS, L.; SOARES, M.D.R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta amazônica**, v.45, n.1, p. 1-12, 2015.
- PAYE, H. S.; MELLO, J. W. V.; MELO, S. B. Métodos de Análise Multivariada no Estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade para Elementos-Traço em Solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p. 1031-1041, 2012.
- PEREIRA, A. S.; OLIVEIRA, G. C. de; SEVERIANO, E. da C.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, J. P. de. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um latossolo vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. *Global Science and Technology*. v.3, n.2, p. 87-97, 2010.
- PIOVESAN, P.; ARAÚJO, L. B.; DIAS, C. T. S. Validação cruzada com correção de autovalores e regressão isotônica nos modelos de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa. **Ciência Rural**, v.39, p.1018-1023, 2009.
- POLO, M.G.; KOWALJOW, E.; CASTÁN, E.; SAUZET, O.; MAZZARINO, M.J. Persistent effect of organic matter pulse on a Sandy soil of semiarid Patagônia. **Biology and Fertility of Soil**, v.51, n.2, p. 241-249, 2015.
- PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p. 575 - 585, 2010.

- PRAGANA, R. B; RIBEIRO, M.R; NÓBREGA, J. C. A; RIBEIRO FILHO, M.R; COSTA, J. A. Qualidade física de latossolos amarelos sob Plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1591-1600, 2012.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. 409p.
- RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007.
- ROSENBURGH, A.; ALDAY, J.G.; HARRIS, M.P.K.; ALLEN, K.A.; CONNOR, L.; BLACKBIRD, S.J.; EYRE, G.; MARRS, R.H. Changes in peat chemical properties during post-fire succession on blanket bog moorland. **Geoderma**, v.211-212, p. 98-106, 2013.
- ROVEDDER, A.P.M.; ALMEIDA, C.M.; ARAUJO, M.M.; TONETTO, T.S.; SCOTTI, M.S.V. Relação solo-planta em remanescente da floresta estacional decidual na Região Central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.44, n.12, p. 2178-2185, 2014.
- SILVA A.F.; BARBOSA, A.P.; ZIMVACK, C.R.L.; LIMA, J.S.S.; LANDIM, P.M.B. Análise multivariada na diferenciação entre manejos do solo cultivado com café. **Revista Energia na Agricultura**, v.29, n.1, p. 57-63, 2014.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C. TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 15-22, 2010.
- SOBRAL, A.C.; PEIXOTO, A.S.P.; NASCIMENTO, V.F.; RODGERS, J.; SILVA, A.M. Natural and anthropogenic influence on soil erosion in a rural watershed in the Brazilian southeastern region. **Regional Environmental Change**, v.15, n.4, p. 709-720, 2015.
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correlação. IN:NOVAIS, R.F., et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017 p.
- TEFERI, E.; BEWKWT, W.; SIMANE, B. Effects of land use and land cover on selected soil quality indicators in the headwater área of the Blue Nile basin of Ethiopia. **Environmental Monitoring and Assessme**, v.188, n.2, p. 83-94 2016.
- YADA, M.M.; MINGOTTE, F.L.C.; MELO, W.J.; MELO, G.P.; MELO, V.P.; LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.I. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema amazônico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.39, p. 714-724, 2015.

CAPÍTULO 3 - BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS.

RESUMO

O estado de equilíbrio de um ecossistema pode ser profundamente modificado pelo uso intensificado de seus recursos, que pode resultar em alterações significativas na microbiota do solo. Assim, os atributos microbiológicos do solo foram utilizados como indicadores de qualidade ambiental e avaliados frente a diferentes áreas de coberturas vegetais, sendo cinco áreas em restauração ecológica (REC1-5), uma área com vegetação nativa (MATA) e uma de cultivo de cana-de-açúcar (CN), todas localizadas numa região de transição entre os Biomas Cerrado-Mata Atlântica. Os atributos microbiológicos avaliados foram: Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente microbiano (q_{MIC}) e quociente metabólico (q_{CO_2}). O parâmetro C-BMS não diferiu entre a MATA e as RECs, ou entre CN e as RECs sugerindo a influência, interação ou sinergismo entre fatores. A análise da matriz de similaridade por meio da distância euclidiana aplicada aos dados de atributos microbiológicos permitiu a distinção de CN em relação às demais formas de manejo do solo sendo, portanto, mais eficiente como ferramenta na caracterização do ambiente. Dentre as áreas em restauração ecológica, REC2 e REC3 apresentaram condições microbiológicas com maior similaridade em relação à área de vegetação nativa (MATA), o que pode ser indicativo de melhoria na qualidade do solo e consequentemente, do aumento na diversidade da comunidade edáfica.

PALAVRAS-CHAVE: Atividade edáfica, Microbiologia do solo, Restauração.

ABSTRACT

The ecosystem steady can be profoundly modified by the intensified use of its resources, which can result in significant changes in the soil microbiota. Soil microbiological attributes were used as environmental quality indicators and evaluated against different vegetation cover areas, five ecological restoration areas (REC1-5), an area with native vegetation (MATA) and a sugarcane crop (CN), all located in a transition region between the Cerrado-Mata Atlântica Biomes. The microbiological attributes evaluated were: soil microbial biomass carbon (C-BMS), basal respiration (C-CO₂), microbial quotient (qMIC) and metabolic quotient (qCO₂). The C-BMS parameter did not differ between MATA and RECs, or between CN and RECs suggesting the influence, interaction or synergism between factors. The similarity matrix analysis through the Euclidean distance applied to the data of microbiological attributes allowed the distinction of CN in relation to the other forms of soil management, being therefore more efficient as a tool in the environment characterization. Among the areas in ecological restoration, REC2 and REC3 presented microbiological conditions with greater similarity to the native vegetation area (MATA), which may be indicative of an improvement in soil quality and, consequently, an increase in the edaphic community diversity.

KEY WORDS: Edaphic activity, soil microbiology, restoration.

9. INTRODUÇÃO

A necessidade de produção de alimento e bens de consumo em quantidade suficiente para suprir a demanda crescente das populações incorre, por um lado, no aumento na eficiência das tecnologias agrícolas, bem como a abertura de novas frentes para o desenvolvimento das atividades agrícola e pecuária. O uso e manejo dos solos para tais fins, além da supressão da cobertura vegetal nativa, quando inadequados, acarretam em inúmeros problemas ambientais, como a degradação edáfica e poluição dos corpos d'água associados.

O Capítulo III-A do Código Florestal brasileiro em sua recente versão (Lei 12.727 de 17 de Outubro de 2012) trata já em Caput (Art. 41) sobre a necessidade de adoção de tecnologias e boas práticas a fim de conciliar a produtividade agropecuária e florestal, com redução dos impactos ambientais, sendo passíveis de pagamento ou incentivo, os serviços ambientais, programas e projetos voltados para esta finalidade. Dentre as atividades descritas no referido artigo, destaca-se a conservação e o melhoramento do solo (BRASIL, 2012). O atendimento ao que preconiza a legislação vigente depende de conhecimento gerado a fim de entender a dinâmica dos processos que ocorrem no sistema solo, colaborando desta forma com a adoção de práticas conservacionistas e de restauração em ambientes degradados.

A restauração de áreas degradadas envolve uma série de medidas que buscam, inicialmente, minimizar os efeitos da degradação e, posteriormente, implantar metodologias corretivas, visando o restabelecimento de aspectos estruturais e funcionais do ambiente. Antes da adoção das diferentes medidas mitigadoras é de extrema importância a avaliação dos atributos edáficos, pois estes retratam o diagnóstico atual do solo e possibilitam seu monitoramento. Isto permite inferir se os métodos empregados estão adequados às condições específicas da atividade e da região (AUDEH et al., 2011), sobretudo quando o zoneamento agroecológico já está definido (OLIVEIRA et al., 2011; GRAU et al., 2013; CEREDA JUNIOR & RÖHM, 2014).

O sucesso dos programas de restauração ecológica não pode ser avaliado apenas pela velocidade em que se forma a cobertura vegetal, mas também pela avaliação e monitoramento dos diferentes atributos do solo os quais são empregados como indicadores de qualidade e/ou degradação ambiental. Os indicadores físicos e químicos são comumente os mais utilizados para avaliar a qualidade do solo (CRITTENDEN et al., 2015; MOLINE & COUTINHO, 2015). Todavia, os atributos microbiológicos do

solo são mais sensíveis a alterações quando o solo está sujeito às diferentes formas de manejo, podendo estes serem considerados melhores indicadores de qualidade do solo (SOUZA et al., 2012). Estudos mostraram que a determinação da biomassa do solo permite avaliação mais rápida e precoce de suas alterações, quando comparado aos atributos químicos e físicos (EMMERLING et al., 2002; HUNGRIA et al., 2009;. KASCHUK et al., 2010).

Dentre os atributos microbiológicos, a biomassa microbiana do solo (C-BMS) é um importante parâmetro de ciclagem de nutrientes nos ecossistemas, pois representa a fração da matéria orgânica do solo (MOS) que é mais rapidamente decomposta (Rangel-Vasconcelos et al., 2015).

A respiração basal (C-CO₂) reflete a velocidade de decomposição de um resíduo orgânico adicionado ao solo. Quando a atividade microbiana é alta ocorre maior decomposição e, conseqüentemente, liberação de nutrientes para as plantas; porém, também pode significar perdas de C do solo, em longo prazo (SOUZA et al., 2010).

No geral, informações sobre as mudanças no carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC) podem explicar os processos ecológicos do ambiente. Compreender o comportamento e a dinâmica dos microrganismos do solo ajuda a avaliar as práticas de uso do solo que mantêm e/ou melhoram a qualidade deste ao longo do tempo. Isto porque as mudanças na atividade microbiana e na composição das comunidades microbianas influenciam diretamente sua fertilidade, bem como o crescimento das plantas e a ciclagem de nutrientes (CRECCHIO et al., 2007, CHEN et al., 2014).

Diante disto, a hipótese deste trabalho é que as ações de plantio de espécies nativas e regeneração natural efetuadas nas áreas em restauração ao longo de cinco anos de intervenção, estejam correlacionadas às alterações nos atributos microbiológicos do solo. Assim, utilizando-se de análises de variância, multivariada e análise de agrupamento a partir de dados dos atributos microbiológicos foi discutida a qualidade do solo em áreas com distintas coberturas vegetais como forma de contribuição ao seu manejo.

10. MATERIAL E MÉTODOS

10.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi conduzido no município de Rio Brillhante, de Mato Grosso do Sul (21°48' S/ 44°32' W). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico típico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). De acordo com o sistema de classificação köppen (Cwa), o clima é caracterizado como mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos. As áreas de estudo consistiram em um remanescente de vegetação nativa, com fitofisionomia florística de floresta semidecidual em área de transição entre Cerrado e Mata Atlântica, que foi adotada como área testemunha e identificada como MATA, cinco áreas em restauração ecológica Estado (identificadas como REC1 a REC5) e uma área de cultivo de cana-de-açúcar (CN) (Figura 5).

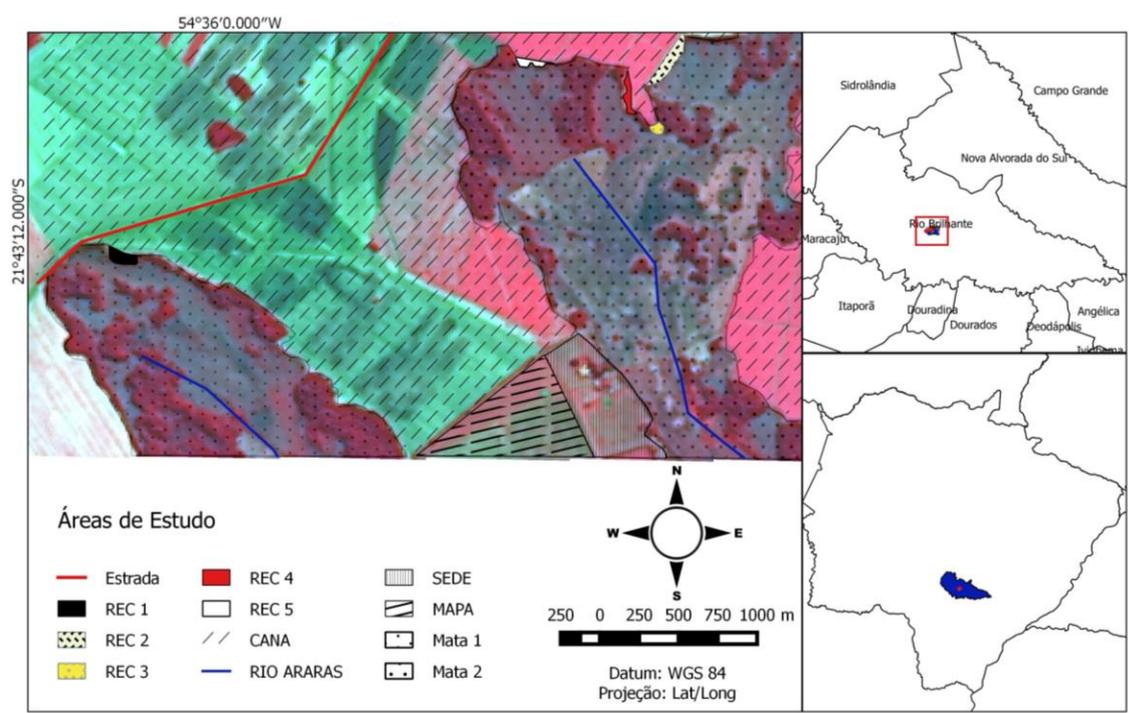


Figura 5-- Mapa de localização elaborado no Quantum QGIS 14.2- Elaborado por Leonardo Lima dos Santos, 2015.

As áreas em restauração foram estabelecidas originalmente em formação de floresta Estacional semidecidual sendo estas substituídas por pastagem (*Brachiaria brizantha*) manejadas num período de dez anos e, posteriormente por cana-de-açúcar num período de 2 anos. Após este período, as áreas foram destinadas à recuperação ambiental, sofrendo intervenções como plantio heterogêneo com espécies florestais nativas (REC2) ou destinadas à regeneração natural nos últimos cinco anos, contados até o momento da coleta. Devido à localização os fragmentos destinados à restauração

(REC1 a REC5), nos quais se verificou o plantio de espécies nativas florestais, tais como *Myracrodruon urundeuva*, *Schinus terebinthifolia*, *Handroanthus avellanadae*, *Machaerium stipitatum* e *Dabergia miscolobium*, entre outras, na área identificada como REC2 e regeneração natural nas demais áreas (RECs 1,3,4 e 5). Em todas as áreas não houve intervenção mecânica ou aplicação de fertilizantes.

O plantio da cana-de-açúcar (RB86 – 7515) foi realizado com preparo convencional do solo utilizando duas gradagens (grades aradoras), uma subsolagem até a profundidade de 0,45 m e uma gradagem niveladora. Foi utilizado fertilizante mineral NPK (05-15-10) durante o plantio da cultura, e nos cortes anuais a reposição foi feita utilizando fertilizante mineral NPK (30-05-25) na linha da cultura. Nos tratos culturais da cana soca foram realizadas operações de cultivo entre linhas da cultura, visando minimizar os efeitos da compactação do solo causada pelo intensivo tráfego de máquinas na colheita. Na época de amostragem (período chuvoso 2014), a cultura de cana-de-açúcar encontrava-se no quarto corte de colheita mecanizada.

A análise química e os dados termopluviométricos das áreas avaliadas estão apresentados na tabela 1 e Figura 6, respectivamente.

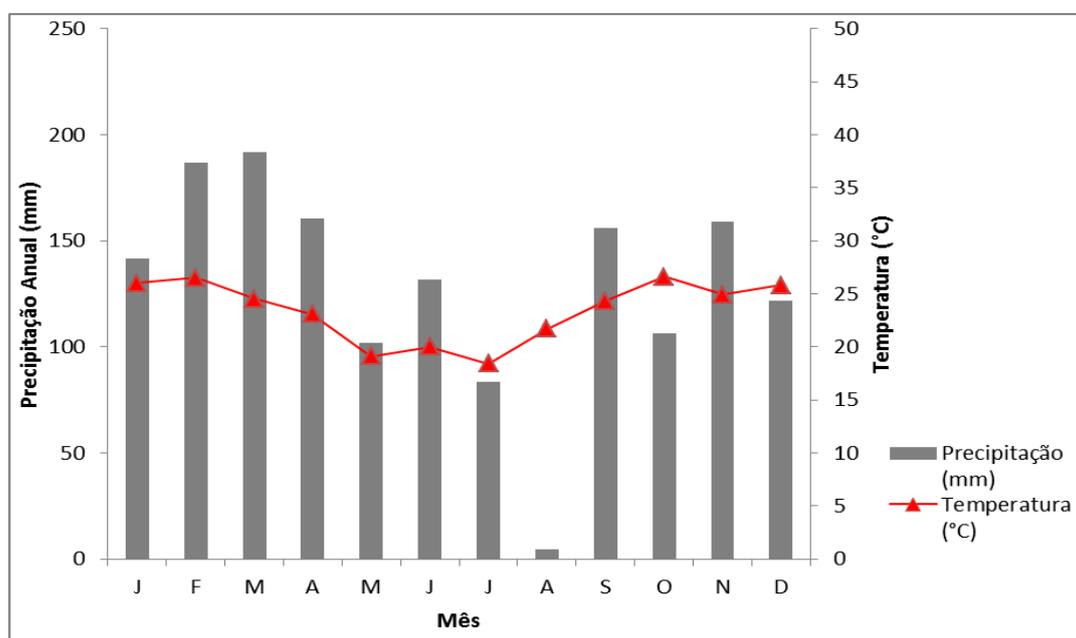


Figura 6-Valores médios mensais de precipitação pluvial das áreas avaliadas. As letras representam as iniciais de cada mês, de janeiro a dezembro. Dados Adaptados de EMBRAPA-CPAO, Dourados, MS, 2014.

10.2 Amostragem

Para avaliação dos atributos microbiológicos do solo, amostras foram coletadas com auxílio de um trado holandês nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, com quatro repetições compostas aleatórias em cada área e camada seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC). As amostras foram armazenadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas ao laboratório de microbiologia de solo da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

10.3 Procedimentos laboratoriais

O preparo do solo para as análises microbiológicas foi feito por meio de tamisagem em peneira com malha de 2 mm, retirando as raízes e os resíduos visíveis de plantas e animais do solo e umedecido com água destilada até 40-60% da capacidade máxima de retenção de água (capacidade de campo), ficando armazenado em um recipiente fechado por cerca de 24 horas.

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi avaliado pelo método da fumigação-extração, que se baseia no fato do carbono dos microrganismos mortos pela fumigação ser liberado para o solo, de onde é possível extraí-lo quimicamente (VANCE et al., 1987). Para sua determinação, duas sub-amostras de 20 g cada (uma para fumigar e uma para não fumigar), derivadas da amostra original, foram postas em frascos cilíndricos de vidro (snaps). As amostras destinadas à fumigação foram colocadas em um dessecador, por 24 horas em uma sala escura com temperatura por volta dos 30°C, juntamente com um frasco contendo 20 ml de clorofórmio puro e analítico (CHCl_3) para matar os microrganismos presentes no solo. As amostras não fumigadas passaram por todo o procedimento, porém, não se adicionou clorofórmio.

Decorridas as 24 horas, foi removido com uma bomba de vácuo o vapor do clorofórmio remanescente contido no dessecador. Aos frascos removidos foram adicionados 50 ml de sulfato de potássio (K_2SO_4) a 0,5 mol/l e pH a 6,5- 6,8. Estes, por sua vez, foram tampados e acondicionados em suporte específico para serem submetidos à agitação (250 rpm) durante 30 minutos. Após este período de tempo, os frascos foram retirados do suporte e reservados para decantação por, no mínimo, vinte minutos. Com auxílio de uma pipeta (capacidade de 10 ml, com divisões de 0,1 ml), foi retirada uma alíquota de aproximadamente 20 ml do líquido sobrenadante da amostra e, sem seguida, transferida para o papel-filtro, dobrado na forma de cone, sobre o

erlenmeyer. Após ser filtrado, foi retirado, com auxílio de uma pipeta, uma alíquota de 2 ml do líquido filtrado da amostra e transferido para um tubo de ensaio de 20 ml.

Para preparação da amostra para a leitura foi adicionado, em ordem, 3 ml de água deionizada, 2,5 ml de solução de trabalho e 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). Após este processo, as amostras foram agitadas e deixadas em repouso por 2 horas. A leitura da absorbância da curva padrão e das amostras foi feita em um espectrofotômetro utilizando um comprimento de ondas de 495 nm.

O cálculo da concentração de carbono foi feito utilizando a equação da reta encontrada, obtida a partir da curva padrão, seguindo a Equação 2.

$$C \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = ((\text{Absorb} - a)/b) * (V/P) * F \quad (2)$$

Na qual o C refere-se à concentração de carbono; “Absorb” a absorbância da amostra analisada; “a” o intercepto da reta encontrada na curva padrão; “b” o coeficiente da declividade da reta; “V” o volume usado na concentração; “P” peso do solo seco e “F”, o fator de diluição.

O cálculo do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi obtido segundo a Equação 3, utilizando um fator de correção Kc = 0,33.

$$C\text{-BMS} = (C(\text{amostras fumigadas}) - C(\text{amostras não fumigadas}))/0.33 \quad (3)$$

A respiração basal (C-CO₂) ou taxa de respiração microbiana foi estimada pela evolução da liberação de CO₂ do solo incubado ao longo de sete dias de medições, em NaOH (hidróxido de sódio), pela adaptação do método da fumigação-incubação, proposto por Jenkinson & Powlson (1976).

Para isso, 50 g do solo tamizado em peneira com malha de 2 mm e umedecido com água destilada até 40-60% da capacidade máxima de retenção de água (capacidade de campo) foi colocado em frascos cilíndricos de vidro (snaps). Cada frasco foi colocado em embalagens herméticas de 500 ml, com um frasco contendo 10 ml de uma solução de hidróxido de Sódio (NaOH) (1N), a qual teve a função de absorver o CO₂ liberado pelo solo, sendo lacrados e incubados por sete dias.

Após o período de incubação, procedeu-se a titulação do excedente de NaOH com solução de HCl 0,5 mol/l, com adição de 2 ml de solução saturada de BaCl₂ a 10 % e 2 gotas de solução alcoólica a 1% de fenolftaleína (indicador) para a precipitação de Na₂CO₃, anotando-se a quantidade de HCl gasto na titulação.

O cálculo da respiração basal foi obtido pela Equação 4.

$$C-CO_2(\mu g) = (BR - HCl) \times 0,5 \times 40 \times (44/80) \times 1000 (12/44) / PS 50g/7 \quad (4)$$

Em que:

(BR-HCl): indica, indiretamente, a presença da espécie química (CO₂) que reage com o NaOH;

0,5: normalidade do HCl (meq-g/ml);

(BR-HCl)x0,5 = número de equivalentes do HCl correspondentes à espécie química (CO₂) que reagem com o NaOH;

40: meq-g do NaOH (mg);

[(BR-HCl)x0,5]x40 = massa (mg) do NaOH que reage com a espécie química (CO₂);

1 CO₂ + 2 NaOH = 1 Na₂CO₃ + 1 H₂O;

44/80: CO₂/NaOH (massa de CO₂ que reage com NaOH)

1000 = 1 mg = 1000 microgramas

Br = Amostra em branco

HCl = solução de HCl a 0,5N gasto na titulação

7 = dias de incubação

Após a realização das análises de C-BMS e C-CO₂ evoluído, foram determinados os quocientes metabólico (*q*CO₂), obtidos a partir da relação C-CO₂/C-BMS, e microbiano (*q*MIC), pela equação C-BMS/COT(Carbono Orgânico Total) x 100 (ANDERSON & DOMSCH, 1990).

10.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk para verificação da normalidade e ao teste de Levene para verificação da homocedasticidade. Os dados que apresentaram normalidade e homocedasticidade foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Os resultados obtidos também foram submetidos à análise multivariada, dentre as quais, a análise de agrupamento (*cluster analysis*), tendo-se adotado o método do vizinho mais distante (*complete linkage*), a partir da distância euclidiana, para descrever a similaridade entre os sistemas avaliados.

11. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC) estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC) das áreas em restauração ecológica (RECs), cultivo de cana-de-açúcar (CN) e vegetação nativa (MATA) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm.

Área	C-BMS μg C g ⁻¹ solo seco	C-CO ₂ μg C-CO ₂ g ⁻¹ solo dia ⁻¹	qCO ₂ μC-O ₂ μg ⁻¹ / C-BMS h ⁻¹	qMIC %
Camada 0-10 cm				
REC 1	406,44 ab ± 21,14	31,67 a ± 2,01	32,46 a ± 1,20	1,35 a ± 0,14
REC 2	465,46 a ± 20,64	28,36 a ± 4,45	25,92 a ± 4,97	1,28 a ± 0,10
REC 3	389,25 ab ± 55,74	26,14 a ± 4,56	29,56 a ± 4,45	1,08 a ± 0,08
REC 4	461,22 a ± 21,03	33,89 a ± 2,83	30,88 a ± 3,11	1,31 a ± 0,04
REC 5	251,00 b ± 33,13	23,04 a ± 1,77	41,72 a ± 8,85	0,86 a ± 0,11
CN	309,34 ab ± 8,01	29,07 a ± 6,94	38,79 a ± 8,49	1,25 a ± 0,06
MATA	394,63 ab ± 71,43	32,80 a ± 5,25	38,05 a ± 7,78	1,02 a ± 0,18
Camada 10-20 cm				
REC 1	310,33 a ± 20,86	25,74 a ± 3,84	35,22 a ± 5,78	1,14 b ± 0,06
REC 2	336,56 a ± 46,50	26,01 a ± 1,72	35,12 a ± 7,11	1,07 b ± 0,14
REC 3	302,23 a ± 16,58	29,10 a ± 5,62	39,88 a ± 6,76	0,93 b ± 0,03
REC 4	372,60 a ± 61,88	27,87 a ± 1,96	35,08 a ± 8,74	1,22 ab ± 0,20
REC 5	296,23 a ± 23,77	25,76 a ± 0,53	34,15 a ± 3,90	1,08 b ± 0,06
CN	396,14 a ± 39,09	30,77 a ± 6,16	39,55 a ± 1,92	1,71 a ± 0,14
MATA	317,60 a ± 25,13	38,27 a ± 6,47	49,19 a ± 5,12	1,12 b ± 0,07

REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua. Médias seguidas com a mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ± Erro padrão.

Os teores de C-BMS, na camada 0-10 cm, foram mais elevados nas áreas REC2 e REC4, diferindo estatisticamente de REC5. Assim, a microbiota do solo nesses sistemas naturais é favorecida pela cobertura vegetal, que tende a proporcionar melhora no microclima (AZAR et al., 2013) maior acúmulo de material orgânico e, consequentemente, maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento das comunidades microbianas (PAREDES JR. et al., 2013), pois segundo Lisboa et al. (2013), a cobertura vegetal e os atributos químicos do solo podem afetar a atividade microbiana de forma independente.

Na camada 10-20 cm, não houve diferença significativa nos teores de C-BMS entre as áreas avaliadas. Teores elevados de C-BMS em áreas de cultivo de cana-de-açúcar podem estar relacionados ao acúmulo de resíduos culturais remanescentes dos cultivos anteriores, as características intrínsecas da cultura, pelas substâncias orgânicas produzidas, especialmente pelas raízes (BELO et al., 2012), bem como pelas condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da população microbiana, como elevação da temperatura do ar e a precipitação (OLIVEIRA et al., 2014a).

De maneira geral, a riqueza e abundância de espécies arbóreas como cobertura dos solos implica na deposição contínua de substratos orgânicos com composição variada na serapilheira, o que tende a favorecer os maiores teores de biomassa microbiana (SOUZA et al., 2012), além disso, a maior densidade e complexidade da cobertura vegetal propicia a heterogeneidade das fontes de carbono, formação de nichos ecológicos com condições diferenciadas de luminosidade, temperatura e umidade relativa com implicações sobre a atividade e a estabilidade da comunidade microbiana (CHAER & TÓTOLA, 2007; ALVES et al., 2011; CUNHA et al., 2012).

Neste estudo, mesmo considerando a distinção nos valores médios da maioria das variáveis químicas descritas na Tabela 1, o fato da C-BMS não diferir entre a MATA e as RECs sugere a influência ou interação destes ou outros fatores além da cobertura vegetal, passíveis também de justificar as diferenças observadas entre as RECs. Estudos relatam (BALDRIAN et al., 2008) uma tendência de aumento da biomassa microbiana durante a fase inicial da sucessão, após esse período os teores de nutrientes geralmente diminuem e a biomassa microbiana pode declinar ou permanecer constante.

Cherubin et al. (2016), enfatizaram que a conversão da vegetação nativa por pastagem levou a redução dos teores de C-BMS devido a redução de COT. Contudo, neste trabalho, embora a conversão da vegetação nativa tenha acarretado em diminuição na concentração de COT, não foi verificado redução no C-BMS. Ainda, os resultados encontrados estão condizentes aos estudos de Lopes et al. (2013), que definiram valores de C-BMS $> 375 \text{ mg kg}^{-1}$ como alto em Latossolo argiloso no Cerrado Brasileiro.

Os atributos microbiológicos em geral refletem as condições do ambiente para o desenvolvimento dos microrganismos do solo. Áreas com valores mais elevados dos teores de C microbiano implicam em maior imobilização temporária de nutrientes devido a maior quantidade de matéria orgânica ativa no solo capaz de manter a decomposição dos resíduos vegetais. Sistemas cultivados geralmente exibem níveis mais baixos de C-BMS do que solos sob vegetação nativa (KASCHUK et al., 2010),

entretanto, este fato não foi observado no presente trabalho, pois sistema de cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa não diferiram estatisticamente.

A estrutura da comunidade edáfica (RACHID et al., 2013), a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais disponíveis à microbiota do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 2008b) tendem a apresentar uma composição mais variada em sistemas naturais. Além disso, o aumento da heterogeneidade vegetal é um importante indutor das respostas das comunidades microbianas às alterações ambientais podendo aumentar a sustentabilidade dos agroecossistemas (LISBOA et al. 2014), considerando ainda que fatores como a grande quantidade de raízes e a maior quantidade de água retida no solo sob vegetação nativa, estimulam a manutenção da microbiota do solo e maior heterogeneidade das comunidades microbianas (RODRIGUES et al., 2013).

Os resultados de respiração basal (liberação de C-CO₂) obtidos pela análise de variância indicaram que não houve diferença significativa entre as áreas estudadas em ambas as camadas, corroborando com Alves et al. (2011) e Rodrigues et al. (2015), estudando a biomassa microbiana do solo em diferentes sistemas.

Valores mais elevados de C-CO₂ implicam em maior atividade biológica que está diretamente relacionada com a disponibilidade de carbono do solo e/ou da biomassa microbiana (MERCANTE et al., 2006). Assim, uma alta taxa de respiração pode ser interpretada como uma característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas. No entanto, uma alta atividade respiratória também implica em decomposição intensa da matéria orgânica estável (fração húmica), levando ao comprometimento de processos físicos e químicos do solo (ROSCOE et al., 2006). Por outro lado, a redução da taxa de respiração basal pode estar relacionada com a maior eficiência de utilização de carbono pela biomassa microbiana, resultando em menores perdas para a atmosfera (PADILHA et al., 2014).

Os resultados de carbono da biomassa microbiana e respiração basal encontrados no presente trabalho corroboram com os observados por Sousa et al. (2015), no qual não encontraram diferença significativa em seus teores ao comparar sistema de produção agrícola, pastagem e vegetação nativa em uma região de Cerrado. Os altos valores de respiração basal encontrados nas áreas podem estar relacionados à grande diversidade de espécies com sistemas radiculares diversos que tente a promover maior aeração e oxigenação do solo e aumentar a absorção de nutrientes através dos resíduos e exsudato produzido por diferentes espécies de plantas (MAZZETTO et al., 2016).

É importante observar, contudo, que uma elevada respiração basal pode sugerir a presença de agentes estressantes (YADA et al., 2015), motivo pelo qual é sempre importante considerar os valores de quociente metabólico ou taxa de respiração específica (qCO_2), que representa a quantidade de C- CO_2 liberada por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo (MERCANTE et al., 2008), assim verificou-se, pela análise de variância, que não houve diferença significativa nos teores de qCO_2 entre as áreas avaliadas em ambas as camadas, corroborando com Yada et al. (2015), ao analisar os atributos de solos degradados por mineração de estanho em fase de recuperação em ecossistema Amazônico.

Uma biomassa mais eficiente na conversão de carbono orgânico em tecido microbiano seria aquela que perderia menos carbono na forma de CO_2 pela respiração e incorporaria mais C aos tecidos microbianos (ROSCOE et al., 2006, BARBOSA, 2010). Assim, pressupõe-se que, ao comparar o ambiente cultivado e preservado, ambos (CN e MATA) sejam menos eficientes na conversão de C em tecido microbiano nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm, respectivamente. Nessas condições, ocorre maior gasto de energia para manutenção da comunidade microbiana e os microrganismos tendem a consumir mais substrato para sobreviver (CARNEIRO et al., 2008). Em áreas sob vegetação nativa isso pode indicar que as comunidades microbianas estejam em estágio inicial de desenvolvimento, com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos. Já em área de cultivo, além desse fator, pode também ser indicativo de que as populações microbianas estejam sob algum tipo de estresse metabólico (ANDERSON & DOMSH, 1993). Em nosso estudo, esta pode não ser a explicação para MATA, posto que o ambiente estudado é constituído por floresta semidecidual em estádios avançados no processo sucessional restando, portanto, o componente edáfico como principal elemento a influenciar os parâmetros microbianos (BÖHME & BÖHME, 2006; SANTOS & MAIA, 2013; DICK & SCHUMACHER, 2015).

No geral, espera-se que ecossistemas perturbados ao serem abandonados ou em regeneração reflitam numa diminuição dos teores de qCO_2 ao longo do tempo, indicando que o ecossistema tende à estabilidade durante os estágios sucessionais.

Fatores de estresse ou condições desfavoráveis presentes no solo (SOUZA et al., 2006), como metais pesados, limitações de nutrientes e baixo pH, podem reduzir a eficiência microbiana em converter o carbono assimilado em nova biomassa, já que uma maior parte desse carbono deverá ser utilizada para fornecer energia (e portanto ser respirada como CO_2) para processos metabólicos necessários à manutenção do

equilíbrio celular. Ao contrário, à medida que determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos carbono é perdido como CO₂ (LOURENTE et al., 2011) pela respiração e maior proporção de carbono é incorporada aos tecidos microbianos. Dessa forma, baixos valores de quociente metabólico indicam ambientes mais estáveis, ou mais próximos do estado de equilíbrio (INSAM & DOMSCH, 1988; MENDES et al., 2011).

O índice obtido por meio da relação C-BMS/C orgânico total, denominado quociente microbiano (*q*MIC), tem sido utilizado para avaliar a qualidade da matéria orgânica do solo. Quanto maior for essa relação, melhor é a eficiência dos microrganismos em fixar o carbono no solo. Entretanto, Balota et al. (1998), enfatizam que solos com valores altos e baixos pode representar acúmulo ou perda de carbono do solo. Ao analisar o resultado da análise de variância obtida neste trabalho, foi observado, na camada 0-10 cm, que não houve diferença significativa entre as áreas avaliadas. Na camada de 10-20 cm, os maiores teores foram observados em REC4 e na área sob cultivo de cana-de-açúcar (CN), que diferiu estatisticamente das áreas em restauração ecológica (REC1, REC2, REC3 e REC5) e vegetação nativa (MATA). Mazzetto et al. (2016), estudando a atividade da biomassa microbiana alterada pelo uso do solo na Amazônia, reportaram maiores valores do quociente microbiano em áreas cultivadas seguido da vegetação nativa.

No presente estudo, todas as áreas avaliadas, em ambas as camadas, apresentaram valores de quociente microbiano próximos de 1%. Valores acima de 1% estão dentro da faixa verificada em ambiente com maior conservação do solo, como sistemas naturais (ROSCOE et al., 2006), refletindo em condições mais apropriadas para o desenvolvimento microbiano, as quais podem decorrer da adição de matéria orgânica de boa qualidade ou da eliminação do fator limitante (CHAER & TÓTOLA, 2007).

Com a análise de agrupamento hierárquico para o conjunto de atributos microbiológicos (C-BMS, C-CO₂, *q*CO₂ e *q*MIC) estudados, foi possível a divisão de grupos interpretativos (Figura 7). Nesta análise, as áreas em restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, classificando-as em grupos homogêneos.

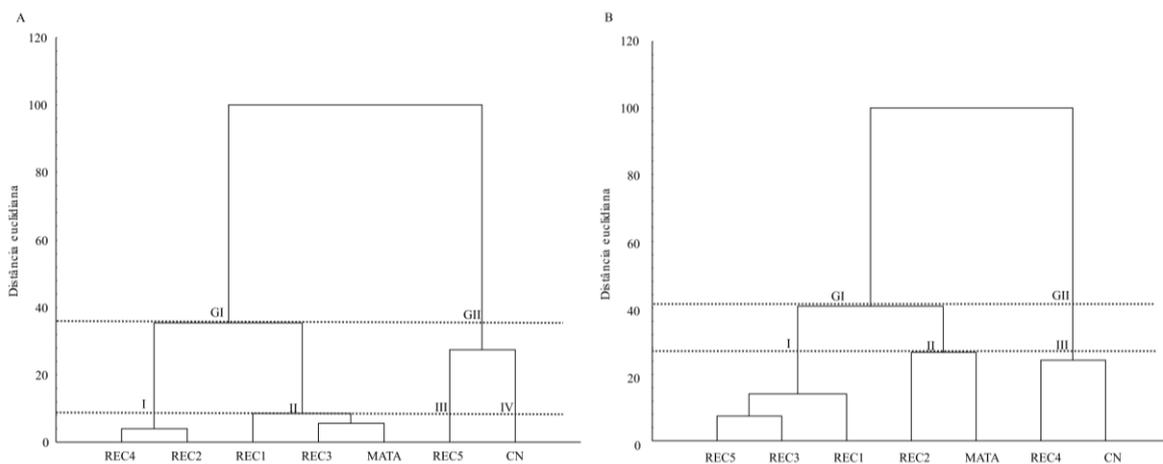


Figura 7- Dendrograma das distâncias euclidianas dos atributos microbiológicos do solo. A – camada 0-10 cm, B –camada de 10-20 cm; nas áreas em restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa. REC1: área em restauração ecológica 1; REC2: área em restauração ecológica 2; REC3: área em restauração ecológica 3; REC4: área em restauração ecológica 4; REC5: área em restauração ecológica 5; CN: área de cultivo de cana-de-açúcar; MATA: remanescentes de floresta estacional semidecidual.

Na interpretação da matriz de similaridade entre as áreas foi admitido, na camada de 0-10 cm (Figura 7A), um corte na distância euclidiana de quarenta permitindo uma divisão clara de grupos ordenados através do conjunto dos atributos microbiológicos, constituindo o grupo GI, que engloba os dados que representam as áreas em restauração (REC1, REC2, REC3, REC4) e vegetação nativa (MATA), o grupo GII formado pela área em restauração (REC5) e cultivo de cana-de-açúcar (CN). Todavia, ao efetuar um corte na distância euclidiana de vinte, demonstrando as áreas que apresentam maior similaridade, houve a formação de quatro grupos, sendo I o grupo formado por REC2 e REC4, II grupo representado por REC1, REC3 e MATA, III grupo que representa a área de restauração (REC5) e IV grupo da área de cultivo de cana-de-açúcar (CN).

Em relação à camada 10-20 cm (figura 7B), foi admitido que um corte na distância euclidiana de quarenta e quatro permite a formação de dois grupos interpretativos, sendo GI, constituído pelas áreas REC1, REC2, REC3, REC5 e MATA e GII pelas áreas REC4 e CN. Contudo, um corte na distância de trinta promove a formação de três grupos com maior similaridade, sendo I o grupo formado por pelas áreas em restauração REC1, REC3 e REC5, II o grupo representado pelas áreas REC2 e MATA e o grupo III formado pelas áreas REC4 e CN.

Em linhas gerais CN constituiu o grupo vizinho mais distante das RECs ao passo que MATA permaneceu agrupada entre as RECs, figurando como vizinho mais próximo de REC2 na profundidade 10-20 cm. Exceto para REC5 na camada 0-10 cm e REC4 na camada 10-20 cm, o maior isolamento de CN em relação à MATA e às demais

RECs sugere que o manejo pode influenciar no comportamento dos microrganismos do solo, sendo que a maior similaridade no componente microbiológico do solo entre REC2 e MATA reforçaria que as intervenções de restauração, por meio do aumento da diversidade do componente de cobertura vegetal poderiam contribuir para este efeito.

O fato de que, em ambas as camadas, pelo menos uma área em restauração ecológica agrupou-se com vegetação nativa, corrobora com os dados encontrados por Yada et al. (2015) ao estudarem os atributos dos solos degradados por mineração de estanho e em recuperação.

A implantação de espécies vegetais nativas tende a influenciar a biota do solo uma vez que permite o restabelecimento de micro habitats formados pela rizosfera (BRAGHIROLI et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014b; KÖNIG et al., 2014) cujo exsudatos, contendo metabólitos primários como açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, além dos metabólitos secundários (JONES et al., 2004; BROECKLING et al., 2008) são capazes de sustentar comunidades de organismos, com interações simbióticas que variam desde restritivas a generalistas com maior ou menor amplitude de eficiência simbiótica dependendo da espécie vegetal implantada (POUYU-ROJAS et al., 2006), sugerindo que o manejo da área, ao longo do tempo, pode afetar a comunidade edáfica no local de estudo.

Assim, embora a análise isolada para os parâmetros de C-BMS, C-CO₂, qCO₂ e qMIC pouco tenha contribuído para entender a dinâmica de sucessão na área de estudo, a avaliação hierárquica por meio da distância euclidiana sobre os atributos microbiológicos permitiu a distinção da área de cultivo de cana-de-açúcar em relação às demais formas de manejo do solo. Dessa forma, não se descarta a hipótese de diferenças na diversidade da microbiota do solo entre as áreas, diferenças estas grandes o suficiente para isolar CN, mas não para justificar maior biomassa microbiana ou variações significativas no aprisionamento do carbono, um componente da diversidade com estas características seria a riqueza de espécies. A diversidade da microbiota está intimamente ligada às características do solo como cobertura vegetal, estrutura, fertilidade, tipos de solo formas de manejo, entre outros fatores (PROBER et al., 2015; LUPATINI et al., 2013; SILVA et al., 2012; ALVES et al., 2011). A despeito de sua importância como elemento central no ciclo biogeoquímico de nutrientes, existem problemas para o estudo da diversidade de bactérias e fungos do solo que vão desde limitações metodológicas ao pouco conhecimento taxonômico, uma vez que o componente de riqueza é dependente da identificação das espécies (KIRK et al., 2004)

deve-se levar em conta ainda, a tendência de maior diversidade para os sistemas tropicais e em especial áreas de transição (MYERS, 1991; ODUM, 2007; SCIPIONI & LONGHI, 2013), uma vez que a abundância e distribuição da comunidade microbiana do solo é controlada, dentre outros fatores, pela oferta de diferentes fontes de carbono (TIEDJE et al., 1999).

Desta forma, parece sensato afirmar que para o melhor entendimento dos efeitos das diferentes formas de manejo dos solos na área investigada, além dos atributos microbiológicos dos solos, outros estudos que envolvam a diversidade da microbiota serão importantes para se entender a dinâmica de sucessão em áreas de transição no bioma Cerrado.

12. CONCLUSÃO

Mesmo considerando a distinção nos valores médios das variáveis químicas, o fato da C-BMS não diferir entre a MATA e as RECs, ou entre CN e as RECs sugere a influência, interação ou sinergismo entre fatores, de tal modo que a cobertura vegetal ou a análise isolada dos atributos microbiológicos não podem ser utilizados como parâmetros exclusivos para o entendimento da dinâmica de sucessão na área.

A análise da matriz de similaridade por meio da distância euclidiana aplicada aos dados de atributos microbiológicos permitiu a distinção da área de cultivo de cana de açúcar em relação às demais formas de manejo do solo sendo, portanto, mais eficiente como ferramenta na caracterização do ambiente.

Não se descarta a hipótese de diferenças na diversidade da microbiota do solo entre as áreas, diferenças estas grandes o suficiente para isolar CN, mas não para justificar maior biomassa microbiana ou variações significativas no aprisionamento do carbono, fato que pode mudar ao longo do estabelecimento e avanço na dinâmica das comunidades microbiológicas do sistema.

Dentre as áreas em restauração, REC2 e REC3, no geral, apresentaram condições microbiológicas com maior similaridade em relação à área de vegetação nativa, o que pode ser indicativo de melhoria na qualidade do solo e conseqüentemente, do aumento na diversidade da comunidade edáfica.

13. REFERÊNCIAS

- ALVES, T.S.; CAMPOS, L.L.; NETO, N.E.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M.F. 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.
- 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 and Biochemistry**, v.25, n.4, p.393- 395,1993.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, n.2, p. 251-255, 1990.
- AUDEH, S.J.S.; LIMA,A.C.R.; CARDOSO, I.M.; CASALINHO, H.; JUCKSCH, I.J. Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.6, n3, p. 34-48, 2011.
- AZAR, G.S.; ARAÚJO, A.S.F.; OLIVEIRA, M.E.; AZEVÊDO, D.M.M.R. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.6, p. 2727-2736, 2013.
- BALDRIAN, P.; TROGL, J.; FROUZ, J.; ŠNAJDR, J.; VALÁŠKOVÁ, V.; MERHAUTOVÁ, V.; CAJTHAML, T.; HERINKOVÁ, J. Enzyme activities and microbial biomass in topsoil layer during spontaneous succession in spoil heaps after brown coal mining. **Soil Biology and Biochemistry**, v.40, p. 2107-2115, 2008.
- BALOTA, E. L., COLOZZI-FILHO, A., ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 641-649, 1998.
- BARBOSA, L. A. **Impacto de sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar nos atributos do solo**. Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2010. 93p. (Dissertação Mestrado).
- BATISTA, F.P.S.; RIBEIRO JÚNIOR, W.G.; RAMOS, M.L.; VIVALDI, L.J.; VILVELA, L. Indicadores microbiológicos do solo sob influência do cultivo de trigo com duplo propósito. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p. 401-410, 2014.
- BELO, E.S.; TERRA, F.D.; ROTTA, L.R.; VIVELA, L.A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; VILELA, L.A.F.; CARNEIRO, M.A.C. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Global Science Technology**. v.5, n.3, p.107-116, 2012.
- BÖHME, L., BÖHME, F. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization. **European Journal of Soil Biology**, v.42, p.1-12, 2006.
- BORGES, L.A.B.; RAMOS, M.L.G.; VIVALDI, L.J.; FERNANDES, P.M.; MADARI, B.E.; SOARES, R.A.B.; FONTOURA, P.R. Impact of sugarcane cultivation on the biological attributes of an oxisol in the Brazilian savannah. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p. 1459-1473, 2014.

BRAGHIROLI, F.L.; SGROTT, A.F.; PESCADOR, R. UHLMANN, A.; STÜRMER, S.L. Fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de florestas ciliares e fixação de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 733-743, 2012.

BROECKLING, C.D.; BROZ, A.K.; BERGELSON, J.; MANTER, D.K.; VIVANCO, J.M. Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity. **Applied and Environmental Microbiology**, v.74, n.3, p. 738-744, 2008.

CEREDA JUNIOR, A.; RÖHM, S.A. Analysis of Environmental Fragility using multi-criteria analysis (MCE) for integrated landscape assessment. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v.8, n.1, p. 28-37, 2014.

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

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381-1396, 2007.

CHEN, S.; ZOU, J.; HU, Z.; CHEN, H.; LU, Y. Global anual soil respiration in relation to climate, soil properties and vegetation characteristics: Summary of available data. **Agricultural in Forest Meteorology**, v.198-199, p. 335-346, 2014.

CHERUBIN, M.R.; KARLEN, D.; FRANCO, A.L.C.; CERRI, C.E.P. A soil management assessment framework (SMAF) Evolution of Brazilian sugarcane expansion on Soil Quality. **Soil Science Society of America Journal**, v.25, p. 215-226, 2016.

CRECCHIO, C.; CURCI, M.; PELLEGRINO, A.; RICCIUTI, P.; TURSI, N.; RUGGIERO, P. Soil microbial dynamics and genetic diversity in soil under monoculture wheat grown in diferente long-term management systems. **Soil Biology & Biochemistry**, v.39, p. 1391-1400, 2007.

CRITTENDEN, S.J.; POOT, N.; HEINEN, M.; VAN BALEM, D.J.M.; PULLEMAN, M.M. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. **Soil & Tillage Research**, v.154, p. 136-144, 2015.

CUNHA, E. STONE, L.F.FERREIRA, E.P.B. DIDONET, A.D. MOREIRA, J.A.A.; Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactada por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.56-63, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF, EMBRAPA, 2013, 342 p.

EMMERLING, C.; SCHLOTER, M.; HARTMANN, A.; KANDELER, E. Functional diversity of soil organisms- a review of recent research activities in Germany. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v.165, p. 408-420, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; VIANA, A.P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em

diferentes sítios da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1489-1499, 2008b.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; PAULINO, G.M.; FRANCO, A.A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1521-1530, 2008 a.

GRAU, R.; KUEMMERLE, T.; MACCHI, L. Beyond 'land sparing versus land sharing': environmental heterogeneity, globalization and the balance between agricultural production and nature conservation. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v.5, n.5, p.477-483, 2013.

HUNGRIA, M., FRANCHINI, J.C., BRANDAO-JUNIOR, O., KASCHUK, G., SOUZA, R.A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**. v.42, p. 288–296, 2009.

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

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, v.8, n.3, p. 209-213, 1976.

JONES, D.L.; HODGE, A.; KUZYAKOV, Y. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. **New Phytologist**, v.163, p. 459-480, 2004.

KASCHUK, G., ALBERTON, O., HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**. v.42,p. 1–13, 2010.

KASCHUK, G., ALBERTON, O., HUNGRIA, M.,. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v.42, p. 1–13, 2010.

LISBOA, F.J.C.; CHAER, G.M.; JESUS, E.C.; FARIA, S.M.; GONÇALVES, F.S.; SANTOS, F.M.; CASTILHO, A.F.; BERBARA, R.L.L. The influence of litter quality on the relationship between vegetation and below-ground compartments: a Procrustean approach. **Plant and Soil**, v.367, p.551-562, 2013.

LISBOA, F.J.G.; CHAER, G.M.; FERNANDES, M.F.; BERBARA, R.L.L.; MADARI, B.E. The match between microbial community structure and soil properties is modulated by land use types and sample origin within an integrated agroecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, v.78, p. 97-108, 2014.

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**, v.44, n.1, p.20-28, 2011.

LUPATINI, M.; JACQUES, R.J.S.; ANTONIOLLI, Z.I.; SULEIMAN, A.K.A.; FULTHORPE, R.R.; ROESCH, L.F.W. Land-use change and soil type are drivers of fungal and archaeal communities in the Pampa biome. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.29, n.2, p. 223-233, 2013.

MAZZETTO, A.M.; CERRI, C.E.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Activity of soil microbial biomass altered by land use in the southwestern Amazon. **Bragantia**, v.75, n.1, p. 79-86, 2016.

MENDES, I.C.; REIS-JUNIOR, F.B.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, M.F.; CHAER, G.M.; MERCANTE, F.M.; ZILLI, J.É. **Microbiologia do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. IN: ...Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária. Planaltina, DF: EMBRAPA CERRADOS, 219

MERCANTE, F.M.; OTSUBA, A.A.; SILVA, R.F.; HERNANI, L.C.; OLIVEIRA, H. **Monitoramento de parâmetros microbiológicos em área manejadas sob plantio direto na Bacia Hidrográfica do Alto Taquari, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, boletim informativo, n.38, 2006. 24p

MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; FRANCELINO, C.S.F.; CAVALHEIRO, J.C.T.; OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.34, n.4, p. 479-485, 2008.

MYERS, N. Tropical forests: present status and future outlook. **Climatic Change**, v.19, n.1-2, p. 3-32, 1991.

MOLINE, E.F.V.; COUTINHO, E.L.M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista Ciências Agrárias**, v.58, n.1, p. 14-20, 2015.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 632 p.

OLIVEIRA, P.T.S.; SOBRINHO, T.A.; RODRIGUES, D.B.B.; PANACHUKI, E. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resour Manage**, v.25, p. 1021-1036, 2011.

OLIVEIRA, A.P.P.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M.G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.9, p. 939-947, 2014a.

OLIVEIRA, A.L.M.; COSTA, K.R.; FERREIRA, D.C.; MILANI, K.L.; SANTOS, O.J.A.; SILVA, M.B.; ZULUAGA, M.Y.A. Biodiversity of soil bacterial and its applications for a sustainable agriculture. **Biochemistry and biotechnology reports**, v.3, n.1, p. 56-77, 2014b.

PADILHA, K.M.; FREIRE, M.B.G.S.; DUDA, G.P.; SANTOS, U.J.; SILVA, A.O.; SOUZA, E.R. Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p. 1377-1386, 2014.

PAREDES JR., F.P.; PORTILHO, I.I.R.; CARVALHO, L.A.; MERCANTE, F.M. Atributos microbiológicos em cultivos de cana-de-açúcar sob métodos de preparo do solo. **Revista Ciências Agrárias**, v.57, n.2, p. 101-107, 2013.

PAZ-FERREIRO J, TRASAR-CEPEDA C, LEIRÓS MC, SEOANE S, GIL-SOTRES F. Biochemical properties of acid soils under native grassland in a temperate humid zone. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.50, p. 537-548, 2007.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J.O.; SANTOS, J.G.D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.30, p. 413-424, 2006.

PROBER, S.M. et al. Plant diversity predicts beta but not alpha diversity of soil microbes across grasslands worldwide. *Ecology Letters*, v.18, n.1, p. 85-95, 2015.

RACHID, C.T.C.C.; SANTOS, A.L.; PICCOLO, M.C; BALIEIRO, F.C.; COUTINHO; PEIXOTO, R.C.; TIEDJE, J.M.; ROSADO, A.S. Effect of sugarcane burning or Green harvest methods on the Brazilian Cerrado soil bacterial community structure. **Plos one**, v.8, n.3, p. e59342. doi:10.1371/journal.pone.0059342, 2013.

RANGEL-VASCONCELOS, L.G.T.; ZARIN, D.J.; OLIVEIRA, F.A.; VASCONCELOS, S.S.; CARVALHO, C.J.R.; SANTOS, M.M.L.S. Effect of water availability on soil microbial biomass in secondary forest in eastern Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p. 377-384, 2015.

RODRIGUES, J.L., PELLIZARI, V.H., MUELLER, R., BAEK, K., JESUS EDA, C., PAULA, F.S., MIRZA, B., HAMAOUJI JR, G.S., TSAI, S.M., FEIGL, B., TIEDJE, J.M., BOHANNAN, B.J., NUSSLEIN, K. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v.110, p. 988-993, 2013.

RODRIGUES, R.C.; ARAÚJO, R.A.; COSTA, C.S.; LIMA, A.J.T.; OLIVEIRA, M.E.; CUTRI JR, J.A.A.; SANTOS, F.N.S.; ARAÚJO, J.S.; SANTOS, V.M.; ARAÚJO, A.S.F. Soil microbial biomass in a agroforestry system of Northeast Brazil. *Tropical Grasslands-Forrajes tropicales*, v.3, p. 41-48, 2015.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; SANTOS, J.C.F.; HUNGRIA, M. **Biomassa microbiana do solo: Fração mais ativa da matéria orgânica**. IN: ROSCOE, R. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, 2006. 304 p

SANTOS, V. M.; MAIA, L.C. Bioindicadores de qualidade do solo. **Anais da academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v.10, p. 195-223, 2013.

SILVA, C.F.; SIMÕES-ARAÚJO, J.L.; SILVA, E.M.R.; PEREIRA, M.G.; FREITAS, M.S.M.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; MARTINS, M.A. Fungos micorrízicos arbusculares e proteína do solo relacionada à glomalina em área degradada por extração de argila e revegetada com eucalipto e acácia. **Ciência Florestal**, v.22, n.4, p. 749-761, 2012.

SOUSA, R.F.; BRASIL, E.P.F.; FIGUEIREDO, C.C.; LEANDRO, W.M. Soil microbial biomass and activity in wetlands located in preserved and disturbed environments in the Cerrado biome. **Bioscience Journal**, v.31, n.4, p.1049-1061, 2015.

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

SOUZA, E.D.; COSTA, 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 lavourapeçuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, p.79-88, 2010.

SOUZA, R.A.; TELLES, T.S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F. Effects of sugarcane harvesting wuth burninf on the chemical and microbiological properties oj the soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment** v.155, p.1-6, 2012.

SCIPIONI, M.C.; LONGHI, S.J. Composição florística e estratégias de dispersão e regeneração de grupos florísticos em Florestas Estacionais Deciduais no Rio Grande do Sul. **Floresta**, v.43, n.2, p. 241-254, 2013.

STIEVEN, A.C.; OLIVEIRA, D.A.; SANTOS, J.O.; WRUCK, F.J.; CAMPOS, D.T.S. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p. 53-58, 2014.

TIEDJE, J.M.; ASUMING-BREMpong, S.; NÜSSLEIN, K.; MARSH, T.L.; FLYNN, S.J. Opening the black box of soil microbial diversity, **Applied Soil Ecology**, v.13, p.109-122, 1999.

VANCE, E,D,; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. As extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, n.6, p 703-707, 1987.

YADA, M.M.; MINGOTTE, F.L.C.; MELO, W.J.; MELO, G.P.; MELO, V.P.; LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.I. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.714-724, 2015.

CAPÍTULO 4 - ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA E AGREGAÇÃO DO SOLO E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO COM DISTINTA COBERTURA VEGETAL

RESUMO

O estudo das alterações na estrutura e agregação do solo e dinâmica da matéria orgânica do solo decorrentes do uso e manejo inadequados são relevantes para o entendimento dos processos ecológicos de áreas com distinta cobertura vegetal. Assim, foram avaliados atributos físicos e a dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais em sete áreas distintas constituídas por: cinco áreas em restauração ecológica (REC1 a REC5), uma área com vegetação nativa (MATA) e uma de cultivo de cana-de-açúcar (CN), todas localizadas em uma propriedade rural particular no município de Rio Brilhante, MS, área de transição entre os Biomas Cerrado-Mata Atlântica. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e foram quantificados a densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (PT), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA), e as frações granulométricas da matéria orgânica. Não houve diferença no DMP entre as áreas, contudo área de cultivo de cana-de-açúcar e as áreas em restauração ecológica (RECs 1,3 e 4) apresentaram altos valores de densidade e microporosidade e baixos teores das frações granulométricas da matéria orgânica, o que pode ocasionar maior restrição ao desenvolvimento radicular das plantas. Dentre as áreas em restauração, REC1 e REC5 apresentaram condições físicas com maior similaridade em relação à área de vegetação nativa. As diferenças encontradas para os parâmetros analisados sugerem que o manejo do solo e a estrutura edáfica podem influenciar no comportamento dos atributos físicos e nas frações da matéria orgânica do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Atributos físicos do Solo, estabilidade de agregados, fracionamento da matéria orgânica.

ABSTRACT

The study of changes in soil structure and aggregation and soil organic matter dynamics due inadequate management are relevant to the understanding of the ecological processes of areas with different vegetation cover. Thus, physical factors and soil organic matter in different vegetation cover were evaluated in seven distinct areas: five areas in ecological recovery (REC1 to REC5), an area with native vegetation (MATA) and a sugarcane crop (CN), all located in a private rural property in Rio Brilhante city, MS, transition area between the Cerrado-Mata Atlântica Biomes. The samples were collected in the 0-10 and 10-20 cm layers and were quantified the density (Ds), macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (PT), weighted mean diameter (WMD), index of aggregate stability (IEA), and organic matter granulometric fractions. However, there was no difference in DMD between areas, however sugarcane cultivation area and ecological restoration areas (RECs 1,3 and 4) presented high values of density and microporosity and low levels of organic matter granulometric fractions that can cause greater restriction to the root plants development. Among the areas under restoration, REC1 and REC5 presented physical conditions with greater similarity to the native vegetation area. The differences found for the data analyzed suggest that soil management and the edaphic structure can influence the behavior of physical atoms and soil organic matter structures.

KEY WORDS: Soil physical attributes, aggregate stability, organic matter fractionation.

14. INTRODUÇÃO

A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade de um solo em funcionar dentro dos limites dos ecossistemas (naturais ou cultivados) em desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação e produtividade vegetal, manter ou melhorar a qualidade ambiental e a promoção da saúde de animais e do homem (KARLEN et al., 1997). A sustentabilidade de um ambiente pode ser estimada, entre outros, pela avaliação e monitoramento de atributos do solo sensíveis a alterações pelo uso e manejo ao longo do tempo a partir dos quais se avalia a evolução da qualidade do solo (NASCIMENTO et al., 2014). Compreender as interações entre a biodiversidade vegetal, as propriedades do solo e suas alterações decorrentes de impactos podem ser úteis em ações de restauração em áreas degradadas (MUELLER et al., 2014) a longo prazo, e serve como importante instrumento para monitorar o estado de conservação ambiental de ecossistemas naturais, pois permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras, especialmente quando adotada como referência a vegetação nativa (CARDOSO et al., 2011).

Inúmeras pesquisas (ARAGÃO et al., 2012; MOLINE & COUTINHO, 2015; CHERUBIN et al., 2016) vêm demonstrando a importância de indicadores como mecanismo para entendimento da qualidade ou estado de conservação de diversos sistemas. Dentre os atributos físicos, a estabilidade de agregados vem sendo usado globalmente como um indicador de qualidade do solo (DUCHICELA et al., 2013; SPACCINI E PICCOLO, 2013; STOTT et al., 2013; KARLEN, 2014; ZORNOZA et al., 2015) devido ao seu papel crucial na estabilização e proteção do carbono, nos processos físicos relacionados com a dinâmica da água e do ar, e proporcionando resistência contra a erosão do solo (CHERUBIN et al., 2016), além de ser uma propriedade essencial ao desenvolvimento vegetal, pois descreve as condições físicas desejáveis em que o solo é friável e contém um conjunto de poros que permite a movimentação da água e do ar que contribui no processo de germinação e emergência de plântulas (NIEWCZAS & WITKOWSKA-WALCZAK, 2005).

O teor e a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) também são atributos que representam a qualidade do solo que podem ser alterados com uso e manejo do solo (GUIMARÃES et al., 2013). Um solo de boa qualidade não deve apresentar apenas elevado teor de MOS, necessita também de um equilíbrio entre as etapas de decomposição dessa matéria orgânica (CAETANO et al., 2013). Dentre seus

componentes que podem ser considerados como bons indicadores de sua qualidade estão a sua fração lábil (com menor grau de decomposição) (LOSS et al., 2009) e estável (alto grau de decomposição). Por meio do fracionamento granulométrico da MOS é possível quantificar o COP e o carbono orgânico associado ao mineral (COam) (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992), que são frações eficientes para identificar mudanças decorrentes de práticas de manejo do solo ou da substituição de áreas naturais por cultivos agrícolas (TORRES et al., 2014) ao longo dos anos.

Sob o ponto de vista prático e de interesse ambiental, o estudo das alterações na estrutura e agregação do solo (PORTUGAL et al., 2010) e dinâmica da matéria orgânica do solo, induzidas pelo uso do mesmo, assume importância relevante no diagnóstico dessas alterações, com a finalidade de subsidiar a adoção de estratégias que vise a recuperação dos ecossistemas e auxiliem no entendimento processos ecológicos que preconizam a ecologia da restauração.

15 . MATERIAL E MÉTODOS

15.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi conduzido no município de Rio Brillhante, Estado de Mato Grosso do Sul (21°48' S/ 44°32' W). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico típico, de textura argilosa (EMBRAPA et al., 2013). De acordo com o sistema de classificação köppen (Cwa), o clima é caracterizado como mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos. As áreas de estudo consistiram em um remanescente de vegetação nativa, com fisionomia florística de área de transição entre Cerrado-Mata Atlântica, que foi adotada como área testemunha e identificada como MATA, e cinco áreas em restauração ecológica (identificadas como REC1 a REC5) e uma área de cultivo de cana-de-açúcar (CN) (Figura 8).

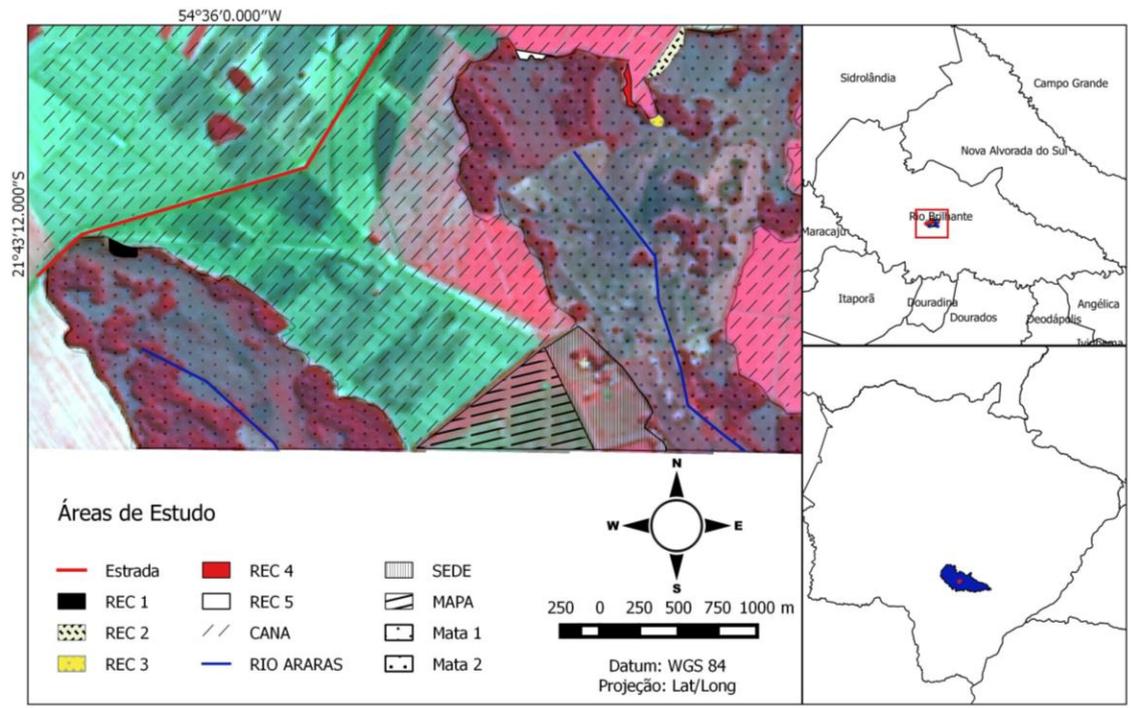


Figura 8-- Mapa de localização elaborado no Quantum QGis 14.2- Elaborado por Leonardo Lima dos Santos, 2015.

O plantio da cana-de-açúcar (RB86 – 7515) foi realizado com preparo convencional do solo utilizando duas gradagens (grades aradoras), uma subsolagem até a profundidade de 0,45 m e uma gradagem niveladora. Foi utilizado fertilizante mineral NPK (05-15-10) durante o plantio da cultura, e nos cortes anuais a reposição foi feita utilizando fertilizante mineral NPK (30-05-25) na linha da cultura. Nos tratos culturais da cana soca foram realizadas operações de cultivo entre linhas da cultura, visando minimizar os efeitos da compactação do solo causada pelo intensivo tráfego de máquinas na colheita. Na época de amostragem (período chuvoso 2014), a cultura de cana-de-açúcar encontrava-se no quarto corte de colheita mecanizada.

As áreas em restauração foram estabelecidas originalmente em formação de floresta Estacional Semidecídua e substituída por pastagem (*Brachiaria brizantha*) manejadas num período de dez anos e, posteriormente pela cultura da cana-de-açúcar por um período de 2 anos. Após este período, as áreas foram destinadas à recuperação ambiental. Devido à localização os fragmentos destinados à recuperação foram identificados como REC1 a REC5, com adoção de regeneração natural e plantio de espécies nativas florestais, tais como *Myracrodruon urundeuva*, *Schinus terebinthifolia*, *Handroanthus avellanadae*, *Machaerium stipitatum* e *Dabergia miscolobium*, entre

outras, na área identificada como REC2 e regeneração natural nas demais áreas. Em todas as áreas não houve intervenção mecânica e aplicação de fertilizantes.

15.2 Delineamento experimental

A densidade do solo (D_s), porosidade total (PT), macroporosidade (M_a) e microporosidade (M_i) foram calculadas através de amostras indeformadas coletadas com auxílio de amostrador de Uhland em cilindros de aço (Kopecky) de bordas cortantes e volume interno de (100 cm^3) nas camadas 0-10 e 10-20 cm, com quatro repetições aleatórias em cada camada nas áreas avaliadas.

Para avaliação da agregação e estabilidade de agregados e das frações de carbono foram abertas quatro pequenas trincheiras com auxílio de pá reta para possibilitar a retirada de monólitos de solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm em cada área estudada. As amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas de $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ que possibilitaram o armazenamento e transporte sem maiores danos às amostras.

15.3 Procedimentos laboratoriais

Para as determinações de densidade do solo e porosidade total, as amostras de solo foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de $2/3$ da altura do anel. Após a saturação ter sido estabelecida (aproximadamente 24h), foi realizado o procedimento para obtenção da macroporosidade pelo método da mesa de tensão com 60 cm de coluna de água (6KPa). Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a $\pm 105^\circ\text{C}$, por aproximadamente 24 horas, para determinar a D_s pelo método do anel volumétrico.

O cálculo da densidade foi realizado utilizando a Equação 5:

$$D_s = M_{ss} / V_a \quad (5)$$

sendo:

D_s = densidade do solo (g cm^{-3});

M_{ss} = massa de solo seco em estufa a $\pm 105^\circ\text{C}$ (gramas),

V_a = volume do anel (cm^3).

A macroporosidade do solo (M_a) foi calculada considerando que a mesma corresponde à classe de diâmetro de poros $\geq 0,05\text{mm}$, pela Equação 6:

$$M_a = (M_{s_{sat}} - M_{s_{60}}) / V_a * 100: \quad (6)$$

Onde:

M_a = macroporosidade (%),

$M_{s_{sat}}$ = massa de solo saturado (gramas),

$M_{s_{60}}$ = massa do solo após 24 horas na mesa de tensão a uma sucção de 60 cm de altura de coluna de água (gramas), e

V_a = volume do anel(cm^3).

A microporosidade do solo foi calculada considerando que a mesma corresponde à classe de diâmetro de poros que retêm água a uma sucção de 60 cm de coluna de água, utilizando a mesa de tensão, conforme metodologia descrita por EMBRAPA (1997), sendo calculada pela Equação 7:

$$M_i = (M_{s_{60}} - M_{s_s}) / V_a * 100: \quad (7)$$

Em que:

M_i = microporosidade (%);

$M_{s_{60}}$ = massa do solo após 24 horas na mesa de tensão a uma sucção de 60 cm de altura de coluna de água (gramas);

M_{s_s} = massa de solo seco em estufa a $\pm 105^\circ C$ por 24 horas e,

V_a = volume do anel (cm^3).

A porosidade total do solo (P_t) foi calculada pela Equação 8:

$$P_t (\%) = \% \text{ macroporosidade} + \% \text{ microporosidade} \quad (8)$$

Para avaliação dos agregados e determinação da sua estabilidade foi adotado o procedimento descrito por Kemper & Rosenau (1986), com modificação de Salton et al. (2012), que consiste basicamente no fracionamento do bloco de solo nos seus pontos de fraqueza, para o volume total da amostra transpassar a malha de 9,51 mm, sendo excluídos dela fragmentos de plantas, outros resíduos, pedras e cascalhos retidos na peneira após secar ao ar. Com o auxílio de um equipamento quarteador modelo Jones, o volume total da amostra foi subdividido em operações repetidas, até atingir um peso de, aproximadamente, 50 gramas (g), obtendo-se, desta forma, uma subamostra homogênea em relação aos diferentes tamanhos de agregados presentes na amostra, garantindo redução do tamanho da amostra sem perda da representatividade.

A estabilidade de agregados foi calculada utilizando as vias seca e úmida. Na separação pela via seca, cada subamostra de 50 g com diâmetro inferior a 9,51 mm foi colocada em um conjunto de peneiras com aberturas de 4,76 mm, 2,00 mm, 1,00 mm; 0,50 mm, 0,25 mm, 0,105 mm e 0,053 mm de malha e agitada em agitador mecânico vibratório, marca Solotest, durante 1 minuto, com potência de 30 Watts (a energia do equipamento é a necessária apenas para separar os agregados e não para haver

fragmentação dos mesmos). Posteriormente, foi determinada a massa dos agregados retidos em cada peneira e, por fim, reconstituída a subamostra para utilização na separação por via úmida.

Para separação pela via úmida, cada subamostra foi colocada em um funil de papel filtro, inserido em recipiente contendo lâmina d'água suficiente para o umedecimento por capilaridade. Após 16 horas, as subamostras foram transferidas cuidadosamente para um conjunto de peneiras com aberturas de 4,76 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm e 0,25 mm de malha e acondicionadas dentro de um balde e acopladas a um agitador com oscilação vertical. Em cada balde foi colocado volume de água suficiente para encobrir a amostra de solo depositada na peneira de 4,76 mm, quando na posição mais elevada do curso de oscilação (amostra depositada em toda a superfície da peneira, da forma mais homogênea possível). As amostras foram agitadas neste conjunto durante 15 minutos com 42 oscilações por minutos. Posteriormente, o material retido em cada peneira foi transferido, com auxílio de jatos de água, para latas, as quais foram levadas à estufa a $\pm 105^{\circ}\text{C}$ para determinação da massa seca de terra retida em cada peneira. O volume de água, juntamente com o material inferior a 0,25 mm, foi transposto a outro balde, através de um conjunto de peneiras com abertura de 0,105 mm e 0,053 mm de malha, sendo o material retido em cada peneira transferido para latas, como as demais. Em seguida, pesou-se e calculou-se a massa e a percentagem de agregados estáveis em cada uma das classes de diâmetro de agregados.

Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) foram obtidos de acordo com a Equação 9:

$$\text{DMP} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (9)$$

Em que DMP = diâmetro médio ponderado (mm); w_i = massa de cada classe em gramas; e x_i = diâmetro médio das classes expressa em mm.

A relação entre o DMP obtido no peneiramento em água e o obtido no peneiramento seco é considerada como o índice de estabilidade dos agregados (IEA), que indica a capacidade dos agregados resistirem à energia de desagregação, sendo esta maior quanto mais próximo da unidade estiver o valor. Assim, O IEA equivale à relação apresentada por Silva & Mielniczuk (1997b) pela Equação 10.

$$\text{IEA} = \left(\frac{\text{DMPu}}{\text{DMPs}} \right) \cdot 100 \quad (10)$$

Em que DMPu = diâmetro médio ponderado via úmida (mm); DMPs = diâmetro médio ponderado via seca (mm).

Além do cálculo do DMP, os agregados foram separados em três classes de tamanhos após desagregação e peneiramento seco e em meio úmido: macroagregados (diâmetro > 2,00 mm), mesoagregados (diâmetro entre 2,00 e 0,25 mm) e microagregados (diâmetro entre 0,25 e 0,05mm).

Para as determinações dos teores de carbono total, uma alíquota de cada classe de agregados do solo obtida foi totalmente moída e passada em peneiras de malha de 0,150mm, com posterior pesagem de 0,150 g dessa alíquota para análise por combustão a seco (equipamento TOC-L, marca Shimadzu®).

A avaliação das frações da MOS (COP e COam) foi realizada por meio do método de fracionamento granulométrico descrito por Cambardella e Elliot (1992). Para isso, foram utilizados 20 g da amostra original obtida para a determinação da estabilidade de agregados que foram colocadas em frascos de vidro e adicionado 80 ml de Hexametáfosfato de Sódio (5 g L^{-1}) sendo agitada por 16 horas em agitador horizontal (agitador de Wagner, modelo TE-160/24, marca Tecnal®). Posteriormente, a suspensão foi passada em peneira de 0,053 mm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COP) associado à fração areia, foi seco em estufa a 50°C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico total (COT). O estoque de carbono na matéria orgânica associada aos minerais (COam) foi calculado pela diferença entre o COT e a COP (>0,053 mm) (TORRES et al., 2014).

15.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk para verificação da normalidade e ao teste de Levene para verificação da homocedasticidade. Os dados que apresentaram normalidade e homocedasticidade foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Os dados das variáveis analisadas também foram submetidos à correlação de Pearson e análise multivariada, dentre as quais, análise de componentes principais (PCA), utilizando o pacote Vegan na plataforma de software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015) e agrupamento (cluster analysis) tendo-se adotado o método do vizinho mais distante (complete linkage), a partir da distância euclidiana, para descrever a similaridade entre as áreas avaliadas.

16. RESULTADOS E DISCUSSÃO

156.1 Alterações nos atributos físicos do solo

Na camada 0-10 cm, os menores valores de densidade do solo (Ds) foram observados na área de vegetação nativa e os maiores em cana-de-açúcar. As áreas em restauração ecológica apresentaram valores intermediários, entretanto, nota-se que as áreas REC1 e REC5 apresentaram valores mais próximos à área de MATA (Tabela 6). Os resultados deste trabalho corroboram com Silva et al. (2013), que encontraram menores valores de Ds em área de vegetação nativa. Segundo os autores, este fato pode estar relacionado aos maiores conteúdos de carbono, como observado neste trabalho (Figura 10A), e por Blum et al. (2014) avaliando os atributos físicos de um Argissolo Vermelho submetido a um sistema de plantio direto. Além disso, pode estar relacionada à grande diversidade biológica (Gama-Rodrigues et al., 2008), favorecida pela deposição de resíduos vegetais diversificados.

Tabela 6- Médias dos valores de Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Porosidade total (PT) e análise granulométrica nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar.

Áreas	Ds		Ma		Mi		PT		Granulometria (%)		
	g cm ⁻³		cm ³ cm ⁻³						Areia	Silte	Argila
Camada 0 -10 cm											
REC1	1,22	bc ± 0,08	0,16	a ± 0,029	0,29	b ± 0,083	0,45	a ± 0,079	25,0	15,0	60,0
REC2	1,34	abc ± 0,03	0,06	bc ± 0,004	0,44	a ± 0,015	0,51	a ± 0,018	28,75	15,0	56,25
REC3	1,41	ab ± 0,03	0,05	c ± 0,005	0,43	ab ± 0,007	0,48	a ± 0,005	27,5	17,5	55,0
REC4	1,39	ab ± 0,04	0,06	bc ± 0,006	0,43	a ± 0,010	0,50	a ± 0,013	25,0	12,5	62,5
REC5	1,21	bc ± 0,02	0,14	a ± 0,004	0,38	ab ± 0,008	0,52	a ± 0,004	25,0	15,0	60,0
CN	1,47	a ± 0,01	0,07	bc ± 0,007	0,37	ab ± 0,003	0,44	a ± 0,007	23,75	13,75	62,5
MATA	1,15	c ± 0,05	0,12	ab ± 0,003	0,38	ab ± 0,013	0,51	a ± 0,020	22,5	17,5	60,0
Camada 10-20 cm											
REC1	1,34	ab ± 0,07	0,11	a ± 0,023	0,39	bc ± 0,014	0,51	ab ± 0,012	21,25	15,0	63,75
REC2	1,43	a ± 0,02	0,04	b ± 0,003	0,43	ab ± 0,006	0,47	cd ± 0,005	28,75	15,0	56,25
REC3	1,45	a ± 0,04	0,05	b ± 0,006	0,44	a ± 0,009	0,49	abc ± 0,005	27,5	16,25	56,25
REC4	1,40	ab ± 0,06	0,04	b ± 0,010	0,42	ab ± 0,002	0,47	bcd ± 0,008	25,0	10,0	65,0
REC5	1,28	ab ± 0,02	0,12	a ± 0,015	0,40	abc ± 0,010	0,52	a ± 0,008	23,75	13,75	62,5
CN	1,46	a ± 0,02	0,06	b ± 0,009	0,38	cd ± 0,004	0,44	d ± 0,005	22,5	10,0	67,5
MATA	1,21	b ± 0,03	0,14	a ± 0,009	0,34	d ± 0,011	0,49	abc ± 0,010	22,5	12,5	65,0

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), Rec5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua). ± Erro Padrão.

Todavia, adotando como base os valores críticos de Tormena et al. (2008), que consideram crítico valores de D_s acima de $1,16 \text{ g cm}^{-3}$ para solos argilosos, e Reichert et al. (2009), valores acima de $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ como crítico para o estabelecimento do sistema radicular das plantas em solos muito argilosos (62 % de argila), apenas a área sob mata nativa não apresentou valor de D_s potencialmente restritivas ao desenvolvimento radicular das plantas na camada superficial.

Na camada de 10-20 cm, os resultados indicaram que as áreas em restauração REC2 e REC3 apresentaram altos valores de D_s , não diferindo estatisticamente de CN. As demais áreas em restauração (REC1, REC4 e REC5) apresentaram valores de D_s intermediários, não diferindo da área de cultivo e vegetação nativa, que apresentou valor estatisticamente menor. Adotando-se o critério estabelecido por Reichert et al. (2009), REC1, REC5 e MATA não apresentaram valores de D_s passíveis de comprometer o sistema radicular das plantas, uma vez que estão associados ao teor de argila do solo. Por outro lado, foi observado que a substituição da vegetação nativa para sistemas de produção provavelmente induziu a compactação do solo devido ao aumento nos valores de D_s e diminuição da M_a , como salientado por Cherubin et al. (2016).

Com base nos resultados de macroporosidade em ambas as camadas, pode-se observar que REC1 e REC5 não diferiram estatisticamente da MATA, refletindo em melhor estado de recuperação física do solo. As demais áreas em restauração (REC2, REC3 e REC4) apresentaram valores similares à área de cultivo de cana-de-açúcar (CN), refletindo em condições estruturais desfavoráveis ao pleno desenvolvimento das plantas, quando adotado como crítico valores abaixo de $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ (TAYLOR & ASHCROFT, 1972).

O volume de microporos na camada superficial foi elevado em todas as áreas avaliadas, com exceção da REC1 que apresentou valores estatisticamente menores. Na camada subsuperficial o menor volume foi observado em MATA, seguido de CN. Contudo, uma maior microporosidade não implica, necessariamente, em restrições ao desenvolvimento das plantas, uma vez que o estado de conservação do solo também deve levar em consideração os valores de macroporosidade, densidade do solo, resistência à penetração, entre outros. Assim, analisando o conjunto de variáveis físicas mensuradas neste trabalho, as áreas MATA, REC1, REC5 apresentaram melhor estado de conservação físico do solo.

Os resultados de microporosidade deste trabalho diferem dos observados por Sales et al. (2010) que trabalhando com diferentes sistemas (pastagem, plantio direto de soja, plantio direto com milho, integração lavoura-pecuária e Cerrado nativo), não encontraram diferenças estatísticas entre os sistemas na camada superficial.

Os valores da porosidade total estão compreendidos entre 0,44 a 0,52 m³ m⁻³, refletindo em boa qualidade física do solo na camada superficial, segundo Kiehl (1979), que considera que a distribuição ideal da porosidade total é próxima de 0,50 m³ m⁻³. Na camada 10-20 cm, REC2, REC4 e CN apresentaram valores estatisticamente menores em comparação às demais áreas avaliadas. Em tais áreas, em ambas as camadas, pode-se inferir que esteja ocorrendo maior comprometimento ao desenvolvimento radicular das plantas, pois os valores de porosidade total, em tais áreas, são reflexos da baixa macroporosidade e alto volume de microporos e valor de densidade que implicam em maior grau de compactação do solo. Na MATA, a boa distribuição de poros totais pode estar associado à diversidade de sistema radicular (CALGARO et al., 2015) e da comunidade edáfica, aporte de matéria orgânica de composição variada e ausência de tráfego de máquinas (MAZURANA et al., 2017), que é o principal compactador do solo em sistemas agrícolas.

Nas áreas em restauração ecológica, além das espécies florestais as gramíneas são importantes na adição de material orgânico e na reestruturação do solo (ASSAD, 1997), uma vez que possuem sistema radicular capaz de formar canais de continuidade de poros, armazenamento de água no solo e efeito descompactador do solo (MARCHINI et al., 2015), fato que pode ter contribuído ao processo de restituição de propriedades físicas do solo de algumas áreas em restauração.

16.2 Distribuição das classes de agregados do solo

Ao analisar a agregação do solo nas diferentes áreas, os resultados indicaram que não houve diferença significativa nos valores de DMPs e DMPu em ambas as camadas estudadas (Tabela 7). Solos argilosos com predomínio de gramíneas, sem revolvimento e com aporte constante de carbono, em geral, apresentam boa agregação. Isso pode estar relacionado ao sistema radicular que tende a contribuir para maior agregação das partículas do solo (SALTON & TOMAZI, 2014) e ao grau de consolidação do solo devido sua menor mobilização (VEIGA et al., 2014). Além disso, pesquisadores têm

informado que altos teores de carbono (LOSS et al., 2014), argila e produção de raízes resultam em maiores valores de DMP (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011).

Tabela 7 - Médias dos valores de diâmetro médio ponderado seco e úmido (DMPs e DMPu) e índice de estabilidade de agregados (IEA) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar.

ÁREA	Camada	DMPs	DMPu	IEA	
	cm	-----mm-----			
REC1	0-10	4,39 a ± 0,20	3,98 a ± 0,37	0,900 ab	± 4,50
	10-20	4,57 a ± 0,38	4,01 a ± 0,40	0,875 a	± 3,36
REC2	0-10	3,97 a ± 0,18	3,50 a ± 0,18	0,883 ab	± 2,34
	10-20	4,31 a ± 0,29	4,06 a ± 0,26	0,943 a	± 1,41
REC3	0-10	4,71 a ± 0,41	4,29 a ± 0,30	0,951 a	± 1,25
	10-20	4,57 a ± 0,23	4,24 a ± 0,22	0,926 a	± 0,75
REC4	0-10	3,75 a ± 0,20	3,64 a ± 0,23	0,970 a	± 1,07
	10-20	5,19 a ± 0,03	4,58 a ± 0,26	0,883 a	± 4,93
REC5	0-10	3,79 a ± 0,43	3,60 a ± 0,38	0,954 a	± 0,83
	10-20	4,32 a ± 0,22	4,05 a ± 0,25	0,934 a	± 1,97
CN	0-10	4,65 a ± 0,26	3,87 a ± 0,37	0,826 b	± 3,83
	10-20	5,02 a ± 0,17	4,10 a ± 0,24	0,816 a	± 3,45
MATA	0-10	4,21 a ± 0,28	4,02 a ± 0,28	0,955 a	± 1,04
	10-20	4,40 a ± 0,11	3,68 a ± 0,27	0,836 a	± 5,21

Letras minúsculas iguais na coluna entre as áreas, nas respectivas camadas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua).

Avaliando-se as áreas em relação as classes de agregados, os resultados indicaram predominância de macro e mesoagregados em ambas às camadas (Figura 9), o que justifica os resultados de DMP nas áreas avaliadas. Partindo do pressuposto de que o estado de agregação máxima ocorre em solos sob vegetação nativa (SIX & JASTROW, 2002), foi observado que as áreas em restauração ecológica e cultivo de cana-de-açúcar, embora tenham sofrido intensa mecanização e manejo, apresentam boa agregação do solo devido à forte estrutura, atribuindo uma elevada resistência à erosão. Este fato evidencia a capacidade das gramíneas em manter a agregação do solo, por meio do efeito do crescimento das raízes promovendo o efeito físico de aproximação das partículas, o que pode estimular a atividade microbiana e, conseqüentemente, aumentar a quantidade de exsudatos que atuam como agentes de agregação do solo (COSTA et al., 2012).

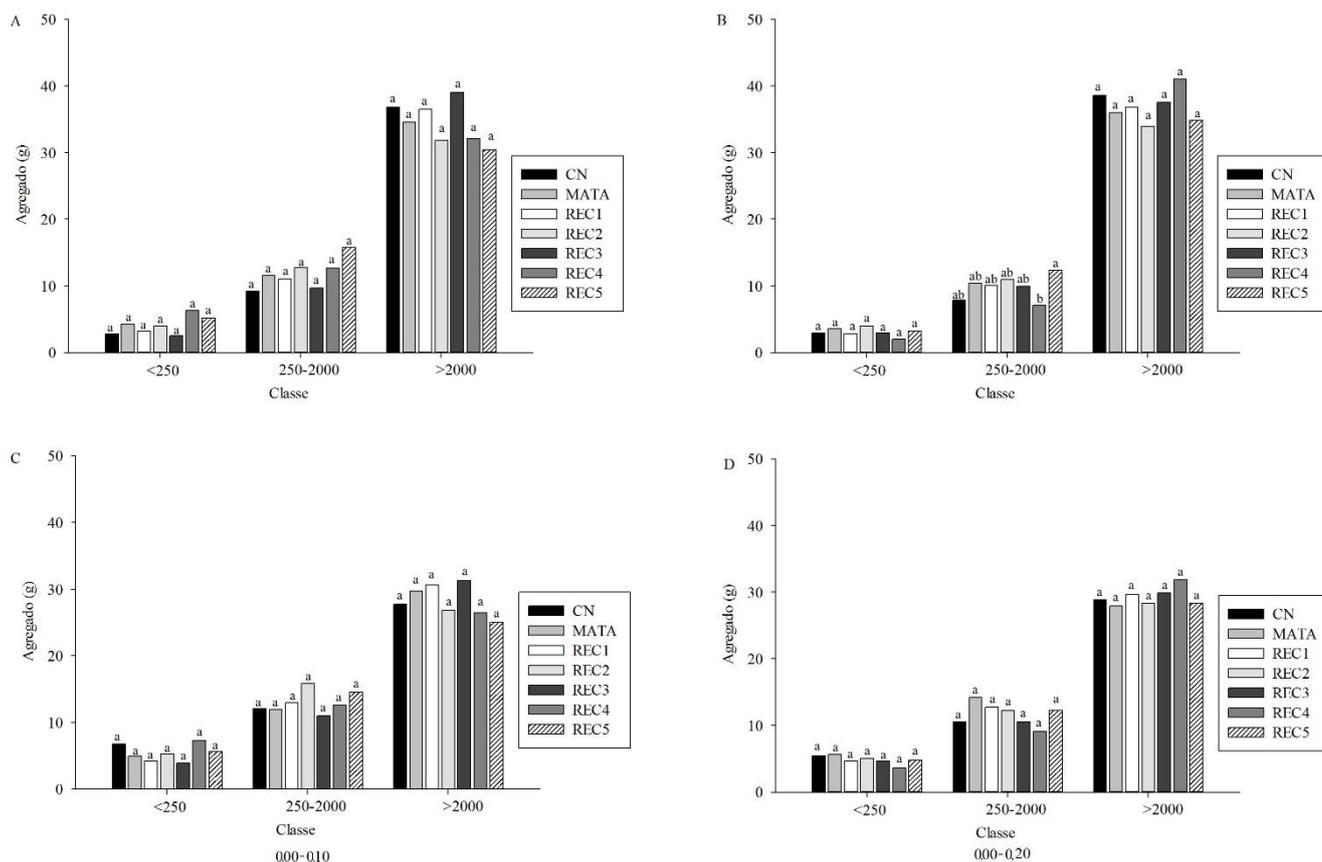


Figura 9--Distribuição relativa de agregados seco (A e B) e estáveis em água (C e D) nas camadas de solo de 0-10 e 10-20 cm (n=4) de um Latossolo Vermelho eutrófico típico em Rio Brillante (MS). REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua). Macro, meso e microagregados: agregados com diâmetro >2,0 mm, entre 2,0 e 250 μm e <250 μm, respectivamente. Letras iguais para a mesma classe de agregados e camada de solo não diferem a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados descritos também elucidam a influência de compostos minerais e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e minerais de argila 1:1 nas propriedades estruturais de solos tropicais (SIX et al., 2000; SPACCINI & PICCOLO, 2013). Ainda indicam que os agregados de maior tamanho devem-se, além do não revolvimento do solo nas áreas em restauração ecológica e vegetação nativa à manutenção dos resíduos vegetais (ZHANG et al., 2014), ação dos microrganismos em promover a ligação de partículas menores e das raízes para os tamanhos maiores ocasionando a formação de macroagregados (SALTON et al., 2008; BRANDÃO & SILVA 2012, ZHANG et al., 2014), como constatado por Garcia-franco et al. (2015), avaliando como as mudanças na agregação do solo e na estrutura da comunidade microbiana controlam o sequestro de carbono em áreas reflorestadas no semi-árido.

O aumento do conteúdo de carbono orgânico relacionado às mudanças na atividade microbiana e à estrutura das comunidades fúngicas promovem a formação de macroagregados que agem como o núcleo para a formação e estabilização de carbono orgânico e proteção contra a decomposição e oxidação (JASTROW et al., 2007; GARCIA-FRANCO et al., 2015).

Por outro lado, os resultados obtidos no presente estudo diferem dos encontrados por An et al. (2013), que observaram que áreas reflorestadas apresentaram maior proporção de agregados maiores do que solo cultivado. A proporção de macroagregados formados na área de cultivo de cana-de-açúcar pode estar relacionada à processos físicos, por meio de operações mecânicas de máquinas e equipamentos agrícolas que possivelmente aumentam a aproximação das partículas do solo, acarretando no efeito denominado empacotamento da estrutura (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011), ao sistema radicular da cultura e à manutenção dos resíduos vegetais.

Estudos indicam que o aumento dos resíduos culturais contribui para elevação do DMP do solo (ZHANG et al., 2014) e a longo prazo promovem a formação de macroagregados e aumento da estabilidade de agregados (LIU et al., 2010). Bhattacharyya et al. (2009), observaram que a manutenção dos resíduos e a adição artificial de fontes de matéria orgânica ao solo e os minerais de argila são fatores extremamente importantes que facilitam o desenvolvimento estrutural do solo e melhoram sua agregação. Contudo, o que confere maior estabilidade aos agregados são agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como polissacáridos de mucilagens exocelulares, exsudatos radiculares (VON LÜTZOW et al., 2008), atividade microbiana que conduz a produção de hifas e polissacarídeo (JIA et al., 2013), crescimento e morte dos tecidos, (SALTON et al., 2008) e outros fatores, tais como o teor de carbono orgânico e inorgânico no solo (AN et al., 2013; CHAPLOT & COOPER, 2015) são importantes na manutenção da estabilidade dos agregados.

Os resultados do índice de estabilidade de agregados (IEA) indicaram que, na camada superficial, dentre as áreas em restauração ecológica, REC3, REC4 e REC5 não diferem estatisticamente da MATA e apresentaram os maiores valores. As áreas REC1 e REC2 apresentaram valores intermediários e não diferiram da MATA e CN, que apresentou valores estatisticamente menores. Na camada subsuperficial, não houve diferença significativa entre as áreas estudadas. Todavia, em ambas as camadas, foram observados valores mais próximos da unidade (Tabela 3). SILVA & MIELNICZUK

(1997a) enfatizam que quanto mais próximo de 1,0 maior a estabilidade dos agregados em água.

A menor estabilidade de agregados observada em CN pode estar relacionada à compactação causada pelos maquinários agrícolas (PIGNATARO Netto et al., 2009), alterações nas comunidades fúngicas do solo (DUCHICELA et al., 2013) e maior exposição aos ciclos de umedecimento e secagem (PORTUGAL et al., 2010), pois, segundo Jia et al. (2013), estudando a variação de agregados e a mineralização do carbono do solo, a temperatura e a precipitação são fatores que influenciam a agregação do solo.

Vasconcelos et al. (2010) enfatizam que a remoção da vegetação natural e subsequentes anos de cultivo levam a uma redução gradativa da aptidão cultural do solo devido as alteração de suas propriedades físicas ocasionadas principalmente pelos tratos culturais, como aração e gradagem que aumentam momentaneamente o volume de poros e, conseqüentemente, a disponibilidade de oxigênio que tende a contribuir com o processo de decomposição da matéria orgânica que estava protegida no interior dos agregados, acarretando em redução da estabilidade de agregados (ZHANG & HORN, 2001). Assim, constatamos que embora a pressão exercida pelos implementos agrícolas não tenha exercido efeito no diâmetro médio ponderado, acarretou em redução do IEA e no volume de macroporos.

Por outro lado, a boa estabilidade do solo nas áreas em restauração ecológica pode estar relacionada ao grande volume de raízes que estimula a atividade microbiana e, conseqüentemente, aumenta a quantidade de exsudatos que atuam como agentes de agregação do solo, pois estimulam a cimentação das partículas e, conseqüentemente acúmulo de carbono (SALTON et al., 2008) que associado à ação mecânica das raízes, favorece a aproximação das partículas unitárias, contribuindo para a manutenção e o aumento da estabilidade (Fontana et al., 2010). Além disso, a presença de fungos micorrízicos arbusculares (COLODETE et al., 2014), a incorporação de matéria orgânica pelas raízes e fauna do solo melhoram a abundância relativa de macroagregados em detrimento de outras frações e também resultam em maior teor de carbono nos macroagregados (DAS et al., 2014).

Salton et al. (2014) enfatizam que agregados maiores e mais estáveis são resultantes do aumento da atividade biológica, incluindo o crescimento de raízes e hifas fúngicas e presença dos resíduos de plantas, insetos e outros organismos. Sob estas condições, estruturas mais complexas e variáveis são formados, incluindo

macroagregados. Neste contexto, Fattet et al. (2011) e An et al. (2013) constataram a importância das raízes na estabilidade do solo e evidenciaram que espécies herbáceas são muito eficientes para a estabilidade de agregados do solo.

16.3 Mudanças nas frações da matéria orgânica do solo nas diferentes coberturas vegetais do solo.

O carbono orgânico total (COT) apresentou comportamento diferenciado entre as coberturas vegetais, com valores significativamente maiores na MATA (41,49 g kg⁻¹) e REC5 (32,83 g kg⁻¹) e inferiores em CN e demais áreas em restauração ecológica, que não diferiram estatisticamente entre si na camada de 0-10 cm (Figura 10). Na camada de 10-20 cm, não houve diferença nas concentrações de COT entre as áreas estudadas.

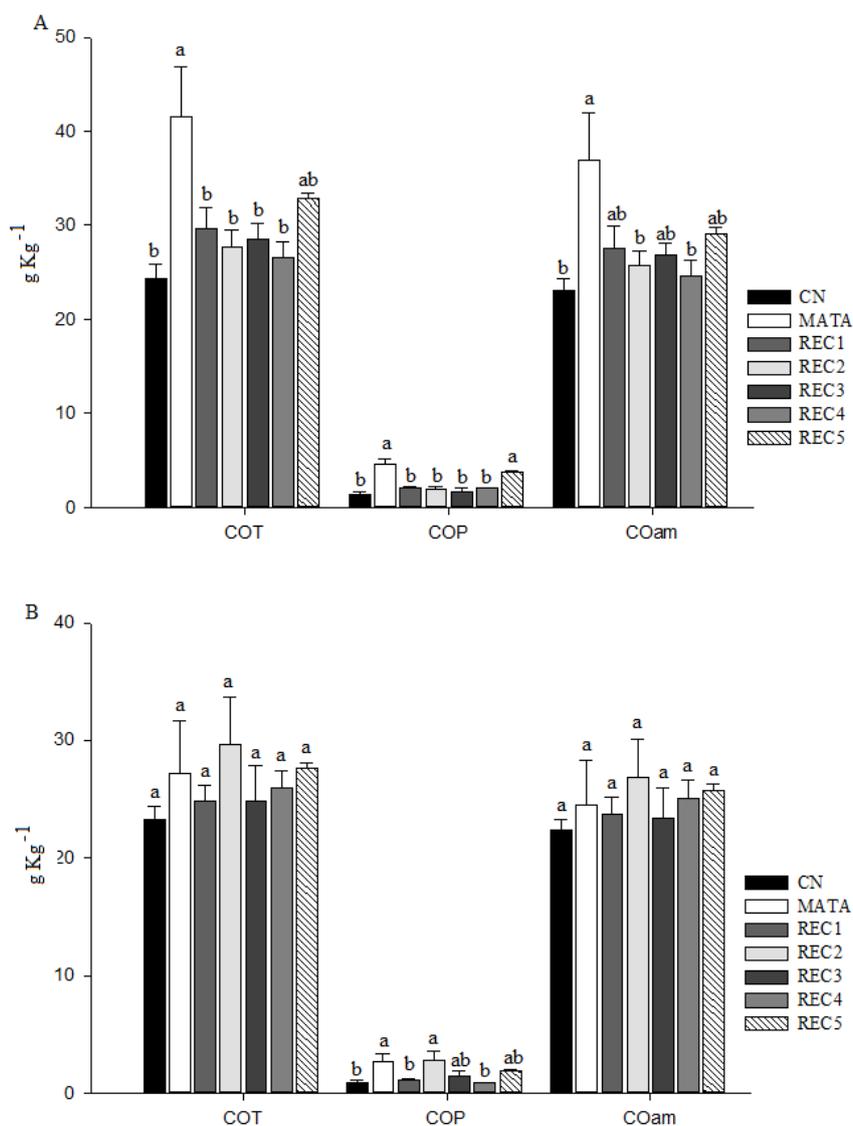


Figura 10-Teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico ligado aos minerais (Coam) nas camadas 0-10 (A) e 10-20 cm (B) (n=4) de um Latossolo Vermelho eutrófico típico em Rio Brilhante (MS). REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração

ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua). Letras iguais para a mesma fração da matéria orgânica do solo não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Maiores valores de COT encontrados na MATA e REC5 podem estar relacionados à maior diversidade de plantas e densidade de espécies arbóreas, que resultam em maior aporte de resíduos vegetais ao solo (ALCÂNTARA NETO et al., 2011), a textura e temperatura, como reportado por Cherubin et al. (2016). Isso demonstrou que a substituição da vegetação nativa por sistema de cultivo de cana-de-açúcar resultou em redução do teor de COT em torno de 41,21% na camada superficial, entretanto, a conversão da área de cana-de-açúcar em áreas em restauração ecológica promoveu aumentos de 21,32%, 13,53%, 17,01%, 9,14% e 34,60% em REC1, REC2, REC3, REC4 e REC5, respectivamente, sugerindo a existência de um processo dinâmico de melhoria do solo.

Reduções nos teores de COT foram reportadas na literatura como resultado do processo de conversão e baixa entrada de carbono no sistema, devido à baixa produtividade de biomassa seca e manejos inadequados (CHERUBIN et al., 2016).

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com Batista et al. (2014) os quais verificaram que sistemas produtivos possuem menores teores de COT quando comparado a vegetação nativa (Cerradão), sugerindo ciclos incompletos de decomposição e humificação da matéria orgânica, ocasionando, desta forma perdas de carbono durante esses processos.

A concentração de carbono na fração particulada da matéria orgânica (COP) variou de 5,38% a 11,65% do COT do solo na camada de 0-10 cm, com maiores teores no solo de REC5 e MATA (Figura 10 A). Na camada de 10-20 cm, os teores de COP variaram de 3,29% a 9,59% do COT do solo, com maiores valores observados em MATA, seguido de REC2 e REC5 e os menores valores em CN, REC1 e REC4 (Figura 10 B). O efeito negativo do preparo do solo sobre a fração particulada da MOS foi constatado com as reduções de 48,03% e 38,22% em CN quando comparado à MATA nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, logo, constitui-se num indicador eficiente e sensível na detecção de alterações causadas pelo manejo. Devido sua sensibilidade, a fração particulada pode ser utilizada como indicador de qualidade do solo nos quais alterações no COT do solo ainda não tenham sido de grande magnitude (CONCEIÇÃO et al., 2005) e indicar mudanças no carbono lábil oriundas de modificações no uso do solo (LOSS et al., 2014).

Com relação ao carbono orgânico associado aos minerais (COam), na camada superficial o maior teor foi observado em MATA e os inferiores em CN, REC2 e REC4 (Figura 10 A). Na camada de 10-20 cm, foi observado que o uso e manejo do solo não afetaram sua proporção (Figura 10 B). Isso pode ser justificado pelo possível estágio avançado de humificação, sendo altamente estável devido a sua estabilidade química (interação com a fração mineral), proteção física no interior de microagregados do solo, e por sua maior recalcitrância química (BAYER, 1996). Como a COam apresenta uma ciclagem bem mais lenta, quanto a sua formação e decomposição, é necessário um período maior para que a alteração dos sistemas de manejo tenha efeito no teor de carbono desta fração (Bayer et al., 2004), como constatado por Trivedi et al. (2015) os quais enfatizam que a abundância de genes envolvidos na degradação do carbono recalcitrante não alterou em função da prática de manejo adotada, indicando que o armazenamento de carbono no solo pode permanecer inalterado a longo prazo. Spaccini e Piccolo (2013) enfatizam que pequenos distúrbios do solo provenientes da redução dos métodos de preparo inibem a decomposição microbiana aeróbica da matéria orgânica do solo e, portanto, limitam a degradação dos agregados do solo e consequentemente as perdas de carbono orgânico do sistema.

16.4 Análise multivariada dos atributos físicos e das frações da matéria orgânica do solo

As variâncias explicadas e cumulativas dos dois primeiros componentes principais extraídos na análise de componentes principais (PCA), em ambas as camadas, acumularam e explicaram a maior variabilidade dos dados (77,96% e 80,83%, respectivamente), por isso, como a contribuição dos demais componentes foi mínima, estes não foram considerados na análise.

As áreas em restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa influenciaram os atributos físicos do solo, conforme indicado pelos diferentes grupos formados na PCA (Figura 11). A soma da variabilidade retida nos componentes explicou 77,96% da variabilidade original dos dados referentes aos efeitos das diferentes áreas sobre as variáveis físicas do solo, em que PC1 e PC2 reteve, 49,98% e 27,98%, respectivamente, das informações originais dos dados na camada superficial (Figura 11 A). Na camada 10-20 cm, a soma da variabilidade retida nos componentes explicou 80,83% da variabilidade original dos dados, em que PC1 e PC2 reteve, 47,47% e 33,36% das informações originais dos dados, respectivamente (Figura 11 B).

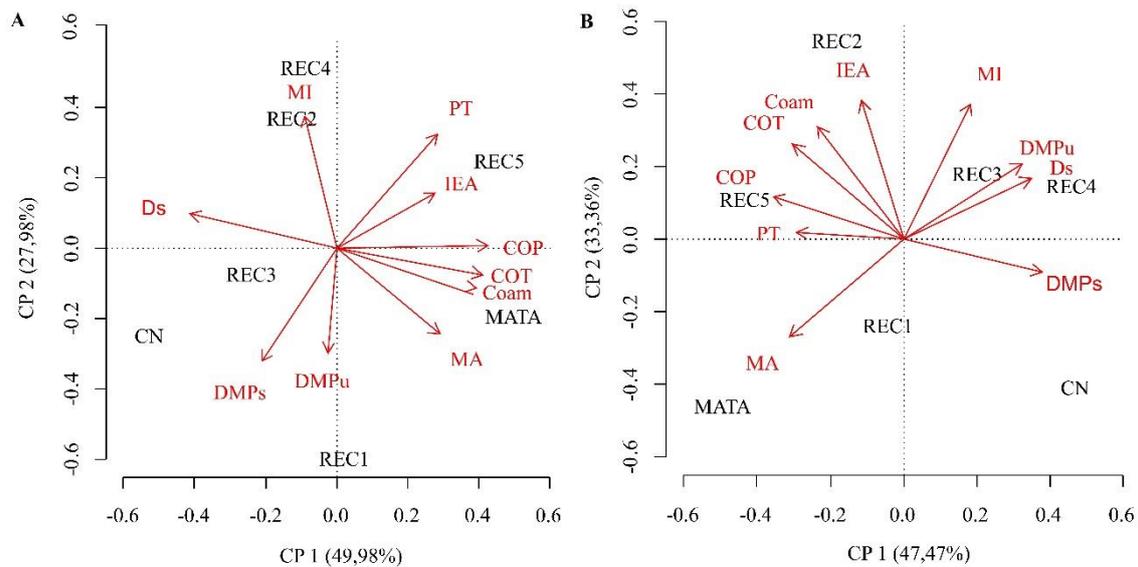


Figura 11-Análise de Componentes Principais (PCA) com base nos atributos físicos densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (PT), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico ligado aos minerais (COam), diâmetro médio ponderado seco e úmido (DMPs e DMPu) e índice de estabilidade de agregado (IEA) nas camadas de 0-10 (A) e 10-20 cm (B) (n=4), de um Latossolo Vermelho eutrófico típico em Rio Brillhante (MS). REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua).

Analisando a Figura 11 A e seus respectivos eixos, no quadrante superior esquerdo da linha vertical encontram-se as áreas em restauração ecológica, REC2 e REC4, enquanto que, no quadrante inferior esquerdo encontram-se REC3 e CN. As áreas REC5 e MATA encontram-se no quadrante direito superior e inferior, respectivamente. Na figura 11 B, as áreas em restauração REC2 e REC5 encontram-se no quadrante superior esquerdo da linha vertical, MATA no quadrante inferior esquerdo e REC3, REC4 e CN encontram-se no quadrante direito superior e inferior, respectivamente.

Na camada superficial, as áreas em restauração ecológica (REC2, REC3 e REC4) estiveram mais fortemente associadas aos teores de Ds e MI do que aos demais atributos físicos do solo, podendo-se inferir que são áreas que apresentam maior comprometimento ao desenvolvimento radicular das plantas devido ao possível maior grau de compactação do solo. REC5 e MATA apresentaram melhores condições físicas do solo na camada superficial, pois associaram-se à PT e IEA e as frações da matéria orgânica (COT, COP, COam) e MA, respectivamente, corroborando com Batista et al. (2014) que observaram associação das frações oxidáveis do carbono com área de Cerradão.

As melhores condições físicas do solo na camada de 10-20 cm foram observadas no grupo formado por MATA e REC1, e no formado por REC2 e REC5 que se associaram com os altos valores de MA e IEA, PT, COT, COP e COam, respectivamente.

Com a análise de agrupamento hierárquico para o conjunto de atributos físicos estudados e as frações da matéria orgânica sem distinção da camada, foi possível a divisão de dois grupos interpretativos (Figura 12). Nesta análise, as áreas em restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa foram agrupadas com base no seu grau de similaridade, classificando-as em grupos homogêneos, comprovando a distribuição das áreas na PCA.

Na interpretação da matriz de similaridade entre as áreas foi admitido um corte na distância euclidiana de setenta e oito permitindo uma divisão clara de grupos ordenados por meio do conjunto dos atributos físicos e das frações da matéria orgânica, constituindo o grupo GI, que engloba os dados que representam as áreas REC1, REC5 e MATA, e o grupo GII formado pelas áreas REC2, REC3, REC4 e CN. Todavia, ao efetuar um corte na distância euclidiana de quarenta e dois, demonstrando as áreas que apresentam maior similaridade, houve a formação de quatro grupos, sendo I e IV representados por REC1 e CN, respectivamente, apresentam-se isoladas das demais áreas, grupo II formado por MATA e REC5 e grupo III representado por REC2, REC3 e REC4, III. A formação de grupos que apresentam maior grau de similaridade indica que o tempo de resiliência e o manejo do solo podem influenciar no comportamento dos atributos físicos do solo.

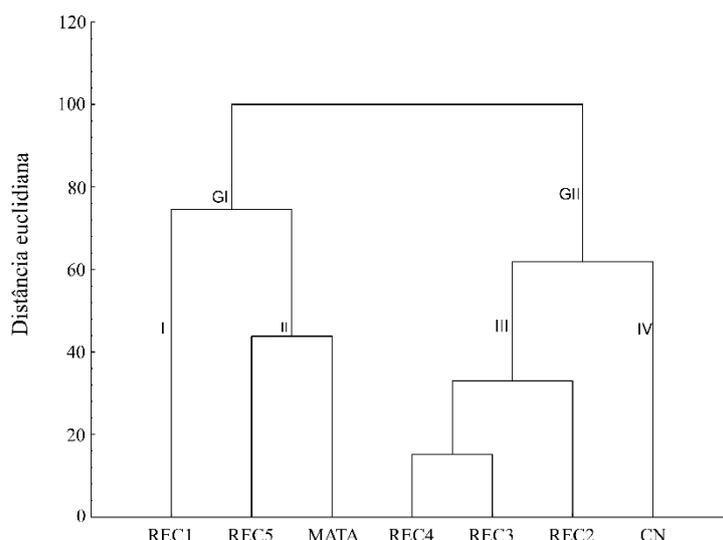


Figura 12-Dendrograma de distância euclidiana com base nos atributos físicos do solo nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar. REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (Cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua).

A análise de agrupamento das áreas com base no grau de similaridade, sem levar em consideração a separação por camadas, permitiu inferir que as áreas em processo de restauração apresentam dinâmica distinta quanto à restituição de parâmetros de integridade, uma vez que somente duas das cinco áreas em restauração estudadas apresentaram maior similaridade com área de vegetação nativa e as demais apresentam maior restrição física do solo e maior similaridade com a área de cultivo de cana-de-açúcar.

Estes resultados permitem inferir que a redução do manejo e aumento gradativo da diversidade vegetal seguidos por maior deposição de resíduos vegetais com composição variada e proteção da matéria orgânica do solo constituem em fatores cruciais para o aumento da resiliência nestes locais, com consequente melhoria dos atributos de qualidade física do solo em tais sistemas.

A adoção de estratégias de manejo em área de cultivo de cana-de-açúcar, como a manutenção da palhada, aplicação de resíduos orgânicos como adubação complementar, adoção de cultivo mínimo e plantio direto aliado ao controle do tráfego de maquinários agrícolas podem colaborar para a manutenção da fertilidade, melhorar o sequestro de carbono do solo e mitigar os impactos deletérios sobre as propriedades físicas do solo (CHERUBIN et al., 2016).

17. CONCLUSÃO

As análises aplicadas aos dados de atributos físicos e frações da matéria orgânica do solo indicaram que o cultivo de cana-de-açúcar resultou em modificações da qualidade do solo, acarretando em aumento da densidade e microporosidade, que podem refletir em maior compactação, e atenuação da proteção física da matéria orgânica.

A restituição de parâmetros de integridade do solo em áreas que sofreram ações de reposição de cobertura vegetal por meio do plantio de mudas nativas ou suspensão do manejo com atividades agrícolas apresentam dinâmica própria, mesmo em áreas com relativa proximidade, tipo e classificação de solo, sugerindo interações associadas à atividade biológica, deposição e comportamento da matéria orgânica nos solos.

Dentre as áreas em restauração, REC1 e REC5, no geral, apresentaram condições físicas com maior similaridade em relação à área de vegetação nativa, o que indica que o tempo de resiliência, o manejo do solo e a estrutura edáfica podem influenciar no comportamento dos atributos físicos e nas frações da matéria orgânica do solo, sendo as intervenções mais eficientes nestas áreas.

18. REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA NETO, F.; LEITE, L.F.C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G.A.; CARNEIRO, R.F.V. Comportamento de carbono em latossolo Vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 849-856, 2011.
- AN, S.; DARBOUX, F.; CHENG, M. Revegetation as an efficient means of increasing soil aggregate stability on the Loess Plateau (China). **Geoderma**, v.209-210, p. 75-85, 2013.
- ANTISARI, L.V.; FALSONE, G.; CARBONE, S.; MARINARI, S.; VIANELLO, G. Douglas-fir reforestation in north Apennine (Italy): Performance on soil carbon sequestration, nutrient stock and microbial activity. **Applied Soil Ecology**, v.86, p. 82-90, 2015.
- ARAGÃO, D.V.; CARVALHO, C.J.R.; KATO, O.R.; ARAÚJO, C.M.; SANTOS, M.T.P.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação no Nordeste Paraense. **Acta Amazônica**, v.42, n.1, p. 11-18, 2012.
- ASSAD, M. L. L. **Fauna do solo**. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina: EMBRAPA, 1997. 524p.
- BATISTA, I.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; ROUWS, J.R.C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p. 797-809, 2014.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 1996, 241p.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNIZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p. 677-683, 2004.
- BEDISON, J.E.; SCATENA, F.N.; MEAD, J.V. Influences on the spatial pattern of soil carbon and nitrogen in forested and non-forested riparian zones in the Atlantic Coastal Plain of the Delaware River Basin. **Forest Ecology and Management**, v.302, p. 200-209, 2013.
- BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A.K.; GUPTA, H.S. Soil aggregation and organic matter in a sandy clay loam soil of the Indian Himalayas under different tillage and crop regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.132, p. 126-134, 2009.
- BLUM, J.; GIAROLA, F.B.; SILVA, A.P.; GUEDES FILHO, O.; SILVA, S.G.C.; EBERHARDT, N.; ARAÚJO, S.R.; Assessment of soil physical attributes at sowing row and inter-row under no-till system. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.5, p. 888-895, 2014.
- BRANDÃO, E.D.; SILVA, I.F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p. 1193-1199, 2012.
- CAETANO, J.O.; BENITES, V.M.; SILVA, G.P.; SILVA, I.R.; ASSIS, R.L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo

Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 1245-1255, 2013.

CALGARO, H.F.; CAMBUIM, J.; SILVA, A.M.; ALVES, M.C.; BUZZETTI, S.; MORAES, M.A.; CARVALHO, S.L.; MIRANDA, L.P.M.; MORAES, M.L.T. Distribuição natural de espécies arbóreas em áreas com diferentes níveis de antropização. Atributos físicos do solo. **Cultura Agrônoma**, v.24, n.3, p. 327-344, 2015.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society America Journal**, v.56, n.2, p. 777-783, 1992.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 613-622, 2011.

CHAMBERS, J.Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J.P.; FERREIRA, L.V.; MELACK, J.M. Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. **Oecologia**, v.122, p. 380-388, 2000.

CHAPLOT, V.; COOPER, M. Soil aggregate stability to predict organic carbon outputs from soils. **Geoderma**, v.243-244, p. 205-213, 2015.

CHERUBIN, M.R.; KARLEN, D.; FRANCO, A.L.C.; CERRI, C.E.P. A soil management assessment framework (SMAF) Evolution of Brazilian sugarcane expansion on Soil Quality. **Soil Science Society of America Journal**, v.25, p. 215-226, 2016.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 777-788, 2005.

COLODETE, C.M.; DOBBS, L.B.; RAMOS, A.C. Aplicação de micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza on line**, v.12, n.1, p. 31-37, 2014.

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P.B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36: 1311-1321, 2012.

DAS, B.; CHAKRABORTY, D.; SINGH, V.K.; AGGARWAL, P.; SINGH, R.; DWIVEDI, B.S.; MISHRA, R.P. Effect of integrated management practice on soil aggregate properties, its stability and aggregate-associated carbon content in an intensive rice-wheat system. **Soil & Tillage Research**, v.136, p. 9-18, 2014.

DUCHICELA, J.; SULLIVAN, T.S.; BONTTI, E.; BEVER, J.D. Soil aggregate stability increase is strongly related to fungal community succession along an abandoned agricultural field chronosequence in the Bolivian Altiplano. **Journal of Applied Ecology**, v.50, p. 1266-1273, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF, EMBRAPA, 2013, 342 p.

FATTET, M., FU, Y., GHESTEM, M., MA, W., FOULONNEAU, M., NESPOULOUS, J., LE BISSONNAIS, Y., STOKES, A. Effects of vegetation type on

soil resistance to erosion: relationship between aggregate stability and shear strength. **Catena**, v.87, p. 60–69, 2011.

FIGUEIREDO, C.C., RESCK, D.V.S., CARNEIRO, M.A.C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 907-916, 2010.

FONTANA, A.; BRITO, R.J.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.3, p. 291-297, 2010.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; PAULINO, G.M.; FRANCO, A.A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1521-1530, 2008.

GARCIA-FRANCO, N.; MATÍNEZ-MENA, M.; GOBERNA, M.; ALBALADJO, J. Changes in soil aggregation and microbial community structure control carbon sequestration after afforestation of semiarid shrublands. **Soil Biology & Biochemistry**, v.87, p. 110-121, 2015.

GUIMARÃES, D.V.; GONZAGA, M.I.S.; SILVA, T.O.; SILVA, T.L.; DIAS, N.S.; MATIAS, M.I.S. Soil organic matter pools na carbono fractions in soil under different land uses. **Soil and Tillage Research**, v.126, p. 177-182, 2013.

JASTROW, J.D., AMONETTE, J.E., BAILEY, V.L. Mechanisms controlling soil carbono turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. **Climatic Change**, v.80, p. 5-23, 2007.

JIA, J.; YU, D.; ZHOU, W.; ZHOU, L.; BAO, Y.; MENG, Y.; DAI, L. Variations of soil aggregates and soil organic carbono minetalization across forest types on the northern slope of Changbai mountain. **Acta Ecologica Sinica**, v.35, p. 1-7, 2015.

KARLEN, D.L., M.J. MAUSBACH, J.W. DORAN, R.G. CLINE, R.F. HARRIS, AND G.E. SCHUMAN. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4–10, 1997.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E.; CAMBARDELLA, C.A.; KREMER, R.J.; KING, K.W.; MCCARTY, G.W. Surface soil quality in five midwestern cropland Conservation Effects Assessment Project watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.69, p.393-401, 2014.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability na size distribution. **Soil Science Society of America**, v.677, p. 425-442, 1986.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia - **Relações solo-planta**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p

LIU, E., YAN, C., MEI, X., HE, W., BING, S., DING, L., LIU, Q., LIU, S., FAN, T. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. **Geoderma**, v.158, p. 173–180, 2010.

LOSS, A., PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v.39, n.4, p.78-83, 2009.

- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; BERNINI, T.A.; ZATORRE, N.P.; WADT, P.G.S. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura flrestal e pastagem. **Comunicata Scientiae**, v.5, n.1, p. 01-10, 2014.
- MARCHINI, D.C.; LINF, T.C.; ALVES, M.C.; CRESTANA, S.; SOUTO FILHO, S.N.; ARRUDA, O.G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.6, p. 574-580, 2015.
- MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; INDA JUNIOR, A.V.; CONTE, O.; BRESSANI, L.A.; MÜLLER, J. Soil susceptibility to compaction under use conditions in southern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 1, p. 60-71.
- MOLINE, E.F.V.; COUTINHO, E.L.M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.1, p. 14-20, 2015.
- MUELLER, B.C.; PAULA, F.S.; MIRZA, B.S.; RODRIGUES, J. L.M.; NUSSLEIN, K.; BOHANNAN, B.J.M. Links between plan and fungal communities across a deforestation chronosequence in the Amazon rainforest. **The International Society for Microbial Ecology (ISME jornal)**, v.8, p. 1548-1550, 2014.
- NASCIMENTO, H.E.M.; LAURANCE, W.F. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v.68, p.311–321, 2002.
- NASCIMENTO, P. C.; BISSANI, C.A.; LEVIEN, R.; LOSEKANN, M. E.; FINATO, T. Uso da terra e atributos de solos do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.9, p. 920-926, 2014.
- NIWCZAS, J.; WITKOWSKA-WALCZAK, B. The soil aggregates stability index (ASI) and its extreme values. **Soil & Tillage Research**, v.80, p. 69-78, 2005.
- PIGNATARO NETTO, I.T.; KATO, E.; GOEDERT, W.J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1441-1448, 2009.
- PORTUGAL, A.F.; JUNCKSH, I.; SCHAEFERE, C.E.R.G.; NEVES, J.C.L. Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, v.57, n.4, p. 545-553, 2010.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. 409p.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & HÄKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, p.242- 254, 2009.
- SALES, L.E.O.; CARNEIRO, M.A.C.; SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; FERREIRA, M.M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência Agrotecnológica**, v.34, n.3, p. 667-674, 2010.
- SALIMON, C.I.; WADT, P.G.S.; ALVES, S.S. Decrease in carbon stocks in an oxisol due to land use and cover change in the Southwestern Amazon. **Ambiente e Água**, v.4, p. 57-65, 2009.
- SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil:

Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, p. 70-79, 2014.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 11-21, 2008.

SALTON, J.C.; SILVA, W.M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L.C. **Determinação da agregação do solo- Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste**. Comunicado técnico 184. Embrapa, 2012. 8 p.

SALTON, J.C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Comunicado técnico 198. Embrapa, 2014. 6p.

SILVA, A.S.; SILVA, I.F.; FERREIRA, L.E.; BORCHARTT, L.; SOUZA, M.A.; PEREIRA, W.E. Propriedades físicas e químicas em diferentes usos do solo no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 1064-1072, 2013.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997a.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.2, p. 313-319, 1997b.

SIST, P.; MAZZEI L.; BLANC L.; RUTISHAUSER E. Large trees as key elements of carbon storage and dynamics after selective logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v.318, p. 103-109, 2014.

SIX, J., E.T. ELLIOTT, AND K. PAUSTIAN. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.1042–1049, 2000.

SIX, J.; JASTROW, J.D. **Soil organic matter turnover**. In: LAL, R., ed. *Encyclopaedia of soil science*, p. 936-942, 2002.

SPACCINI, R.; PICCOLO, A. Effects of field managements for soil organic matter stabilization on water-stable aggregate distribution and aggregate stability in three agricultural soils. **Journal of Geochemical Exploration**, v.129, p. 45-51, 2013.

STOTT, D.E., KARLEN D.L.; CAMBARDELLA, C.A.; HARMEL, R.D. A soil quality and metabolic activity assessment after fifty-seven years of agricultural management. **Soil Science Society of America Journal**, v.77, p.903-913, 2013.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology** - The physics of irrigated and no irrigated soil. San Francisco, W.H. Freeman, 1972, 533 p.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S. DC.; DEXTER, A.R. Quantification of the soil physical quality of a tropical Oxisol using the index. **Scientia Agricola**, v.65, p.56-60, 2008.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; MORAES, A.G.L.; BEUTLER, S.J. Frações granulométricas e oxidáveis da matéria orgânica em sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v.27, n.4, p. 16-23, 2014.

TRIVEDI, P.; ROCHESTER, I.J.; TRIVEDI, C.; VAN NOSTRAND, J.D.; JHOU, J.; KARUNARATNE, S.; ANDERSON, I.C.; SINGH, B.K. Soil aggregate size mediates

the impacts of cropping regimes on soil carbon and microbial communities. **Soil Biology & Biochemistry**, v.91, p. 169-181, 2015.

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

VEIGA, M.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; OLIVEIRA, D.A. Soil physical attributes in forms of sowing the annual winter pasture and intervals between grazing. **Revista ciência Agrônômica**, v.45, n.5, p. 896-905, 2014.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.1, p.175-180, 1994.

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

VILELA, E.F.; MENDONÇA, E.S. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: modelagem de carbono e nitrogênio. **Coffee Science**, v.8, n.3, p. 354-363, 2013.

VON LÜTZOW, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; LUDWIG, B.; MATZNER, E.; FLESSA, H.; EKSCHMITT, K.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B.; KALBITZ, K. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: development and application of a conceptual model. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.171, p. 111-124, 2008.

ZELARAYÁN, M.L.C.; CELENTANO, D.; OLIVEIRA, E.C.; TRIANA, S.P.; SOBRÉ, D.N.; MUCHAVISOY, K.M.; ROUSSEAU, G.X. Impacto da degradação sobre o estoque total de carbono de florestas ripárias na Amazônia Oriental, Brasil. **Acta Amazônica**, v.45, n.3, p. 271-282, 2015.

ZHANG, B.; HORN, R. Mechanisms of aggregate stabilization in Ultisols from subtropical China. **Geoderma**, v.99, n.1-2, p.123-145, 2001.

ZHANG, P.; WEI, T.; JIA, Z.; HAN, Q.; REN, X. Soil aggregate and crop yield changes with different rates of straw incorporation in semiarid areas of northwest China. **Geoderma**, v.230-231, p. 41-49, 2014.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J.A.; BASTIDA, F.; DOMINGUEZ, S.G.; TOLEDO, D.M.; FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, v.1, p.173-185, 2015.

CAPÍTULO 5 - INFLUÊNCIA DO MANEJO E DA VARIAÇÃO SAZONAL SOBRE O BANCO DE SEMENTES EM REGIÃO DE TRANSIÇÃO CERRADO-MATA ATLÂNTICA

RESUMO: Estudos sobre o banco de sementes podem fornecer indicativos sobre a capacidade de regeneração natural de uma dada vegetação, a viabilidade das sementes existentes no solo, bem como sua influência na estrutura da vegetação. Com o objetivo de avaliar a viabilidade de sementes no banco de sementes do solo e a influência da variação sazonal sobre o processo germinativo, foram selecionadas três áreas com distinta cobertura vegetal: Remanescente de vegetação nativa, com fisionomia florística de área de transição entre Cerrado-Mata Atlântica (MATA), e duas áreas em restauração ecológica (REC1 e REC2). Cinco amostras do banco de sementes foram coletadas nas estações chuvosa (novembro/2015) e seca (abril/2016) em cada área utilizando gabaritos de PVC com 0,25 m² (0,50 x 0,50 m), sendo avaliada a taxa de emergência, frequência relativa, tempo médio de germinação/emergência, velocidade média germinação/emergência e o índice de sincronização. Os dados obtidos foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal Wallis. Os resultados obtidos indicaram que não houve diferença estatística entre as áreas na estação chuvosa (H= 68,76). Contudo, na estação seca, REC1 apresentou maior mediana e diferiu estatisticamente de REC2 e MATA, que não diferiram entre si em relação à germinação e emergência de plântulas. Ao comparar as épocas de amostragem, constatou-se diferença entre as estações, com maior expressão de sementes germinadas e emergidas na estação seca. Em ambas as estações, a germinação foi desuniforme em todas as áreas avaliadas, refletindo em padrão polimodal de germinação. Assim, os resultados elucidam que as áreas avaliadas apresentam banco de sementes com relativo papel no processo de restauração nas RECs, sendo a sazonalidade capaz de influenciar a germinação e emergência das plântulas, com maior expressão de sementes germinadas na estação seca, mas não suficientes para mudar o comportamento germinativo das sementes que compunham o banco em todas as áreas avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: Regeneração natural; Restauração ecológica, Germinabilidade.

ABSTRACT

Studies on the seed bank can provide indicative information about the natural regeneration capacity of a given vegetation, the seeds viability in the soil, as well as its influence on the vegetation structure. In order to evaluate seed viability in soil seed bank and seasonal variation influence on the germination process, three areas with distinct vegetation cover were selected: Remnant of native vegetation, with flowering of transition area between Cerrado-Mata Atlântica (MATA), and two ecological restoration areas (REC1 and REC2). Five samples of the seed bank were collected in the rainy seasons (November / 2015) and dry (April / 2016) in each area using PVC templates with 0,25 m² (0.50 x 0.50 m), being evaluated a rate Emergency, relative frequency, mean germination / emergency time, germination / emergency media and synchronization index. The data were submitted to Kruskal Wallis non-parametric test. The results indicate that there was no statistic difference between the areas in the rainy season ($H = 68.76$). However, in the dry season, REC1 presented a higher median and differed statically from REC2 and MATA, which did not differ among themselves and in relation to germination and emergence of seedlings. When evaluating as sampling sites, it was observed a difference between the seasons, with greater expression of seeds germinated and emerged in the dry season. In both seasons, a germination was irregular in all evaluated areas, reflecting in germination polymodal pattern. Thus, the results elucidate that the evaluated areas present seed bank with relative role restoration process in the RECs, being the seasonality able to influence the germination and emergence of the seedlings, with greater expression of seeds germinated in the dry season, but not enough to change the seeds germinative behavior that was inserted in the bank at the all evaluated areas.

KEYWORD: Natural regeneration, ecological restoration, germinibility.

19. INTRODUÇÃO

A fragmentação florestal decorrente da implantação de atividades agropastoris provoca desequilíbrio nos ecossistemas naturais, incorrendo na redução do fluxo gênico entre e dentro das populações (SEOANE 2007), no aumento do risco e extinção local de espécies (BRASIL, 2003) e na degradação do ambiente.

Neste contexto, trabalhos associados à restauração em áreas degradadas ou perturbadas merecem destaque, especialmente no Cerrado. Dentre as estratégias destinadas à restauração, a regeneração natural por meio da propagação dos diásporos é fundamental para a sobrevivência das espécies, sendo um dos fatores que permite a sua manutenção e regeneração do ambiente (FRANCO et al., 2012) de forma mais barata e eficiente (CALEGARI et al., 2013)

A regeneração natural é favorecida pela riqueza do banco de sementes, que pode ser constituído tanto por sementes autóctones quanto por aquelas alóctones. No entanto, o uso do banco de sementes como um instrumento para a regeneração em áreas antropizadas é fortemente dependente da capacidade de dormência das sementes (Liu et al., 2009).

O banco de sementes do solo (BSS) pode ser classificado como sistema transitório, com sementes viáveis apenas por um ano, ou persistentes, com sementes que permanecem viáveis no solo por mais de um ano (NÓBREGA et al., 2009). Essa permanência representa uma reserva de patrimônio genético acumulado e está intrinsecamente relacionada à resiliência do habitat, que se traduz pela capacidade de um ecossistema de se recuperar após um distúrbio, considerando suas funções e processos ecológicos (MORESSI et al., 2014).

Por meio da avaliação do BSS é possível identificar casos em que, apenas o isolamento dos fatores de degradação é suficiente para permitir a regeneração natural, ao passo que, em outras situações (áreas onde o banco de sementes é pobre) são necessárias intervenções complementares (CALEGARI et al., 2013). Contudo, diversos trabalhos de BSS estão focados em estudo da densidade e composição florística de um determinado ecossistema (FRANCO et al., 2012; SCHORN et al., 2013; CAPELLESSO et al., 2015).

Os conhecimentos de como o BSS está relacionado à cobertura vegetal em área de transição entre Cerrado-Mata Atlântica comparando-se fitofisionomias florestais e áreas em restauração são ainda insuficientes. Dessa forma, no presente estudo foram avaliadas

a viabilidade de sementes no banco de sementes do solo e a influência da variação sazonal sobre o processo germinativo sob diferentes coberturas vegetais.

20. MATERIAL E MÉTODOS

20.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi conduzido no município de Rio Brillhante, Estado de Mato Grosso do Sul (21°48' S/ 44°32' W). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico típico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). De acordo com o sistema de classificação köppen (Cwa), o clima é caracterizado como mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos secos. As áreas de estudo consistiram em um remanescente de vegetação nativa, com fisionomia florestal em área de transição entre Cerrado-Mata Atlântica, adotada como área testemunha e identificada como MATA, e duas áreas em restauração ecológica (identificadas como REC1 e REC2).

As áreas em restauração foram estabelecidas originalmente em formação de floresta Estacional Semidecídua, substituídas por pastagem (*Brachiaria brizantha*) manejadas por um período de dez anos e, posteriormente, por cultura da cana-de-açúcar num período de dois anos. Após este período, as áreas foram destinadas à restauração ecológica, adotando-se a regeneração natural na área identificada como REC1 nos últimos cinco anos, contados até o momento da coleta, e associação desta técnica às intervenções de plantio heterogêneo com espécies florestais nativas, tais como *Myracrodruon urundeuva*, *Schinus terebinthifolius*, *Handroanthus avellanadae*, *Machaerium stipitatum* e *Dalbergia miscolobium*, entre outras, na área identificada como REC2. Em ambas as áreas não houve intervenção mecânica ou aplicação de fertilizantes após introdução das técnicas de manejo adotadas.

20.2 Coleta e Procedimento

Para a coleta de amostras do banco de sementes foram utilizados cinco gabaritos de 0,25 m² (0,50 x 0,50 m) confeccionados com tubos de PVC distribuídos por sorteio em cada área avaliada, totalizando 15 amostras. Dois métodos são comumente utilizados para estimar a quantidade e a composição do banco de sementes: (1) extração física das sementes, a qual superestima a quantidade por contar sementes não-viáveis; e (2) emergência das sementes em solo incubado, que requer menos trabalho e detecta a fração de sementes que germina (BROWN, 1991), sendo esta última adotada no presente trabalho.

O material foi coletado em novembro/2015 e abril/2016, correspondendo uma amostragem na estação chuvosa e outra na seca, respectivamente. Em cada área, amostras de solo foram coletadas com o auxílio de um gabarito, pás e enxadas até 5 cm de profundidade, desconsiderando a serapilheira que se encontrava sobre o solo. As amostras foram retiradas de forma sistemática nas áreas, evitando-se as bordas e áreas de transição.

Após coletadas, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos identificados e transportadas ao laboratório de solos da Universidade Estadual de Mato grosso do Sul (UEMS), Dourados, MS, onde foram pesados aproximadamente 2.700 gramas de solos de cada parcela e, posteriormente, levados à casa de vegetação onde foram transferidos a caixas de madeira de 60 x 50 x 10 cm de diâmetro, forradas com filme plástico perfurado para escoamento da água de irrigação e preenchidas com uma camada de 2-3 cm de pedra brita nº1 e 2 cm de areia grossa esterilizada a $\pm 105^{\circ}\text{C}$. As amostras foram mantidas durante três meses em viveiro com cobertura PVC transparente e irrigação por aspersão, em cada período de amostragem, sendo dispostas aleatoriamente no interior do viveiro para garantir as mesmas condições ambientais. Foi mantida ainda uma caixa sem amostra de solo para controle de eventual contaminação por sementes alóctones ao viveiro.

Para calcular a taxa de germinação e a velocidade de emergência as plântulas foram contadas diariamente num período de um mês e a cada cinco dias até o fim do experimento. As sementes foram consideradas germinadas a partir da emergência do hipocótilo, ou seja, quando este estava acima do nível do solo. Ao final das avaliações, calculou-se a taxa de germinação/emergência, a frequência relativa, o tempo médio de germinação/emergência, a velocidade de germinação/emergência e o índice de sincronização.

A taxa de germinação/emergência foi calculada utilizando a equação 11:

$$Tx = \frac{\sum n_i \cdot 100}{\sum Nn} \quad (11)$$

Em que: Tx = taxa de germinação; n_i = número de plântulas emergidas no dia; Nn = número acumulado de plântulas emergidas.

A frequência relativa foi calculada pela equação 12.

$$f_i = \frac{n_i \cdot 100}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (12)$$

Em que: f_i : frequência relativa de germinação; n_i : número de sementes germinadas no dia i ; k: último dia da observação.

O tempo médio de germinação/emergência foi calculado de acordo com a equação 13, apresentada por Labouriau (1983a):

$$t = \frac{\sum n_1 \cdot t_1}{\sum n \text{ (Dias)}} \quad (13)$$

Em que t= tempo médio de germinação; t₁ = dias de germinação; n₁ = número de sementes germinadas num intervalo de tempo; n = total de sementes germinadas.

A velocidade média de germinação/emergência foi calculada pela equação 14, estabelecida por Labouriau (1970).

$$\bar{v} = \frac{C.V.}{100} = \frac{1}{t} \quad (14)$$

Em que \bar{v} = velocidade média de germinação/emergência; C.V = coeficiente de velocidade de germinação de Kotowski (1926); t = tempo médio de germinação.

O índice de sincronização foi calculado pela equação 15, descrita por Labouriau (1983b).

$$\bar{E} = -\sum_{i=1}^k f_i \cdot \log_2 f_i \quad \text{sendo } f_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (15)$$

Em que: f_i : frequência relativa de germinação; n_i : número de sementes germinadas no dia i ; k: último dia da observação; $\log_2 f_i$ é o peso de ponderação de cada frequência registrada.

Do ponto de vista prático, quanto menor for o valor de \bar{E} , mais sincronizada será a germinação das sementes. A vantagem desse índice é que seu valor não é influenciado pelo número total de sementes germinadas, nem pelo tempo médio ou velocidade média de germinação (SANTANA & RANAL, 2000).

O estudo da cobertura vegetal se deu por meio da identificação e quantificação de todos os indivíduos presentes no interior das oito parcelas de 100 m² (10 x 10 m), distribuídas aleatoriamente nas áreas, evitando o ecótono com a área de cana-de-açúcar, mantendo uma distância de 20 m entre si, identificadas de acordo com o sistema de classificação *Angiosperm Phylogeny Group III* (APG III, 2009) e enquadradas de acordo com os grupos ecológicos, sendo reconhecidos quatro grupos (pioneira, secundária inicial, secundária tardia e clímax), sendo a matriz qualitativa de espécies, ou matriz florística, consistiu dos dados binários de presença (1) ou ausência (0) de espécies.

20.3. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk para verificação da normalidade e ao teste de Levene para verificação da homocedasticidade. Como os dados não apresentaram normalidade, foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruscal Wallis, utilizando o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015), com comparação entre as áreas e as épocas de amostragem.

21. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emergência de plântulas foi distinta tanto entre as áreas de origem das amostras do BSS, quanto entre as estações. Na estação chuvosa (Figura 13 A) a emergência nas amostras das áreas em restauração ecológica (REC1 e REC2) iniciou por volta do terceiro dia, ao passo que para MATA esta teve início a partir do 14º dia. Em REC1 observou-se comportamento distinto na dinâmica de emergência quando comparado à REC2 e MATA, descrevendo curva sigmoide levando a aproximadamente 1.400 plântulas emergidas até os 35 dias do experimento. Já em REC2 e MATA as curvas de emergência foram similares, com emergência final, respectivamente de 200 e 180 plântulas emergidas ao final do experimento.

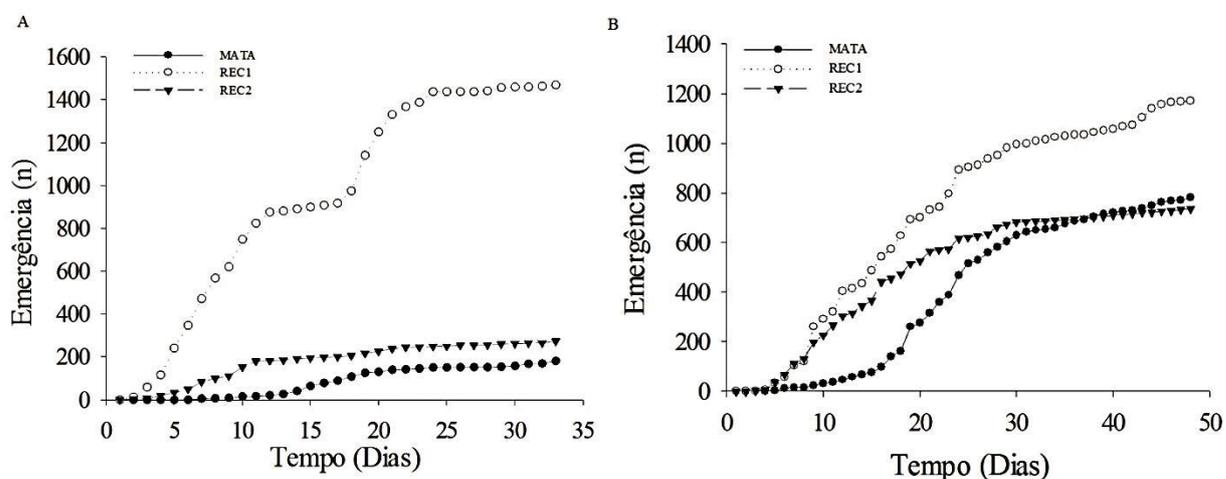


Figura 13- Dinâmica de emergência de plântulas nas áreas em restauração ecológica e vegetação nativa, na estação chuvosa (A) e seca (B).

A baixa germinação em REC2 e MATA na estação chuvosa pode ser justificada pela provável mortalidade das sementes causada por patógenos (VIEIRA et al., 2008), como fungos e bactérias, favorecidas pela umidade dos ambientes. Além disso, o período de tempo em que as sementes permanecem no banco é determinado por fatores fisiológicos, tais como germinação, dormência e viabilidade, e ambientais, como a

umidade, temperatura, luz e presença de predadores de sementes (GARWOOD, 1989), o que pode justificar a variação do número de sementes germinadas entre as áreas avaliadas.

A emergência na estação seca (Figura 13 B) iniciou-se no quinto dia nas áreas em restauração e por volta do oitavo dia em MATA. A curva de dinâmica de emergência em MATA foi sigmoide, apresentando ao final do experimento, juntamente com REC2, aproximadamente 700 plântulas emergidas. REC1 distinguiu-se das demais apresentando ao 40º dia aproximadamente 1.200 plântulas emergidas.

Ao analisar a emergência, as áreas diferiram estatisticamente entre si na estação chuvosa ($H= 68,76$). Na estação seca, REC1 apresentou maior mediana e diferiu estatisticamente de REC2 e MATA, que não diferiram entre si em relação à germinação e emergência de plântulas (Figura 14).

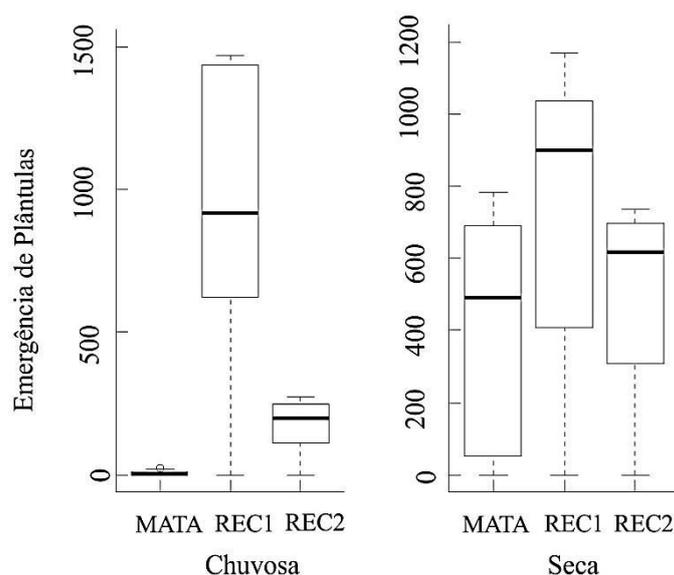


Figura 14- Boxplot da análise de kruskal Wallis da emergência de plântulas nas áreas em restauração ecológica (RECs 1 e 2) e vegetação nativa (MATA), na estação chuvosa e seca. São apresentados os valores mínimos e máximos, mediana e desvio padrão.

O maior número de plântulas emergidas nas áreas em restauração em comparação à MATA pode ser resultado do grande número de espécies herbáceas pioneiras presentes no banco de sementes que geralmente apresentam dormência facultativa (GASPARINO et al., 2006), as quais em condições adequadas de umidade do solo, temperatura e luminosidade germinaram. A presença dessa forma de vida no banco de sementes do solo nas áreas em restauração pode estar relacionada ao ciclo de vida das espécies, à produção de sementes e ausência do dossel (PEREIRA et al., 2010).

Ao analisar a emergência entre as REC's, o menor valor em REC2 pode sugerir que esteja havendo perda de viabilidade das sementes no banco ao longo do tempo (SEUBERT et al., 2016). Além deste fator, esta área vem sofrendo intervenções de manejo, como plantio de novas espécies arbóreas e coroamento de mudas que podem ter influenciado na diminuição do volume de sementes presentes no solo, uma vez que as espécies arbóreas plantadas ainda não estavam no período reprodutivo durante a realização do experimento.

Na MATA, a baixa emergência, e provavelmente menor taxa germinativa na estação chuvosa pode estar relacionada, além da deterioração dos diásporos dispersos nas estações anteriores por patógenos, à predação de sementes, uma vez que espera-se encontrar sementes grandes no interior de floresta (SALISBURY, 1942) e maturação de frutos carnosos nessa época (GRIZ & MACHADO, 2001), reduzindo a longevidade das sementes no banco. Outra justificativa é a presença de sementes com dormência acentuada, que mesmo em condições ambientais propícias não germinaram. Além disso, outros fatores como a maturação do fruto, a rápida perda da viabilidade, ataque de pragas e doenças, condições específicas do ambiente de cultivo em casa de vegetação para uma boa germinação e o pouco tempo para quebra de dormência de sementes (VINHA & LOBÃO, 1982) podem ter influenciado a baixa taxa de emergência nas condições testadas.

Ao comparar as épocas de amostragem, o resultado indicou que houve diferença significativa entre as estações, com maior número de plântulas emergidas na estação seca (Figura 15), fato também observado por Ferreira (2016), estudando a densidade e composição do banco de sementes do solo em uma floresta de Restinga após perturbação.

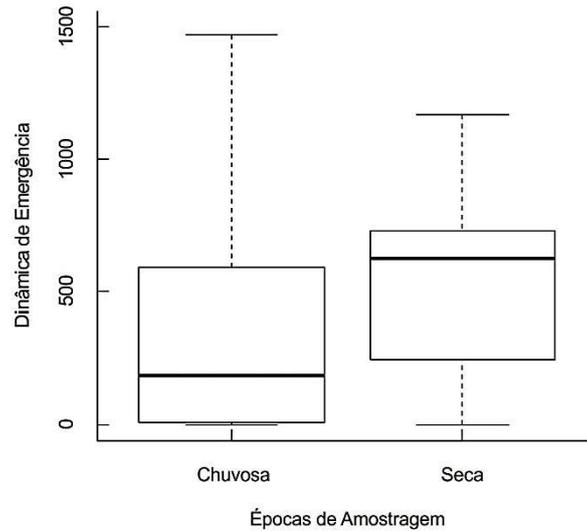


Figura 15-Boxplot da análise de kruskal Wallis para emergência de plântulas entre os períodos de amostragens. São apresentados os valores mínimos e máximos, medianas e desvios padrões.

O estabelecimento das plantas em condições específicas requer das mesmas um conjunto de respostas associadas ao seu potencial gênico (PAHLICH, 1993) de modo a superar as limitações impostas pelo meio, tanto na germinação quanto no desenvolvimento inicial (BARBOSA et al., 2014). Muitas espécies apresentam ciclo reprodutivo marcado por ritmo sazonal conhecido como fotoperíodo, em que a floração ou amadurecimento de sementes ocorre quando há recursos abundantes em uma determinada época do ano (BEGON et al., 2007).

Em condições naturais, florestas decíduais apresentam período de dispersão de sementes principalmente na estação seca e a germinação no início da estação chuvosa, o que parece ser uma característica adaptativa de muitas espécies, por maximizar o aproveitamento da primeira estação chuvosa por parte das plântulas, favorecendo seu estabelecimento (GARWOOD, 1983; VIEIRA & SCARIOT, 2006). Contudo, Vieira et al. (2008) demonstraram que algumas espécies de floresta sazonal seca apresentam dispersão retardada, o que pode ser vantajoso para o estabelecimento inicial de espécies quiescentes, fato que pode justificar a maior germinação na estação seca nas áreas avaliadas. Além disso, pode estar relacionada à persistência de sementes no banco, formado em geral por espécies pioneiras, com a capacidade de permanecerem viáveis no solo por longos períodos de tempo, em estado de dormência endógena ou latência (JANKOWSKA-BLASCZUK & GRUBB, 2006) que não germinaram na estação chuvosa anterior. Outra justificativa ao aumento da taxa germinativa nesta estação é a presença de sementes de espécies de ciclos bianuais, em que os indivíduos florescem

após dois ou mais anos (BEGON et al., 2007; GUREVITCH et al., 2009) de estabelecimento.

Durante a estação seca é possível admitir que as sementes no BSS permaneçam durante mais tempo com baixo teor de umidade. Em sementes ortodoxas o baixo teor de umidade está associado ao aumento do vigor das sementes (AMARAL et al. 1999; MARANGON et al., 2014), em muitas espécies nativas a germinação pode ser favorecida quando as sementes passam por um período de secagem prévia no interior do fruto (SIMÃO et al., 2007), dessa forma, após quebra da dormência, ao serem reidratadas recebem o estímulo para a germinação (BEWLEY & BLACK 1994), o que implicaria na simulação do fim da estação seca e o momento propício para o desenvolvimento das plântulas.

As espécies que se regeneram a partir do BSS apresentam graus diferenciados de dormência de suas sementes, de modo que permaneçam por um determinado período armazenadas sem germinarem. Porém, o mecanismo de dormência por si só não explica a formação de bancos, pois as sementes mantidas sob o solo estão expostas à predação e à ação de microrganismos decompositores (MOTTA et al., 2006), todavia, a permanência do banco de sementes no solo é variável e pode ser determinada por suas propriedades físicas e fisiológicas, como a velocidade de germinação, dormência e viabilidade das sementes (GARWOOD, 2011).

Outro fator que pode interferir na germinabilidade das sementes, e conseqüentemente na emergência das plântulas é a temperatura, pois muitas espécies possuem sementes com a capacidade de germinar dentro de uma determinada faixa de temperatura (PEREIRA et al., 2013), chamadas temperaturas cardinais. A temperatura influencia especialmente por alterar a velocidade de absorção de água e modificar as velocidades das reações químicas que irão acionar o desdobramento, o transporte de reservas, a ressíntese de substâncias para a plântula (MARCOS-FILHO, 2005) e a retomada de crescimento da raiz primária (BEWLEY & BLACK, 1994).

Em temperaturas baixas, a embebição das sementes pode ocorrer, mas não necessariamente ocorrerá a ativação do metabolismo do embrião, ou mesmo promover danos ao embrião ou às plantas. Temperaturas mais altas podem permitir maior velocidade do processo de absorção de água, acelerar as atividades metabólicas e o processo germinativo, contudo podem também afetar o crescimento do embrião ou estabelecimento da plântula (BRADBEER, 1988). Existe uma faixa ótima de temperatura, entre dois intervalos, na qual a velocidade de germinação aumenta

inicialmente, para depois diminuir novamente, tendendo a proporcionar alta germinabilidade e menor tempo médio de germinação (LOPES & FRANKE, 2011) em diferentes espécies.

Barbosa et al. (2014), estudando as respostas germinativas de plantas submetidas à múltiplos fatores de estresse, constataram que a temperatura e luminosidade podem influenciar no processo germinativo e desenvolvimento inicial das plantas, verificando alta da taxa germinativa em temperaturas em torno dos 25°C. Por sua vez, Pereira et al. (2013) constataram que o aumento da temperatura acarretou aumento na porcentagem de germinação e no índice de velocidade de germinação ao estudar a influência da temperatura no processo de germinação de *Peltophorum dubium*.

Em ambas as épocas de avaliação a umidade foi constante, contudo foi verificado que na estação seca houve uma variação na temperatura entre 16°C (mínima) e 29°C (máxima), sendo, portanto, temperaturas consideradas altas para a estação do ano na região. Esse aumento da temperatura associada à ecologia das espécies pode ser um dos fatores que favoreceram a germinação e o desenvolvimento de plântulas (DAPONT et al., 2014) nas áreas avaliadas.

Os dados obtidos neste trabalho corroboram com Gasparino et al. (2006) que encontraram efeitos da sazonalidade sobre a germinação, com maior expressão da germinação nos meses de março e junho (estação seca) nas amostras do banco de sementes oriundas de áreas utilizadas pela agricultura e pecuária. Araújo et al. (2014), também encontraram maior densidade de plântulas germinadas na estação seca.

Outro fator com relevante influência sobre a emergência das plântulas implica na diversidade de espécies no BSS. Nas áreas em estudo, quando comparadas as diferentes áreas, a ocorrência de gramíneas com predomínio de *Brachiaria brizantha* nas RECs era evidente (dados não apresentados), o que pode ter influenciado também na riqueza das sementes no BSS. Os propágulos das diferentes espécies de Poaceae apresentam síndrome de dispersão diszoócorica (SOUZA, 2003), anemocórica ou autocórica (JACOBI & CARMO, 2011), e embora no geral não apresentem estruturas anexas que favoreçam a dispersão pelo vento, o pequeno tamanho e baixa densidade colaboram para a dispersão anemocórica (PENHALBER & MANTOVANI, 1997; SOUZA & IANNUZZI, 2012), sobretudo quando da baixa umidade relativa do ar e alta ventilação nas áreas abertas durante a estação seca (SILVA, 2016).

De maneira geral, sementes apresentam adaptações para os habitats nos quais a espécie se reproduz, aumentando as chances de germinação na época ideal (RIBEIRO,

2014). Contudo, algumas espécies podem apresentar variações nos nichos fenológicos que estão mais relacionados aos processos periódicos endógenos do que adaptações às condições climáticas, podendo, ainda, apresentar floração em ambas as estações do ano (SILVA, 2016).

Entre os diversos fatores que compõem o nicho de germinação, a temperatura, a luz e a disponibilidade de água têm sido descritos como os mais importantes, atuando no controle da germinabilidade, do tempo de germinação e da dormência de sementes de várias espécies tropicais e subtropicais (FERNÁNDEZ PASCUAL et al., 2013; SILVEIRA et al., 2013).

Ribeiro (2014), avaliando a influência dos nichos de regeneração e de sazonalidade sobre a germinação de duas espécies de *Gochnatia* no Cerrado, observou que as mesmas apresentam picos de dispersão de seus diásporos durante a estação chuvosa, e apresentaram variações na amplitude térmica de germinação.

Uma hipótese que não pode ser descartada para o aumento da expressão da germinabilidade de sementes das áreas em restauração na estação seca é o processo de vernalização, no qual sementes hidratadas ou plântulas expostas à temperaturas baixas são induzidas a florescer (TAIZ, 2002), como reportado por Soares et al. (2013), estudando o valor nutritivo de plantas forrageias anuais de inverno.

Outro fator tratado por autores como capaz de influenciar a emergência de plântulas implica na dispersão tardia. A bradisporia consiste no retardo ou distribuição da dispersão dos propágulos ao longo do tempo, para plantas adaptadas às condições de seca, esta estratégia aumenta a probabilidade de germinação de pelo menos algumas sementes nas condições mais favoráveis ao desenvolvimento do embrião. A dispersão tardia pode reduzir a porcentagem de germinação de muitas espécies de florestas sazonais, devido a maior atividade microbiana principalmente em áreas sombreadas que favorecem a desintegração das sementes pré-germinadas (VIEIRA et al., 2008).

O grau de uniformidade na distribuição da germinação de sementes e consequentemente, emergência de plântulas, pode ser mais bem discutida por meio da análise da frequência relativa.

Ao analisar os gráficos de frequência relativa, os picos de emergência exibiram padrão polimodal nas áreas avaliadas em ambas as épocas de amostragem. Na estação chuvosa (Figura 16A), a emergência das plantas, oriundas de sementes do BSS MATA, evidenciou picos de maior intensidade ($FR \geq 13$) entre o 12º e 20º dia e outro de menor frequência entre o 27º e 33º dia. As áreas em restauração apresentaram comportamento

similar, no entanto, com início da emergência no segundo dia após montagem do experimento e picos de frequência variando de 8 a 10 entre o quinto e 10º dia e outro de maior intensidade ($FR \geq 12$) entre o 17º e 20º dia em REC1 e em REC2 os maiores picos de intensidade entre o sétimo e 12º dia e picos de menor intensidade ao longo do experimento.

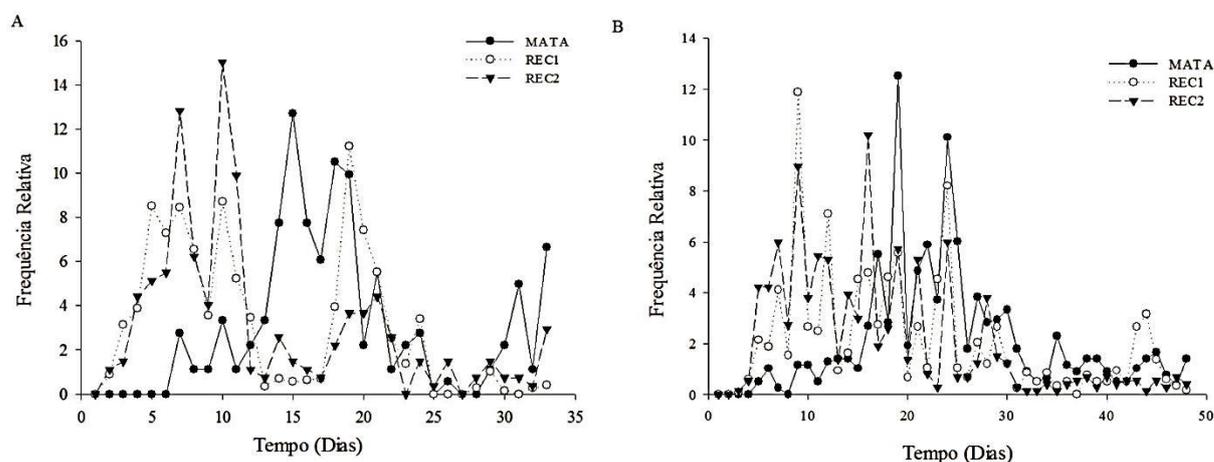


Figura 16-Frequência relativa da dinâmica da emergência das plântulas nas áreas em restauração ecológica e vegetação nativa, na estação chuvosa (A) e seca (B).

Na estação seca (Figura 16 B), todas as áreas avaliadas iniciaram o processo de emergência em torno do quinto dia, sendo esta mais gradual em MATA, com picos de maior intensidade ($FR \leq 13$) entre o 19º e 25º dia aproximadamente, com posterior redução. REC1 exibiu vários picos de menor intensidade ao longo do tempo, com maior expressão da emergência entre o 10º e 14º dia ($FR \leq 12$) e outro por volta do 20º dia. REC2 apresentou comportamento similar às demais áreas, com picos de intensidade moderada e baixa ao longo tempo, com maior expressão da emergência ($FR \leq 10$) entre o sétimo e 27º dia.

O comportamento germinativo polimodal indicou ausência ou pouco sincronismo no processo germinativo em todas as áreas. Ao analisar o índice de sincronização (\bar{E}), a análise estatística indicou que não houve diferença significativa entre as áreas quando analisadas isoladamente em cada época de amostragem. Contudo, foi verificada entre as épocas de amostragem ($H=7,77$ e $p=0,005$) com valores mais elevados na estação seca (\bar{E} variando de 7,17 a 7,58 bits), indicando que a germinação do banco de sementes foi mais assíncrono, podendo ser reflexo da desuniformidade morfofisiológica nas sementes (DORNELES et al., 2013).

Assim, foi observado que nas áreas avaliadas em ambas as estações a germinação foi desuniforme. Os picos de emergência exibidos revelaram a falta de sincronia na

germinação do banco, refletindo em padrão polimodal. Neste contexto, Nassif e Perez, (2000) e Lopes e Franke (2011) enfatizam que a assimetria da distribuição pode mostrar que a heterogeneidade é devida a uma maioria de sementes que demoram para germinar ou a uma minoria de sementes que germinam rapidamente (ou devida a ambos os casos). Ainda, a heterogeneidade e assincronia podem ser indicativos dos efeitos das oscilações ambientais durante a formação das sementes, além da variabilidade genética intrínseca de cada indivíduo da população (DORNELES et al., 2013) e a desuniformidade morfofisiológicas de sementes (Moraes et al., 2016). Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com os encontrados por Cavalcante et al. (2007), estudando a germinação de plântulas de araticum (Annonaceae), espécie nativa do Cerrado, sendo comum nesta família a desuniformidade germinativa associada à imaturidade do embrião das sementes.

A desuniformidade da germinação pode ser uma estratégia de ocupação da espécie, pois permite a emergência em tempos diferentes, diminuindo a competição entre as plântulas, submetendo-as a condições ambientais diferenciadas e reduzindo a herbivoria (MATHEUS & LOPES, 2009). Além disso, essa estratégia pode propiciar maior eficiência no estabelecimento das plântulas, pois as sementes têm oportunidade de produzir plântulas que poderão encontrar condições ideais para o seu desenvolvimento, como sugerido por Godoi e Takaki (2004).

O resultado da análise estatística para a frequência relativa da emergência de plântula indicou que não houve diferenças significativas entre as áreas (Figura 17) em cada amostragem, tampouco entre as épocas (Figura 18), sendo, possivelmente, reflexo da desuniformidade do processo germinativo.

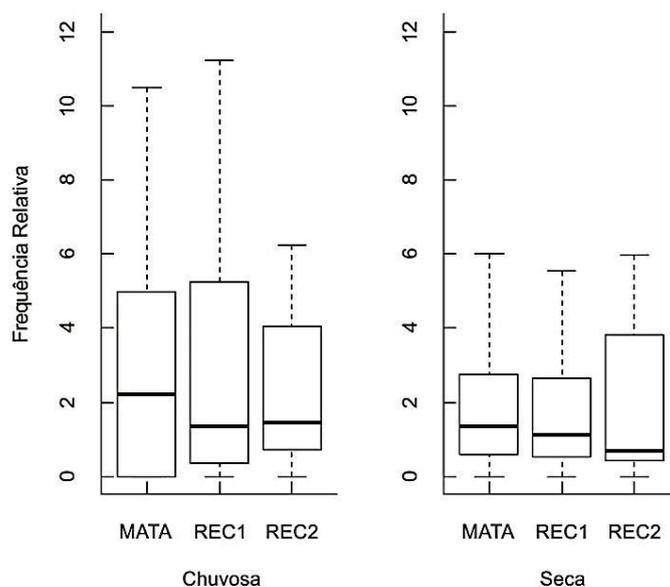


Figura 17-Boxplot da análise de kruskal Wallis da frequência relativa de plântulas nas áreas em restauração ecológica e vegetação nativa, na estação chuvosa (verão) e seca (inverno). $H= 0,2132$ e $H= 0,647$ para a estação chuvosa (verão) e seca (inverno), respectivamente. No gráfico estão sendo apresentados os valores mínimos e máximos, medianas e desvios padrões.

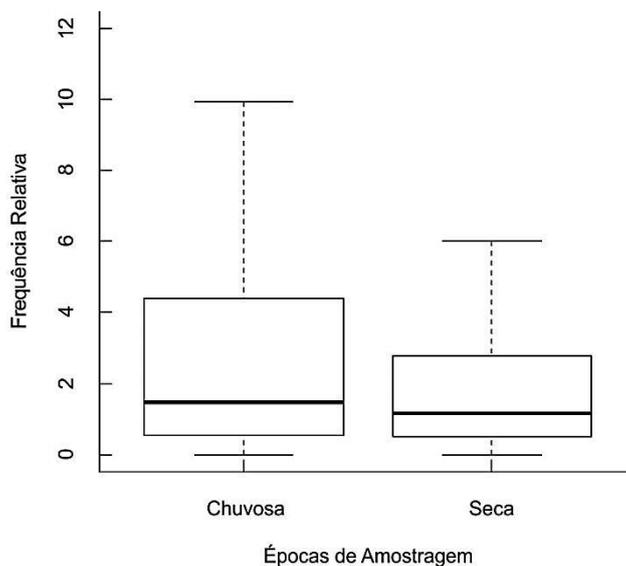


Figura 18-Boxplot da análise de kruskal Wallis da frequência relativa de plântulas entre os períodos de amostragem. $H= 2,21$. No gráfico estão sendo apresentados os valores mínimos e máximos, medianas e desvios padrões.

A descontinuidade do processo de germinação pode estar relacionado aos picos de produção e dispersão de sementes que podem ocorrer ao longo do ano, à dormência de sementes que são produzidas na estação como uma estratégia adaptativa para resistir a períodos desfavoráveis (BRAGA et al., 2016) e à densidade de sementes de espécies pioneiras que se encontravam depositadas na camada superficial do solo cujo

revolvimento e exposição a fatores ambientais favoráveis, germinaram gradativamente ao longo do tempo.

Battilani (2010) enfatiza que estímulos ambientais externos, como fotoperíodo, temperatura, umidade e precipitação são descritos como fatores determinantes no estabelecimento dos ritmos reprodutivos das comunidades de plantas tropicais. Além disso, as espécies florestais tendem a apresentar padrões fenológicos distintos, em que as espécies que produzem frutos e sementes pequenos podem apresentar dispersão ao longo de todo ano, enquanto as que produzem frutos e sementes grandes são propensas a apresentar picos de produção concentrados em curtos períodos.

As diferenças encontradas na germinação podem ocorrer ainda devido à grande variabilidade genética que espécies em seu estado natural comportando e que resultam em ampla variedade de características morfofisiológicas que, por sua vez, são determinantes no comportamento ecológico dos indivíduos de mesma espécie (WIELEWICKI et al., 2006)

Na estação chuvosa as áreas apresentaram menor germinabilidade e maior intensidade de frequência, o que pode resultar em redução do tempo médio de germinação e/ou emergência (PEREIRA et al., 2013), como constatado na tabela 8.

Tabela 8- Variação do Tempo Médio de Germinação e Velocidade Médio de Germinação

Medidas	MATA		REC1		REC2	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
TME (Dias)	18.80	24.60	12.67	19.72	12.58	16.74
IVE (Dias ⁻¹)	0.05	0.04	0.08	0.05	0.08	0.06

TME= Tempo médio de germinação/emergência; IVE= Velocidade de germinação/emergência.

O tempo médio é uma medida de tendência central ponderada pelo número de diásporos que germinam ou plântulas que emergem (BERGER et al., 2014). Como as áreas apresentaram vários picos de emergência, essa informação torna-se inviável. Neste contexto, é recomendada a utilização da frequência relativa de emergência ao longo do tempo, pois essa retrata não só o tempo em que o processo ocorreu, mas a frequência de plântulas que emergiram (BERGER et al., 2014). Ao analisar o comportamento de emergências de plântulas (figura 15), a falta de sincronia indica que os processos de germinação dos diásporos e emergência de plântulas são espalhados em todas as áreas avaliadas em ambas as épocas de amostragem, podendo inferir que algumas espécies apresentam dormência tegumentar ou fisiológica não profunda (Cardoso, 2009), caracterizada pelo parcelamento da germinação ao longo do tempo, o que garante que

pelo menos uma parte dos diásporos germine em condições favoráveis ao desenvolvimento posterior (Labouriau, 1983a).

Os índices TME e IVE não foram avaliados estatisticamente, contudo, foi observado que MATA, em ambas as estações, apresentou maior TME e menor IVE. A velocidade de emergência é influenciada pelo tempo médio de germinação e, conseqüentemente, pela velocidade de germinação das sementes, ou seja, se a germinação ocorrer logo no início do experimento o valor do índice será maior do que se isto ocorrer mais tardiamente. Ainda, se a germinação estiver mais espalhada no tempo, seu valor aumenta (SANTANA & RANAL, 2000),

A rapidez na germinação e emergência mostra a estratégia de muitas espécies para sobreviver no ambiente, favorecidas pela formação do banco de plântulas com as primeiras chuvas (DORNELES et al., 2013) ou quando expostas a condições de umidade favoráveis à germinação. Quanto maior for a velocidade de emergência de uma plântula, desde que esteja apta a responder de modo adaptativo aos condicionantes ambientais (CARLOS, 2014), menos tempo ela ficará exposta aos fatores bióticos e abióticos que possam prejudicar seu desenvolvimento (SAMPAIO et al., 2015) e mais apta será para concorrer aos recursos disponíveis no meio, favorecendo seu estabelecimento .

O processo pouco sincrônico e desuniforme da emergência possibilitou verificar a amplitude do processo germinativo (período entre a primeira e a última germinação), a sobreposição de eventos e o quão espalhado no tempo ele ocorre. A composição do BSS está intimamente ligada à cobertura da vegetação.

Em relação ao estudo da cobertura vegetal das áreas investigadas, observou-se que do total de 176 indivíduos amostrados, foram identificadas 44 espécies, pertencentes à 23 famílias (Tabela 9). Considerando o número de espécies pertencentes aos diferentes grupos sucessionais, no geral, pode-se classificar as áreas em restauração como floresta em estágio médio (CONAMA, 1994), na qual as espécies pioneiras e secundárias iniciais contribuíram para a maior diversidade. As secundárias tardias aparecem em menor expressividade em relação ao número de espécies amostradas. Dessa forma, essa classificação sugere a existência de um mosaico sucessional, em decorrência do histórico de interferência antrópica da área.

Tabela 9 - Famílias e espécies amostradas nas áreas em restauração ecológica e no fragmento de vegetação nativa preservado. Grupos Ecológicos (GE):Pioneoras (P), Si (Secundária Inicial), St (secundária tardia), Climax (C), Sem classificação (SC).

Família	Nome científico	GE*	REC1	REC2	MATA
Anacardiaceae	<i>Schinus polygama</i> (Cav.) Cabr.	P ⁽¹⁰⁾		x	
	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	P, Si, St ^(1, 2, 3)			x
	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	P, Si ⁽⁴⁾		x	
	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All.	Si, St ^(2, 3, 6)	x	x	x
Annonaceae	<i>Annona</i> sp.	SC			x
Araliaceae	<i>Didymopanax morototonii</i> (Aubl.) Dcne. Et Planch.	P, Si ⁽²⁾			x
Arecaceae	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd.	P ⁽¹¹⁾ , Si ⁽³⁾	x		x
Bignoniaceae	<i>Handroanthus avellanadae</i> (Lorentz ex Griseb.)	Si, St ^(2, 6)		x	
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) March.	Si, St ^(2, 6)			x
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blum.	P, Si ^(2, 3, 4)	x	x	
Celastraceae	<i>Maytenus officinalis</i> Mabb.	Si, St ⁽¹⁰⁾	x		
Combretaceae	<i>Terminalia brasiliensis</i> Camb.	P, Si, St ⁽²⁾	x		
Erythroxylaceae	<i>Erithroxylum deciduum</i> St. Hil.	P ⁽¹⁰⁾	x		x
Euphorbiaceae	<i>Sapium haematospermum</i> (M. Arg.) Hub.	P ^(6, 10)	x	x	
	<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) Smith & Downs	P, St ^(2, 6, 8)			x
Fabaceae - Caesalpinioideae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	P, Si, St ^(3, 6)			x
	<i>Hymenaea courbaril</i> L. var. <i>stilbocarpa</i> (Hayne) Lee et Lang.	P, Si, St ⁽²⁾			x
Fabaceae - Cercideae	<i>Bauhinia longifolia</i> (Bong.) Steud.	P ⁽¹⁰⁾ Si		x	
Fabaceae - Faboideae	<i>Dipteryx alata</i> Vog.	P ^(2, 3)			x
	<i>Machaerium</i> sp.	SC		x	
Fabaceae -Mimmosoideae	<i>Anadenanthera</i> sp.	SC		x	
	<i>Inga vera</i> subsp. <i>Affinis</i> (DC.) T.D. Penn.	P ^(2, 8) , Si		x	x

Continuação Tabela 9

Lauraceae	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	St ⁽¹²⁾ , C ⁽⁹⁾			x
	<i>Nectandra cissiflora</i> Ness	P, Si, St ^(6, 10)			x
Leguminosae- Mimosaceae	<i>Mimosa pudica</i> L.	SC	x		
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	P ^(2, 3, 4)	x		
Myrsinaceae	<i>Rapanea ferrugínea</i> (Ruiz et Pav.) Mez	P ⁽²⁾	x		
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	Si, St, C ⁽¹⁰⁾			x
	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg	St ⁽⁷⁾			x
	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	P ⁽²⁾			x
	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	P ⁽²⁾	x	x	
Rubiaceae	<i>Coussarea hydrangeifolia</i> (Benth.) Müll.Arg.	P ⁽¹⁰⁾ , Si			x
Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i> sp.	SC			x
	<i>Chomelia obtusa</i> Cham. & Schultdl.	SC			x
Salicaceae	<i>Xylosma venosa</i>	P ⁽¹¹⁾	x		
Sapindaceae	<i>Talisia esculenta</i> (St. Hil.) Radlk.	P, Si, St ⁽²⁾		x	
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.	P ⁽²⁾ , St ⁽⁷⁾			x
	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	P ^(6, 10)	x		x
Solanaceae	<i>Solanum paniculatum</i> L.	SC		x	

* Grupos ecológicos classificados de acordo com a literatura indicada: (1) CARVALHO, 2006; (2) LORENZI, 2008; (3) MORI et al., 2012; (4) LIMA et al., 2009; (5) CREPALDI & PEIXOTO 2013; (6) ABREU, 2013; (7) SILVA et al 2003; (8) CHAMI et al., 2011; (9) DURIGAN & NOGUEIRA, 1990; (10) LORENZI, 2009; (11) LORENZI, 2009; (12) GRINGS & BRACK, 2009.

Supõe-se, ainda, que nas áreas estudadas a fitofisionomia sofra alterações espaço/temporais representadas tanto pela dinâmica de clareiras (sucessão nas clareiras no caso da MATA) quanto pela sucessão ecológica, atendendo à processos dinâmicos da fitofisionomia como um todo, além daqueles relacionados às variações geomorfológicas de longo prazo da própria comunidade (Hosolen e Herpin, 2014). Esta hipótese se fundamenta pela presença de espécies pioneiras e secundárias iniciais, além de secundárias tardias e clímax.

Assim nas áreas de estudo encontramos estádios iniciais de sucessão (RECs) e estádios intermediários (MATA). Considera-se uma comunidade de plantas como clímax quando suas populações apresentam um domínio permanente do hábitat ou seja, uma série completa de indivíduos distribuídos em cada classe de diâmetro ou idade, para cada espécie (Paula et al 2004).

As espécies com um grande número de indivíduos e que foram as responsáveis pela baixa diversidade e alta uniformidade são, em REC1, *Acrocomia aculeata* e *Trema micrantha*, com sete indivíduos de cada espécie. Na REC2 foram quantificados 28 indivíduos de *Myracrodruon urundeuva* e 12 de *Solanum paniculatum*. Já em MATA, foram observados 20 indivíduos de *Annona* sp. e 15 de *Myracrodruon urundeuva*.

A ampla ocorrência dessas espécies pode demonstrar ser casos de dominância ecológica (RICHARDS, 1952), como reportado por Durães et al. (2014), que encontram grande número de indivíduos de *Acrocomia aculeata* e *Myracrodruon urundeuva*, fato constatado no presente trabalho. Lorenzi (1992) salienta o pioneirismo da espécie *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) em formações secundárias. E ainda, Calgaro et al. (2015) enfatizam que *Myracrodruon urundeuva* como sendo uma espécie é típica de florestas.

O recrutamento e crescimento dos indivíduos são fatores que determinam as principais características das comunidades florestais, como a composição, diversidade de espécies (TILMAN et al., 1997) e sua estrutura. A presença de espécies pioneiras na área de vegetação nativa pode ter influência das altas taxas de distúrbios naturais como a formação de clareiras decorrentes da queda das árvores, o que certamente pode incrementar a concentração de novos (DURÃES et al., 2014) indivíduos tolerantes a luz.

No geral, grande parte dos indivíduos identificadas nas áreas em restauração são pioneiras e secundárias iniciais, como o caso de *Lithraea molleoides*, importantes no processo de restauração de áreas perturbadas, como salientado por Ferreira (2009),

Psidium cattleianum que é considerada uma espécie com funcionalidade importante, devido à sua síndrome de polinização (entomofilia) e dispersão (ornitocoria), ou seja, é uma espécie que atrai a fauna e contribui para o ingresso de outras espécies no sistema (MARCUIZZO et al., 2015).

A presença de diversas categorias sucessionais observadas no presente estudo pode estar associada à deciduidade parcial presente nas Florestas Estacionais Semideciduais que propiciam diferentes microambientes para que diversas espécies cresçam em diferentes situações (RODRIGUES et al., 2010).

Assim, parece sensato afirmar que a presença de sementes viáveis no solo é fundamental à resiliência de áreas perturbadas e para a dinâmica de comunidades florestais. Ao analisar a capacidade regenerativa de um ecossistema perturbado por meio da avaliação da emergência de plântulas que compunham o BBS é possível inferir o potencial de recrutamento de indivíduos nos diferentes estágios sucessionais de uma formação vegetal. Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que as áreas avaliadas apresentam banco de sementes com relativo papel no processo de restauração nas RECs, sendo a sazonalidade capaz de influenciar a germinação e emergência das plântulas, com maior expressão de sementes germinadas na estação seca, mas não suficientes para mudar o comportamento germinativo das sementes que compunham o banco em todas as áreas avaliadas

Essa informação se consolida ao analisar os dados de diversidade vegetal contida nos fragmento florestal preservado e nas áreas em restauração, que por meio da avaliação dos grupos ecológicos formados pelas espécies arbóreas, podendo acompanhar as potenciais perdas e/ou ganhos para a conservação ambiental, indicando assim, o estado de conservação do ecossistema e a sua capacidade de resiliência.

22. CONCLUSÃO

As áreas avaliadas apresentam banco de sementes com características distintas quanto à emergência das plântulas, com destaque para REC1 com maior número de plântulas emergidas, ao passo que MATA e REC2 apresentaram maior semelhança, a ocorrência de espécies pioneiras ou a dominância de sementes de gramíneas elucidam estas respostas.

A sazonalidade foi capaz de influenciar a emergência das plântulas (e consequentemente a germinação), com maior expressão de emergência na estação seca, mas não suficientes para mudar o comportamento de frequência de emergência, que continuou polimodal, caracterizando dormência.

Os resultados obtidos neste trabalho ainda elucidam que as áreas em restauração ecológica encontram-se em condições de oferecer maior resistência por ter predomínio de espécies pioneiras e secundárias iniciais.

23. REFERÊNCIAS

- ABREU, T.S.S. estrutura de um remanescente de floresta estacional semidecidual ribeirinha da fazenda experimental da Universidade Federal da Grande Dourados, MS. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.17, n.2, p. 71-83, 2013.
- AMARAL, L.I.V., PEREIRA, M.F.D.A. & CORTELAZZO, A.L. 1999. Germinação de sementes em desenvolvimento de *Bixa orellana*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, n.3, p.273-285.
- ARAÚJO, V.K.R.; SANTOS, D.M.; SANTOS, J.M.F.F.; SILVA, K.A.; SOUZA, D.N.N.; ARAÚJO, E.L. Influência do status da floresta e da variação sazonal sobre o banco de sementes no meniarido brasileiro. **Gaia Scientia**, v.8, n.1, p. 136-149, 2014.
- BARBOSA, V.M.; NOBREGA, M.A.S.; SANTIAGO, E.F. Respostas germinativas de *Psidium guineense* Swart (Myrtaceae) e plantas jovens a múltiplos fatores de estresse. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.18, n.4, p. 173-178, 2014.
- BATTILANI, J.L. **Chuva de sementes em trecho de floresta riparia, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ecologia e conservação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor. Campo Grande, 2010, 173 p.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J. **Ecologia: de indivíduo a ecossistemas**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007, 752 p.
- BERGER, A.P.A.; RANAL, M.A.; SANTANA, D.G. Variabilidade na dormência relativa dos diásporos de *Lithraea molleoides* (Vell.) Eng. **Ciência Florestal**, v.24, n.2, p. 1-13, 2014.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York and London: Plenum Press, 1994. 445p.
- BRADBEER, J.W. **Seed dormancy and germination**. New York: Chapman and Hall, 1988. 146p. (Tertiary Level Biology).
- BRAGA, A.J.T.; BORGES, E.E.L.; MARTINS, S.V. Seed bank in two sites of semideciduous seasonal forest in Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.40, n.3, p.415-425, 2016.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília: MMA/SBF, 2003, 510 p.
- BROWN, D. Estimating the composition of a forest seed bank: a comparison of the seed extraction and seedling emergence methods. **Canadian Journal of Botany**, v.70, p. 1603-1612, 1991.
- CALEGARI, L.; MARTINS, S.V.; CAMPOS, L.C.; SILVA, R.; GLERIANI, J.M. Avaliação do banco de sementes do solo para fins de restauração florestal em Carandaí, MG. **Revista Árvore**, v.37, n.5, p. 871-880, 2013.

CAPELLESSO, E.S.; SANTOLIN, S.F.; ZANIN, E.M. Banco e chuva de sementes em área de transição florestal no sul do Brasil. **Revista Árvore**, v.39, n.5, p. 821-829, 2015.

CARDOSO, V.J.M. Conceito e classificação da dormência em sementes. **Oecologia Brasiliensis**, v.13, n.4, p. 619-631, 2009.

CARLOS, R.M.N.V. **Multiplicação *in vitro* de cultivares e Porta-erectos de noqueira (*Juglans regia* L.): Estudo das fases de enraizamento e climatização**. Dissertação apresentada ao curso de Engenharia Agrônômica, Escola de Ciências e Tecnologia, da Universidade de Évora para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrônômica, 2014, 41 p.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2006. v.2, 627 p.

CAVALCANTE, T.R.M.; NAVES, R.V.; BRAGA FILHO, J.R.; SILVA, L.B. Influência de substratos e do armazenamento de sementes sobre a emergência e crescimento de plântulas de araticum (*Annonaceae*). **Bioscience jornal**, v.23, n.4, p. 11-20, 2007.

CHAMI, L.B.; ARAUJO, M.M.; LONGHI, S.J.; KIELSE, P.; LÚCIO, A.D. Mecanismos de regeneração natural em diferentes ambientes de remanescente de

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 33 de 07 de dezembro de 1994. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. n. 248, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 dez. 1994. Seção 1. p.21352-53.

CREPALDI, M.O.S.; PEIXOTO, A.L. Florística e Fitosociologia em um fragmento manejado por quilombolas em Santa Leopoldina, Espírito Santo, Brasil: ferramentas para restauração no Corredor Central da Mata Atlântica, **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão (Nova Série)**, v.31, p.5-24, 2013.

DAPONT, E.C.; SILVA, J.B.; OLIVEIRA, J.D.; ALVES, C.Z.; DUTRA, A.S. Métodos para acelerar e uniformizar a emergência de plântulas de *Schizolobium amazonicum*. **Revista Ciência Agrônômica**, v.45, n.3, p. 598-605, 2014.

DORNELES, M.C.; RANAL, M.A.; SANTANA, D.G. Germinação de sementes e emergência de plântulas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. *cebil* (Griseb.). Altschut, Fabaceae, estabelecida em fragmentos florestais do Cerrado, MG. **Ciência Florestal**, 23 (3): 291-304, 2013.

DURÃES, M.C.O.; SALES, N.L.P.; D'ÂNGELO NETO, S.; FIGUEIREDO, M.A.P. Levantamento florístico do estrato arbóreo de três fragmentos de floresta ciliar como subsídio à recomposição da vegetação do Rio Cedro, Montes Claros-MG. **Ciência Florestal**, v.24, n. 1, p. 47-58, 2014.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J.C.B. **Recomposição de matas ciliares**. São Paulo: Instituto Florestal, 1990. 14p. (IF. Série Registros, 4).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF, EMBRAPA, 2013, 342 p.

FERNÁNDEZ-PASCUAL, E., JIMÉNEZ-ALFARO B. DÍAZ T. E. The temperature dimension of the seed germination niche in fen wetlands. **Plant Ecology**, v.214, p. 489–499, 2013.

FERREIRA, A.C. **Densidade e composição do banco de sementes do solo em uma floresta de Restinga após perturbações por fogo: implicações para a restauração.** Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós- Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016, 84 p.

FERREIRA, W.C.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.R. Estabelecimento de mata ciliar às margens do reservatório da usina hidrelétrica de Camargos, Mg. **Ciência Florestal**, v.19, n.1, p. 69-81, 2009.

Floresta Ombrófila Mista, São Francisco de Paula, RS, **Ciência Rural**, v.41, n.2, p. 251-259, 2011.

FRANCO, B.K.S.; MARTINS, S.V.; FARIA, P.C.L.; RIBEIRO, G.A. Densidade e composição florística do banco de sementes de um trecho de floresta estacional semidecidual no campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.36, n.3, p. 423-432, 2012.

GARWOOD, L. Seasonal patterns in the seed bank of a grassland in northwestern Patagonia. **Journal of Arid Environments**, v.35, p. 215-224, 2011.

GARWOOD, N. C. Seed Germination in a seasonal tropical Forest in Panamá: a community study. **Ecological Monographs**, v. 53, n. 2, p. 159-181, 1983.

GARWOOD, N.C. **Tropical soil seed banks: a review.** In: LECK, M.A.; PARKER, T.V.; SIMPSON. R.L. (Ed.) Ecology of soil seed banks. Academic Press, p. 149-209, 1989.

GASPARINO, D.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M.; SOUZA, I. Quantificação do banco de sementes sob diferentes usos do solo em área de domínio ciliar. **Revista Árvore**, v.30, n.1, p. 1-9, 2006.

GODOI, S.; TAKAKI, M. Effects of light and temperature on seed germination in *Cecropia hololeuca* Miq. (Cecropiaceae). **Brasilian Archives of Biology and Technology**, v.47, n.1, p.185-191, 2004.

GRINGS, M.; BRACK, P. Árvores na vegetação nativa de Nova Petrópolis, Rio Grande do Sul. **Iheringia**, Série Botânica, v.64, n.1, p.5-22, 2009.

GRIZ, L.M.S., MACHADO, I.C.S. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. **Journal of tropical Ecology**, v.17, p. 303–321, 2001.

JACOBI, C.M.; CARMO, F.F. Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops, SE Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 395-412, 2011.

JANKOWSKA-BLASZCZUK, M.; GRUBB, P.J. Changing perspectives on the role of the soil seed bank in northern temperate deciduous forests and in tropical lowland rain

forests: parallels and contrasts. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.8, p. 3-21, 2006.

KOTOWSKI, F. Temperature relations to germination of vegetable seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v.23, p. 176-184, 1926.

LABOURIAU, L.G. **A Germinação das sementes**. Washington: Secretaria-Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983a. 173 p.

LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. Série de **Biologia**, Organização dos Estados Americanos. Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1983b. 174p.

LABOURIAU, L.G. On the physiology of seed germination in *Vicia graminea* Sm. I. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.42, p.235-262, 1970.

LIMA, J.A.; SANTANA, D.G.; NAPPO, M.E. Comportamento inicial de espécies na revegetação de mata de galeria na fazenda Mandaguari, em Indianópolis, MG. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.685-694, 2009.

LIU, W.; ZHANG, Q.; LIU G. Seed banks of a river-reservoir wetland system and their implications for vegetation development. **Aquatic Botany**, v.90, n.1, p. 7- 12, 2009.

LOPES, R.R.; FRANKE, L.B. Aspectos térmicos-biológicos da germinação de sementes de cornichão anual sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.10, p. 2091-2096, 2011.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 3 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009. v.2, 384 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 1 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009. v.3, 383 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 5 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v.1, 384 p.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

MARCUZZO, S.B.; ARAÚJO, M.M.; GASPARIN, E. Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: um estudo de caso no Sul do Brasil. **Floresta**, v.45, n. 1, p. 129-140, 2015.

MATHEUS, M. T.; LOPES, J. C. Temperaturas cardinais para a germinação de sementes de *Erythrina variegata* L. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 115-122, 2009.

MORAES, C.E.; LOPES, J.C.; FARIAS, C.C.M.; MACIEL, K.S. Qualidade fisiológica de sementes de *Tabernaemontana fuchsiaefolia* A. DC em função do teste de envelhecimento acelerado. **Ciencia florestal**, v.26, n.1, p. 213-223, 2016.

MORESSI, M.; PADOVAN, M.P.; PEREIRA, Z.V. Banco de sementes como indicadores de restauração em sistemas agroflorestais multiestratificados no sudoeste de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v.38, n.6, p. 1073-1083, 2014.

MORI, E. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FREITAS, N. P.; MARTINS, R. B. **Sementes florestais: guia para germinação de espécies nativas**. São Paulo: Instituto Refloresta, 2012. 159 p.

MOTTA, M.S; DAVIDE, A.C.; FERREIRA, R.A. Longevidade de sementes de mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam, - Sterculiaceae) no solo em condições naturais. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.2, p. 07-14, 2006.

NASSIF, S.M.L.; PEREZ, S.C.J.G.A. Efeitos da temperatura na germinação de sementes de amendoim-do-campo (*Pterogyne nitens* Tul.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.22, n.1, p.1-6, 2000.

NÓBREGA, A.M.; VALERI, S.V.; PAULA, R.C.; PAVANI, M.C.M.D.; SILVA, S.A. Banco de sementes de remanescentes naturais e de áreas reflorestadas em uma várzea do Rio Mogi-Graçu-SP. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p. 403-411, 2009.

PAHLICH, E. Larcher's definition of plant stress: A valuable principle for metabolic adaptibility research. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.5, p. 209-216, 1993.

PAULA, A.; SILVA, A.F.; MARCO JÚNIOR, P.; SANTOS, F.A.M.; SOUZA, A.L. Sucessão ecológica da vegetação arbórea em uma Floresta Estacional Semidecidual, viçosa, MG, Brasil. **Acta botânica Brasileira**, v.18, n.3, p. 407-423, 2004.

PENHALBER, E.F.; MANTOVANI, W. Floração e chuva de sementes em mata secundária em São Paulo, SP. **Revista Brasil Botânica**. v.20, n.2, p. 205-220, 2007.

PEREIRA, I. M.; ALVARENGA, A. P.; BOTELHO, S. A. Banco de sementes do solo, como subsídio à recomposição de mata ciliar. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 721 - 730, 2010.

PEREIRA, S.R.; KALIFE, C.; RODRIGUES, A.P.D.C.; LAURA, V.A.; Influência da temperatura na germinação de sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. **Informativo Abrates**, v.23, n.3, p. 52-55, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. 409p.

RIBEIRO, J.W.F. **Aspectos do nicho de regeneração em duas espécies de *Gochnatia* (Asteraceae) em comunidade de Cerrado**. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Letras de Assis, UNESP, para obtenção do título de mestre em Biociências. 2014, 94 p.

RICHARDS, P. W. **Tropical rain forest**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1952. 450 p.

RODRIGUÊS, B.D.; MARTINS, S.V.; LEITE, H.G. Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do Banco de sementes do solo para restauração florestal em áreas degradadas. **Revista Árvore**, v.34, n.1, p. 65-73, 2010.

ROSOLEN, C.; HERPIN, U. Hydromorphic soil, topographic depression and vegetation development history by using $\delta^{13}\text{C}$ and ^{14}C in Rondônia State (SW Brazilian Amazon). **Geociências**, v.33, n.1, p.136-146, 2014.

SALISBURY, E.J. 1942. **The reproductive capacity of plants; studies in quantitative biology**. London, Bell and Sons. 224p.

SAMPAIO, M.F.; COUTO, S.R.; SILVA, C.A.; SILVA, A.C.A.; SILVA, A.A.S.; TEIXEIRA, A.L. Influência de diferentes substratos associados a métodos de superação de dormência na germinação e emergência de sementes de jatobá (*Hymenaea couraril* L.). **Revista Farociência**, v.2, n.1, p.11-27, 2015.

SANTANA, D.G.; RANAL, M.A. Análise estatística na germinação. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12 (Edição Especial), p. 205-237, 2000.

SCHORN, L.A.; FENILLI, T.A.B.; KRÜGER, A.; PELLENS, G.C.; BUDAG, J.J.; NADOLNY, M.C. Composição do banco de sementes no solo em áreas de preservação permanente sob diferentes tipos de cobertura. **Floresta**, v.43, n.1, p. 49-58, 2013.

SEOANE, C.E.S. **Efeitos da fragmentação florestal sobre a genética de populações de Guarantã**. Documentos 159, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Colombo-PR, 2007. 82 p.

SEUBERT, R.C.; MAÇANEIRO, J.P.; BUDAG, J.J.; FENILLI, T.A.B.; SCHORN, L.A. Banco de sementes do solo sob plantios de *Eucalyptus grandis* no município de Brusque, Santa Catarina. **Floresta**, v.46, n.2, p. 165-172, 2016.

SILVA, A.F.; OLIVEIRA, R.V.; SANTOS, N.R.L.; PAULA, A. Composição florística e grupos ecológicos das espécies de Um trecho de floresta semidecídua submontana da fazenda São Geraldo, Viçosa-MG, **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.311-319, 2003.

SILVA, P.O. Estratégias fenológicas reprodutivas de *Xilopia aromatica* (Lam.) Mart. (Annonaceae) em área de Cerrado. **Cerne**, v.22, n. 1, p. 129-136, 2016.

SILVEIRA F. A. O.; FERNANDES G. W.; LEMOS-FILHO J. P. Seed and seedling ecophysiology of neotropical Melastomataceae: implications for conservation and restoration of savannas and rainforests. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.99, p. 82– 99, 2013.

SIMÃO, E.; NAKAMIRA, A.T.; TAKAKI, M. Época de colheita e capacidade germinativa de sementes de *Tibouchina mutabilis* (Vell.) Cogn. (Melastomataceae). **Revista Biota Neotropica**, v.7, n. 1, p. 67-73, 2007.

SOARES, A.B.; PIN, E.A.; POSSENTI, J.C. Valor nutritivo de plantas forrageiras anuais de inverno em quatro épocas de semeaduras. **Ciência Rural**, v.43, n.1, p. 120-125, 2013.

SOUZA, J.M.; IANNUZZI, R. Dispersal syndromes of fossil seeds from the lower permian of Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.84, n. 1, p. 43-67, 2012.

SOUZA, L.A. **Morfologia e anatomia vegetal: célula, tecidos, órgãos e plântulas**. Ed. UEPG, Ponta Grossa, 2003, 259 p.

TAIZ, L. **The control of flowering**. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Ed.). *Plant Physiology*. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. p. 559-590.

TILMAN, D.; NAEEM, S.; KNOPS, J.; REICH, P.; SIEMANN, E.; WEDIN, D.; RITCHIE, M. & LAWTON, J. Biodiversity and ecosystem properties. **Science**, v. 278, p. 1866-1867, 1997.

VIEIRA, D.L.M.; LIMA, C.C.; SEVILHA, A.C.; SCARIOT, A. Consequences of dry-season seed dispersal on seedling establishment of dry forest trees: Should we store seeds until the rains? **Forest Ecology and Management**, v.256, p. 471-481, 2008.

VIEIRA, D.L.M.; SCARIOT, A. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. **Restoration Ecology**, v.14, n.1, p. 11-20, 2006.

VINHA, S.G.; LOBÃO, D.E.V.P. **Frutificação e germinação das espécies arbóreas nativas do sudeste da Bahia**. Ilheus, Boletim Técnico 94, Comissão Executiva do Plano de Lavoura Cacaueira, 1982, 22 p.

WIELEWICKI, A.P.; LEONHARDT, C.; SCHLINDWEIN, G.; MEDEIROS, A.C.S. Proposta de padrões de germinação e teor de água para sementes de algumas espécies florestais presentes na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.3, p.191-197, 2006.

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da crescente demanda sobre as questões acerca da importância de recuperação dos recursos florestais e da necessidade de conservá-los, em especial os que têm funções específicas e que ocupam áreas de preservação permanente, os estudos que orientam e avaliam a restauração de tais áreas ainda são insuficientes em face da complexidade dos processos ecológicos envolvidos (LIMA et al., 2009).

Ao buscar compreender os processos ecológicos que ocorrem em áreas que estão em restauração, o estudo aqui apresentado partiu de duas vertentes de trabalho, uma que visou analisar a melhoria da qualidade ambiental com base nos atributos do solo e outra que almejou avaliar se duas das cinco áreas apresentavam banco de sementes capaz de fornecer indicativos sobre a capacidade de regeneração natural de uma dada vegetação, a viabilidade das sementes existentes no solo, bem como sua influência na estrutura da vegetação.

Assim, a primeira hipótese deste trabalho propôs que os impactos do uso intensivo de fertilizantes associados à mecanização tenham reflexos sobre a qualidade do solo em área de cultivo de cana-de-açúcar e nas áreas em processo de restauração ecológica que no passado foram cultivadas com pastagem e cana-de-açúcar. A segunda hipótese proposta é que as ações de plantio de espécies nativas e regeneração natural efetuadas nas áreas em restauração ao longo de cinco anos de intervenção, estejam correlacionadas às alterações nos atributos do solo.

Neste sentido, constata-se que o cultivo de cana-de-açúcar resultou em modificações da qualidade do solo por meio de operações mecânicas de máquinas e equipamentos agrícolas na área cultivada e que a restituição de parâmetros de integridade do solo em áreas que sofreram ações de reposição de cobertura vegetal por meio do plantio de mudas nativas ou suspensão do manejo com atividades agrícolas apresentam dinâmica própria, mesmo em áreas com relativa proximidade, tipo e classificação de solo e cobertura vegetal.

Pode-se elucidar ainda que, embora o tempo de restauração seja relativamente curto, o desenvolvimento da cobertura vegetal foi fator crucial para promover a melhoria da qualidade do solo da maioria das áreas em restauração ecológica estudadas.

A terceira hipótese, esta relativa à segunda vertente do trabalho, ressalta que as áreas em restauração apresentam um banco de sementes fundamental à sua resiliência e para a dinâmica de comunidades florestais.

O restabelecimento inicial dos ambientes degradados fornece subsídios para dar o encaminhamento do processo de restauração, pois as espécies vegetais apresentam grande complexidade de adaptação a diversas variações do ambiente. Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que as áreas investigadas apresentam banco de sementes com características distintas quanto à emergência das plântulas, e que a sazonalidade foi capaz de influenciar a emergência das plântulas (e conseqüentemente a germinação), mas não suficiente para mudar o comportamento de frequência de emergência.

Ao avaliar a diversidade vegetal contida no fragmento florestal preservado e nas áreas em restauração, por meio da avaliação dos grupos ecológicos formados pelas espécies arbóreas, foi possível acompanhar seu estado de conservação e sua capacidade de resiliência. Assim, verificou-se que as áreas em restauração ecológica apresentam evolução substancial neste processo, encontrando-se em estágio intermediário de recuperação, sendo atestado pela maior representatividade de espécies pioneiras e secundárias iniciais. Contudo, a manutenção e a proteção dessas áreas darão condições para que o meio se encarregue da continuidade dos processos ecológicos.

Diversos trabalhos sobre a importância de fatores ambientais na ocorrência das espécies demonstraram que a abundância de espécies possui forte influência da variação do solo. Soares et al. (2015) enfatizam que a variação nutricional do solo é o fator mais importante na determinação da diversidade fitofisionômica do Cerrado. Nunes et al. (2015) salientam que os fatores edáficos (pedológicos) são cruciais para explicar os tipos e distribuição das espécies presentes em campos rupestres na Amazônia, assim como apresentado por Mendes et al. (2012) estudando a distribuição das espécies florestais em um campo limpo úmido no Estado do Piauí.

Uma forma de verificar a influência de variáveis ambientais sobre a ocorrência e distribuição das espécies vegetais é a aplicação da análise de correlação canônica (CCA), uma técnica estatística multivariada cujo objetivo é correlacionar simultaneamente possíveis correlações entre as propriedades do solo (seus atributos) e a ocorrência e distribuição das espécies vegetais, normalmente contendo variáveis ambientais específicas, constituindo uma matriz de dados com poucos parâmetros (CONDIT et al., 2013).

Neste trabalho, como a matriz ambiental foi constituída por atributos químicos, físicos e microbiológicos, tornou-se inviável a aplicação de CCA, devido ao grande número de variáveis ambientais. Desta forma, parece sensato afirmar que uma

alternativa plausível para o melhor entendimento dos efeitos dos conjuntos dos atributos do solo sobre a ocorrência das espécies vegetais nas áreas investigadas é fazer uma análise de correlação entre as variáveis e excluir as altamente correlacionadas e, posterior análise dos conjuntos de forma isolada através de uma análise de partição de variância, cujo objetivo é definir frações de explicação da variância de uma matriz biológica utilizando pelo menos dois conjuntos (matrizes) de dados ambientais, que pode ser fundamentada com a aplicação de uma análise de RDA aplicada a cada conjunto ambiental (físico, químico e microbiológico), indicando, desta forma, se o conjunto de variáveis ambientais é significativo para explicar a distribuição e ocorrência das espécies vegetais.

Neste trabalho, a junção de todas as variáveis ambientais e a não exclusão das variáveis altamente correlacionadas impediram a continuidade do objetivo inicial proposto, o qual consistia em fazer uma análise conjunta dos atributos apresentados isoladamente nos capítulos anteriores e verificar sua influência sobre a ocorrência e distribuição das espécies identificadas nas áreas investigadas, excetuando a área de cultivo de cana-de-açúcar.

Contudo, embora não sendo viável a aplicação de técnicas estatísticas mais robustas que viabilizariam maior compreensão dos processos ecológicos que ocorrem nas áreas em restauração, é sensato afirmar que a cobertura vegetal inicial das áreas promoveu melhoria da estrutura e propriedades do solo, tornando-o propício para o recrutamento de novos indivíduos.

Ao findar este trabalho, recomenda-se a utilização de ferramentas geoestatística utilizando dados espectrais para estimativa de parâmetros estruturais da vegetação dos ecossistemas naturais, pois representa um mecanismo importante para calcular o índice de cobertura vegetal, e o dimensionamento do efeito de borda entre os espaços amostrais, contribuindo assim, para melhor entendimento da ecologia de paisagem de áreas em restauração ecológica.

REFERÊNCIAS

LIMA, J.A.; SANTANA, D.G.; NAPPO, M.E. Comportamento inicial de espécies na revegetação de mata de galeria na fazenda Mandaguari, em Indianópolis, MG. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.685-694, 2009.

SOARES, M.P.; REYS, P.; PIFANO, D.S.; SÁ, J.L.; SILVA, P.O.; SANTOS, T.M.; SILVA, F.G. Relationship between Edaphic Factors and Vegetation in Savannas of the Brazilian Midwest Region. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.39, p. 821-829, 2015.

NUNES, J.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERREIRA JÚNIOR, W.G.; NERI, A.V.; CORREA, G.R.; ENRIGHT, N.J. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.87, n. 4, p. 2097-2110, 2015.

MENDES, M.R.A.; MUNHOZ, C.B.R.; SILVA JÚNIOR, M.C.; CASTRO, A.A.J.F. Relação entre a vegetação e as propriedades do solo em áreas de campo limpo úmido no Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. **Rodriguésia**, v.63, n.4, p 971-984, 2012.