

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM MANEJO E CONSERVAÇÃO
DO SOLO E DA ÁGUA



ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E DA FAUNA EDÁFICA COMO INDICADORES DE
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO

Luciano Oliveira Geissler

Pelotas, 2016

Luciano Oliveira Geissler

**ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E DA FAUNA EDÁFICA COMO INDICADORES DE
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Orientador: Prof. Dr. Eloy Antonio Pauletto

Co-orientadores: Prof^a. Dr^a. Tânia Beatriz Gambôa de Araujo Morselli.

Prof. Dr. Danilo Dufech Castilhos

Pelotas, 2016

Catálogo na fonte:

Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

G313a Geissler, Luciano Oliveira

Atributos físico-químicos e da fauna edáfica como indicadores de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão / Luciano Oliveira Geissler ; Eloy Antonio Pauletto, orientador ; Tânia Beatriz Gambôa de Araujo Morselli, Danilo Dufech Castilhos, coorientadores. — Pelotas, 2016.

92 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Ácaros. 2. Colembolos. 3. Hemarthria altissima. 4. Cynodon dactylon. 5. Paspalum notatum. I. Pauletto, Eloy Antonio, orient. II. Morselli, Tânia Beatriz Gambôa de Araujo, coorient. III. Castilhos, Danilo Dufech, coorient. IV. Título.

CDD : 631.4

Universidade Federal de Pelotas

Luciano Oliveira Geissler

**ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E DA FAUNA EDÁFICA COMO INDICADORES DE
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Data da defesa: 15/12/2016

Banca examinadora:

Prof Dr. Eloy Antonio Pauletto
Universidade Federal de Pelotas- UFPEL

Profª Drª. Ana Cláudia Kalil Huber
Universidade da Região da Campanha - URCAMP

ProfªDrª. Lizete Stumpf
Universidade Federal do Rio Grande -. FURG

Profª Drª. Tânia Beatriz Gambôa de Araujo Morselli
Universidade Federal de Pelotas - UFPEl

À minha mãe Dra Sonia Oliveira
Geissler pelo apoio incondicional,
incentivo e persistência para a
realização do presente trabalho

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água e ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, pela oportunidade de realização do curso.

À Companhia Riograndense de Mineração (CRM) e ao CNPQ - Rede do Carvão pelo apoio técnico, logístico e financeiro.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - pela concessão da bolsa de estudos.

Um agradecimento especial ao professor Eloy Antonio Pauletto pela orientação, amizade e paciência.

Aos professores Co-orientadores Tania Beatriz Gambôa de Araújo Morselli, e Danilo Dufech Castilhos e ao Professor Luiz Fernando Spinelli Pinto pela contribuição e colaboração no trabalho desenvolvido.

À Professora Lizete Stumpf por todo o suporte dado para que se possibilitasse a realização do trabalho.

Ao Professor Willian Silva Barros e ao pós-doc Maicon Nardino pela orientação estatística.

Aos bolsistas e estagiários: David de Lima de Souza, Jeferson Diego Leidener, Thais Murias Jardim, Jéferson Prass Pimentel, Leonir Dutra Junior por toda ajuda prestada durante o meu mestrado.

Aos funcionários Dona Ana, Paulo Luis Antunes. Rosimere Trecha Fabres e Sergio Brisolar Rosa pela amizade, carinho e suporte nos trabalhos.

Aos colegas do Departamento de Solos pelo convívio.

À Deus pela oportunidade dada.

À família pelo apoio incondicional.

MUITO OBRIGADO

RESUMO

GEISSLER, Luciano Oliveira. **Atributos físico-químicos e da fauna edáfica como indicadores de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão.** 2016. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – Brasil.

A mineração de carvão a céu aberto gera impactos de grandes proporções ao ambiente, com modificações do ponto de vista físico, químico e biológico do solo, dificultando o novo solo, a curto prazo, em retornar ao estado de organização anterior à mineração. A recuperação das áreas degradadas pela mineração normalmente tem sido realizada através da utilização de plantas de cobertura, a fim de minimizar os efeitos da compactação do solo e da erosão, promover o acúmulo de matéria orgânica, o desenvolvimento da fauna do solo e a ciclagem de nutrientes. Acredita-se que diferentes plantas de cobertura interferem nos processos físicos, químicos e biológicos do solo, e de que a fauna edáfica apresenta-se distribuída de forma diferenciada, de acordo com a espécie vegetal. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo determinar os atributos físicos, químicos e da fauna edáfica (ácaros e colêmbolos) em um solo construído e cultivado com diferentes plantas de cobertura e estabelecer correlações entre estes parâmetros. Foram analisados os seguintes tratamentos de um experimento implantado em 2003: Hemátria (*Hemarthria altissima*), Tifton (*Cynodon dactylon* cv Tifton85), Pensacola (*Paspalum notatum*); Urochloa brizanta (*Urochloa brizantha*) e vegetação espontânea, denominados T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. Para efeitos comparativos foram utilizados os tratamentos: solo construído sem vegetação localizado na área adjacente ao experimento (T6), solo construído com vegetação nativa há pelo menos 15 anos (T7) e o solo natural (T8), pertencente à área de mineração. Após 11 anos de revegetação da área minerada constatou-se que diferentes plantas de cobertura afetam diferentemente a densidade de ácaros e colêmbolos, com destaque para a *Hemarthria altissima*. A população de ácaros e colêmbos está mais relacionada aos valores de pH e de alumínio do que aos valores de cálcio, magnésio e fósforo. Fisicamente, o solo construído revegetado por 11 anos ainda apresenta uma estrutura do solo aquém do solo natural, corroborando com a grande demora na recuperação das áreas impactadas pela mineração de carvão. O monitoramento ao longo do tempo dos atributos físico-químicos e da fauna edáfica torna-se necessário para dimensionar as funções dos solos impactados pelo processo de mineração. A permanência da cobertura vegetal em solo construído é de fundamental importância para que a mesofauna (ácaros e colêmbolos) volte a interagir no ambiente solo-planta-organismos.

Palavras chave: Ácaros, Colembolos, *Hemarthria altissima*, *Cynodon dactylon*, *Paspalum notatum*, *Urochloa brizantha*.

ABSTRACT

GEISSLER, Luciano Oliveira. **Physical-chemical attributes and soil fauna as indicators of recovery of areas degraded by coal mining.** 2016. Dissertation – Postgraduate Program in Soil and Water Management and Conservation. Pelotas Federal University, Pelotas – Brazil.

Surface coal mining generates large-scale impacts to the environment, with changes in soil physical, chemical and biological attributes, making it difficult for the new soil, in the short term, to return to the state of organization prior to mining. The recovery of degraded areas by mining has usually been accomplished through the use of cover crops in order to minimize the effects of soil compaction and erosion, to promote the accumulation of organic matter, the development of soil fauna and the cycling of nutrients. It is believed that different cover plants interfere in the physical, chemical and biological processes of the soil, and that the edaphic fauna is distributed differently, according to the plant species. In this context, the objective of this work was to determine the physical, chemical and soil attributes (mites and collembola) in a constructed minesoil cultivated with different cover crops and to establish correlations between these parameters. The following treatments were analyzed in an experiment established in 2003: Hemarthria (*Hemarthria altissima*), Tifton (*Cynodon dactylon* cv Tifton85), Pensacola (*Paspalum notatum*); Urochloa brizantha (*Urochloa brizantha*) and spontaneous vegetation, denominated T1, T2, T3, T4 and T5, respectively. As reference, the following treatments were used: constructed minesoil devoid of vegetation located in the adjacent area to the experiment (T6), constructed minesoil with native vegetation for at least 15 years (T7) and natural soil (T8) located in the mining area. After 11 years of revegetation of the mined area, the density of mites and collembola were higher in the treatment with Hemarthria (T1). The mite and collembola population is more related to pH and aluminum values than to calcium, magnesium and phosphorus values. Physically, the soil built for 11 years reveals a soil structure below natural soil, corroborating with the great delay in the recovery of areas impacted by coal mining. The monitoring over time of physical-chemical attributes and edaphic fauna becomes necessary to size the soil functions impacted by the mining process. The maintenance of a stable vegetation cover in the constructed minesoil is of fundamental importance for the mesofauna (mites and collembola) to re-interact in the soil-plant-organisms environment.

Key words: Mites, Collembola, *Hemarthria altissima*, *Cynodon dactylon*, *Paspalum notatum*, *Urochloa brizantha*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Coluna geológica da formação Rio Bonito em Candiota-RS	18
Figura 2: Processo de mineração e recomposição topográfica da mina de Candiota-RS...	19
Figura 3: Escarificação (a) e calagem (b) do solo construído	45
Figura 4: Croqui da área experimental em 2003	47
Figura 5: Plantas de coberturas do solo estudadas (estabelecidas) na área de mineração da CRM Candiota-RS	48
Figura 6: Funil de Tüllgren.....	51
Figura 7: Diferenças (Δ test) dos valores de densidade do solo (D_s) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	53
Figura 8: Diferenças (Δ test) dos valores de macroporosidade (M_a) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	54
Figura 9: Diferenças (Δ test) dos valores de microporosidade (M_i) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	54
Figura 10: Diferenças (Δ test) dos valores de porosidade total (P_t) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	55
Figura 11: Diferenças (Δ test) da porcentagem de macroagregados dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	56
Figura 12: Diferenças (Δ test) da porcentagem de microagregados dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	57
Figura 13: Diferenças (Δ test) dos valores do diâmetro médio ponderado (DMP) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)	57
Figura 14: Diferenças (Δ test) dos valores de pH em água dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)	59

Figura 15: Diferenças (Δ test) dos valores da saturação por bases dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	60
Figura 16: Diferenças (Δ test) dos valores da saturação por Al dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	60
Figura 17: Diferenças (Δ test) dos teores de carbono orgânico (CO) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	62
Figura 18: Diferenças (Δ test) do número de ácaros observados nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	63
Figura 19: Diferenças (Δ test) do número de colêmbolos observados nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8).....	64
Figura 20: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionada à variação do teor de cálcio (Ca) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)	65
Figura 21: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do teor de magnésio (Mg) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)	66
Figura 22: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do pH nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5).....	67
Figura 23: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do carbono orgânico (CO) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)	68
Figura 24: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do alumínio (Al) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)	69
Figura 25: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do potássio (K) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)	70
Figura 26: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do Fósforo (P) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores médios de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) e porcentagem de macroagregados e microagregados estáveis em água da camada de 0,00-0,10 m de um solo construído submetido a revegetação com diferentes espécies.	52
Tabela 2: Valores médios de pH em água, dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), fósforo (P), saturação de bases (V) e alumínio (m) e teor de carbono orgânico da camada de 0,00-0,10 m de um solo construído submetido a revegetação com diferentes espécies.	59
Tabela 3: Valores médios de número de Ácaros (A) e Colêmbolos (C) e relação A/C da camada de 0,00-0,10 m de um solo construído submetido a revegetação com diferentes espécies.	63
Tabela 4: Correlação de Pearson entre os atributos físicos e fauna edáfica de um solo construído revegetado por diferentes espécies vegetais.	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. Mineração de carvão a céu aberto e recomposição topográfica da área mineradas....	16
2.2. Recuperação de áreas impactadas pela mineração de carvão	30
2.3. Organismos do solo.....	35
2.3.1 Fauna edáfica como indicador da qualidade do solo.....	38
2.3.2 Importância dos organismos do solo na recuperação de ambientes de ambientes degradados.....	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo	45
3.2. Amostragem do solo.....	48
3.2.1. Análises físicas e químicas.....	49
3.4. Análises da Fauna edáfica	50
3.5. Análise estatística.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1. Atributos físicos do solo construído	52
4.2. Atributos químicos do solo construído	58
4.3. Fauna edáfica do solo construído.....	62
5. CONCLUSÕES	72
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1. INTRODUÇÃO

O carvão mineral é o combustível fóssil em maior disponibilidade no mundo, com reservas que se aproximam de 860 bilhões de toneladas, de acordo com a World Coal Association, as quais estão distribuídas em 75 países. Todavia, países como os Estados Unidos, Rússia, China, Austrália e Índia concentram 75% das reservas existentes. A demanda por energia ao nível mundial até 2035 exigirá o crescimento da operação de usinas em cerca de 35% (PIRES & HOLTZ, 2016)

O Brasil possui uma das maiores reservas de carvão mineral da América Latina, apesar de ocupar a 26ª posição ao nível mundial (CGEE, 2013), e assim como nos demais países, seu uso preponderante é destinado à geração de energia elétrica (DNPM, 2013) principalmente para suprir a escassez por falta de recursos hídricos.

As principais reservas de carvão mineral nacionais encontram-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com aproximadamente 28,6 e 3,4 bilhões de toneladas (89,0 e 10,5% do estoque do país), respectivamente, para um total das reservas brasileiras de 32,6 bilhões de toneladas (CRM, 2014). Esses estoques correspondem a 50 % dos recursos energéticos não renováveis do Brasil, enquanto que o petróleo e o gás natural correspondem, respectivamente, a 10% e 3% dos recursos energéticos brasileiros (CPRM, 2014).

No estado do Rio Grande do Sul a principal e maior jazida de carvão encontra-se na Mina de Candiota, localizada no município de Candiota, distanciado 400 quilômetros ao sudoeste da cidade de Porto Alegre. Na mina de Candiota, as reservas de carvão abrangem cerca de um bilhão de toneladas, representando 38% de todo o carvão nacional, totalmente destinadas à geração de energia termoelétrica e em local próximo à jazida.

A atividade de remoção do carvão, principalmente pela mineração superficial ou a céu aberto, traz problemas ambientais de grandes proporções, pois provoca uma ampla modificação estrutural do ambiente, com modificações da paisagem, a degradação do solo e do ambiente hídrico, a depreciação de imóveis circunvizinhos, dentre outros (CASTRO, 2012) Estes impactos podem ser minimizados com a adoção de técnicas de controle no processo de extração do carvão bem como na posterior construção do solo de áreas mineradas.

A etapa inicial de extração de carvão a céu aberto na Mina de Candiota consiste da retirada dos horizontes do solo, saprólito e das camadas geológicas subjacentes ou intercaladas à camada de carvão, denominadas de estéreis (arenitos, siltitos, argilitos e

folhelhos carbonosos), sendo este material depositado na cava aberta anteriormente, de forma a reconstruir topograficamente a área. Horizontes superficiais do solo são recolocados sobre a camada de estéreis e práticas agronômicas são realizadas (preparo do solo e correção da fertilidade) no intuito de estabelecer a revegetação da paisagem compoáceas e/ou fabáceas exóticas (BITENCOURT, 2014).

Os principais impactos ambientais são gerados a partir dos materiais estéreis depositados nas cavas durante a recomposição topográfica das áreas mineradas. Os estéreis geralmente são ricos em sulfetos de ferro, os quais, na presença do oxigênio da água e ação de bactérias, formam uma solução aquosa de ácido sulfúrico, em um processo chamado de drenagem ácida de mina (DAM), comprometendo a qualidade de águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos, através da acidificação do ambiente e dissolução de metais pesados (BITENCOURT, et al. 2015), o que pode dificultar o estabelecimento de plantas com potencial para a revegetação destas áreas degradadas.

Além de alterações químicas, geram-se também alterações biológicas (MENDES FILHO, 2004), pois o solo ao ser removido do local de origem tem como consequência a redução dos teores de matéria orgânica, da biomassa microbiana e da biota edáfica. Consequentemente, os solos construídos após a mineração de carvão apresentam uma redução na decomposição e mineralização da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, na produção de substâncias cimentantes (polissacarídeos) ou ligantes (hifas fúngicas) e na agregação do solo (RIGOTTI, 2002).

A biotaedáfica é capaz de proporcionar melhorias na estruturação e estabilidade de agregados, na porosidade e consequentemente na aeração do solo, na retenção e disponibilidade de água e de nutrientes às plantas, auxiliando assim no estabelecimento e crescimento vegetal (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006, HOLANDA NETO, 2011)

O conhecimento das condições biológicas do solo em termos de reabilitação também é de grande interesse no contexto ecofuncional de áreas degradadas pela mineração (NÓBREGA et al., 2004), uma vez que a diversidade e a atividade microbiana do solo constituem fatores importantes na sustentabilidade dos ecossistemas. A redução da comunidade biológica do solo pode acarretar não só a perda de importantes funções do solo e de espécies de microrganismos potenciais mitigadoras de efeitos degradativos do solo, mas também reduzir a capacidade dos sistemas naturais de superar as alterações neles impostas.

Além das alterações químicas e biológicas do solo em áreas impactadas pela mineração, ocorrem alterações físicas causadas pela retirada, movimentação, deposição e

preparo do solo durante a recomposição topográfica da área minerada. A compactação é um dos principais problemas oriundos do processo de construção destes solos, devido ao tráfego intenso de máquinas (tratores, carregadores e transportadores) principalmente (SHEORAN et al., 2010). Conseqüentemente, solos construídos tendem a apresentar elevados valores de densidade e de resistência à penetração de raízes, baixos valores de porosidade o que culminam em perdas de solo por erosão e restringem o desenvolvimento das espécies vegetais (STUMPF et al., 2014).

O restabelecimento do equilíbrio ecológico do sistema pós mineração passa primeiramente pela revegetação destas áreas, a qual têm um papel importante na recuperação paisagística, no controle dos processos erosivos e na recuperação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. As espécies vegetais devem se adaptar bem às condições prevalentes de solo e ambiente. (SIQUEIRA et al., 2008).

A presença da fauna edáfica nas áreas revegetadas é um indicativo de que o solo está sendo regenerado e pode servir como um bioindicador da sua qualidade estrutural pois estes organismos são normalmente sensíveis às práticas de manejo, à natureza da cobertura vegetal e às variações sazonais do ambiente.

Avaliações periódicas e a longo prazo dos atributos, químicos, físicos e biológicos de solos construídos após a mineração se tornam necessárias no acompanhamento da evolução da recuperação edáfica dos mesmos. Com este acompanhamento busca-se, estabelecer as melhores alternativas e estratégias na recuperação futura de novas áreas mineradas.

A hipótese levantada neste estudo é de que diferentes plantas de cobertura utilizadas na recuperação de áreas degradadas pelo processo de mineração interferem nos processos físicos, químicos e biológicos do solo, e de que a fauna edáfica apresenta-se distribuída de forma diferenciada, de acordo com a espécie vegetal, constituindo-se em indicador da recuperação estrutural do solo construído. Portanto, o presente trabalho teve por objetivo determinar os atributos físicos, químicos e da fauna edáfica (ácaros e colêmbolos) em um solo construído e cultivado com diferentes plantas de cobertura e estabelecer correlações entre estes parâmetros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Mineração de carvão a céu aberto e recomposição topográfica da área mineradas

O início das atividades de mineração da região sul do Brasil, data da segunda metade do século XIX, quando foi iniciada por trabalhadores ingleses (GOMES et al., 1998). Até próximo do fim do século XX, essa ainda era conduzida sem qualquer plano de recuperação ambiental, que só veio a ser prevista quando o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), responsável pela execução da Política Nacional do Meio Ambiente, criou a resolução CONAMA n° 1 em 23 de janeiro de 1986. Essa resolução estabelece a necessidade do licenciamento das atividades modificadoras do meio ambiente, gerando responsabilidades por parte das empresas com o meio ambiente, conforme consta no artigo no.9 da referida resolução (BITENCOURT, 2014).

De acordo com a Constituição Federal de 1988, artigo 225, parágrafo 2º, as empresas mineradoras são obrigadas a recuperar estas áreas de forma que o solo volte a ter uma capacidade produtiva aceitável (QUINONES, 2004) ou seja: *“aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”*.

A Legislação Brasileira define impacto ambiental como: *“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I- a saúde, a segurança e o bem estar da população; II- as atividades sociais e econômicas; III- a biota; IV- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e V- a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).*

Segundo o Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração (IBAMA, 1990), a definição de degradação se dá da seguinte forma: *“a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico”*.

A mineração a céu aberto é uma das formas mais bruscas de alteração e degradação em um habitat natural ocasionado pelos seres humanos. O solo e o subsolo

são removidos por escavação, proporcionando mudanças permanentes na topografia e nas estruturas geológicas e também no regime hidrológico superficial e subsuperficial (SHRESTHA & LAL, 2011), pois envolve a movimentação de grandes volumes de solo e de rochas (ZHANG et al., 2015; MUKHOPADHYAY et al., 2013). Além do impacto visual, há problemas associados à drenagem ácida de áreas adjacentes (DANIELS & ZIPPER, 2010) afetando os organismos aquáticos e a revegetação do entorno (TIWARY, 2001), à erosão e à compactação (SHEORAN et al. 2010; KRUMMELBEIN & RAAB, 2012; STUMPF et al., 2014; STUMPF et al., 2016) e a perdas de carbono decorrentes da erosão e da desintegração dos agregados do solo natural expostos à ação dos microrganismos (WICK et al., 2009; MAHARANA & PATEL, 2013).

Na mina Candiota a extração de carvão é realizada pela Companhia Rio-grandense de Mineração (CRM), a céu aberto, pois o carvão se localiza em profundidades que variam de 10 a 25m da superfície do solo. São conhecidos 23 leitos de carvão, dos quais somente as camadas Candiota Inferior (CI) e Superior (CS) são economicamente viáveis de exploração, por apresentarem de 2,30 a 6,17m de espessura tendo intercalado dois bancos de argilitos e siltitos de coloração cinza-escuro cuja espessura varia em torno de 0,70m (Figura 1).

O processo de extração ocorre na forma de lavra em faixas e a retirada das camadas sobrejacentes ao carvão é realizada por máquinas de grande porte (*walking-dragline*), o que provoca a mistura dos materiais nas pilhas de estéreis. Para que se tenha um melhor entendimento de como a mineração a céu aberto é realizada e de como o solo é posteriormente construído, apresentam-se as principais etapas envolvidas neste processo (STUMPF et al., 2016): (a)-remoção dos horizontes A, B, e/ou C do solo original (Figura 2 a) que são levados por caminhões para cobertura final de uma área topograficamente aplainada (Figura 2 b, g); (b) remoção das rochas (arenito, siltito e folhelhos) através de escavadeira de alta capacidade (Figura 2 c, d); (c) detonação e remoção dos bancos de carvão (Figura 2 e); (d) deposição dos estéreis ou *spoils* (mistura de rochas e carvão não aproveitados) que são aplainados por tratores de esteira na recomposição topográfica da área (Figura 2 f, g) e (e) finalizando a recomposição topográfica, deposita-se uma camada de solo (horizonte A e/ou B) removida durante a etapa (a) denominada de “terra vegetal” pelos técnicos da mineração (Figura 2 g, h), originando assim o “solo construído” ou antropogênico que é posteriormente vegetado (Figura 2 i, j)

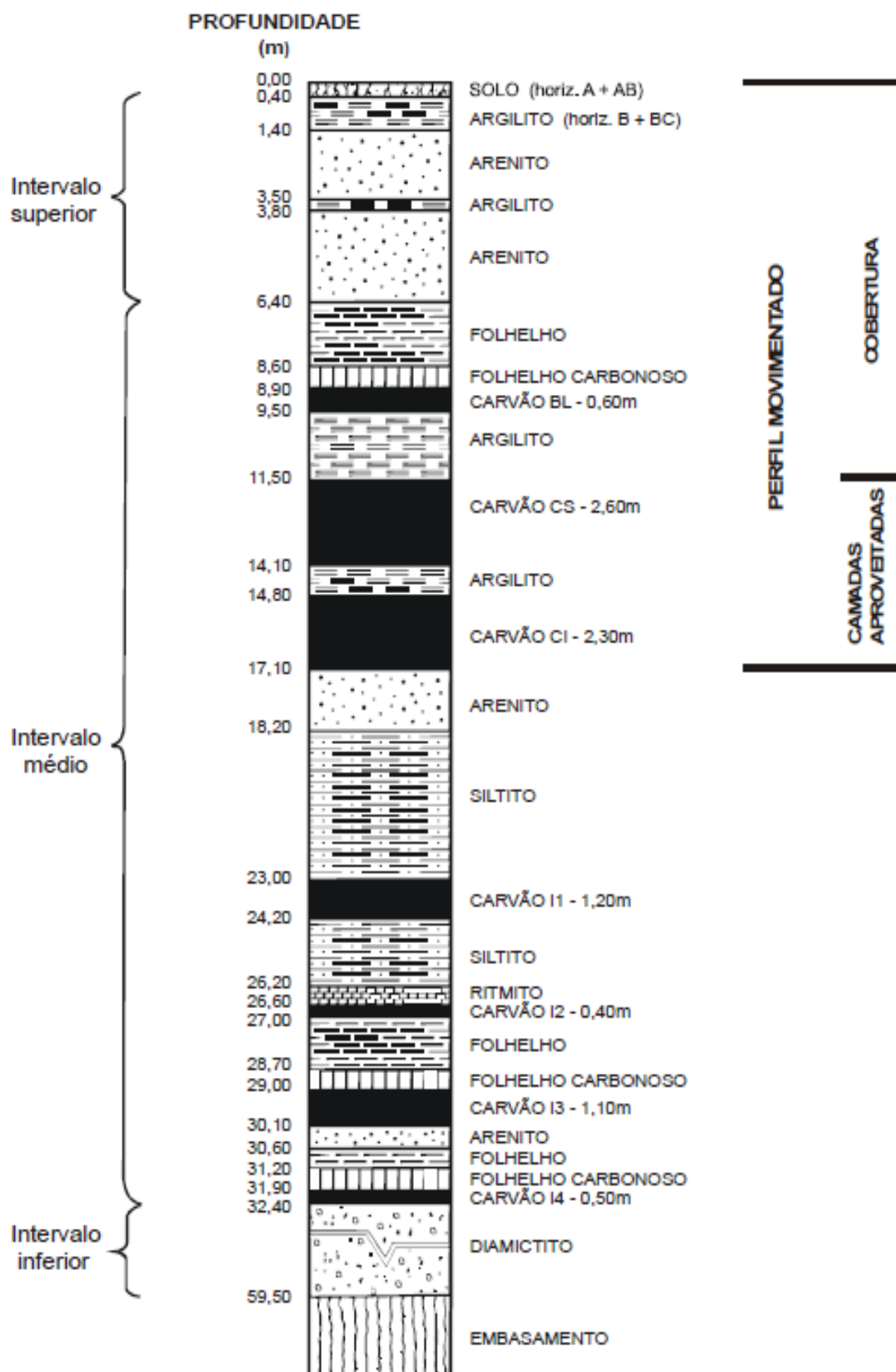


Figura 1: Coluna geológica da formação Rio Bonito em Candiota-RS (adaptado de ADE,1993 por PINTO 1999)



Figura 2: Processo de mineração e recomposição topográfica da mina de Candiota-RS

A degradação, portanto, é resultante principalmente da alteração da vegetação nativa e da fauna do solo, da remoção da camada fértil e da qualidade e regime de vazão do sistema hídrico, os quais podem causar profundas mudanças no ecossistema, tornando-se praticamente inviável a exploração socioeconômica e ambiental da área. Um aspecto a ser destacado são os termos “recuperação”, “reabilitação” e “restauração”, comumente utilizados quando se discute a recuperação de áreas degradadas. A recuperação significa que o ambiente degradado retornará a uma forma e utilização de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, implicando em uma condição em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança, ou seja, o ambiente degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem (CASTRO, 2012). A reabilitação é o retorno da área degradada a um estado biológico apropriado, que pode não significar o uso produtivo da área a longo prazo, como a implantação de uma atividade que renderá lucro, ou atividades menos tangíveis em termos monetários como, por exemplo, a recreação ou a valorização estético-ecológica. É, portanto, um termo mais amplo, referindo-se a ações que restauram a função do ecossistema sem a preocupação com a sua similaridade às condições originais, mas de modo que este novo ecossistema seja resiliente em longo prazo (ENGEL & PARROTTA, 2003). A restauração refere-se à obrigatoriedade do retorno ao estado original da área, ou seja, todos os aspectos relacionados com topografia, vegetação, fauna, solo, hidrologia, devem apresentar as mesmas características anteriores à degradação, o que é praticamente inalcançável no que tange à mineração de carvão a céu aberto (ENGEL & PARROTTA, 2003).

A degradação ambiental gerada pela mineração de carvão não é um processo irreversível, mas sua recuperação é lenta e difícil de ser seguida, pois na sequência temporal, primeiro faz-se a correção dos atributos químicos e físicos para, em seguida, recuperar os atributos biológicos funcionais. O tempo para a recuperação sustentada destes atributos pode variar de poucos anos a várias décadas ou até centenas de anos, dependendo do grau de degradação e do esforço nas ações recuperadoras (HOLANDA NETO, 2011).

Um plano detalhado de recuperação deve ser apresentado para cada mina, contemplando o período compreendido entre o instante inicial das operações até o término da atividade. No caso da mina de Candiota (RS), o Plano de Controle Ambiental (o que contempla o Plano de Recuperação das Áreas e seus Usos Futuros) atribui que, depois de recuperadas, as áreas serão destinadas à formação de pastagens que darão suporte às

atividades ligadas à pecuária extensiva, tão logo estas apresentarem condições para tal. Algumas das áreas exploradas pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM) responsável pela extração do carvão, pertencem a terceiros e, portanto, a empresa revegeta os solos construídos com poáceas, no intuito de devolver as áreas em condições que permitam o uso proposto (CASTRO, 2012).

Neste contexto a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), através do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) trabalha em parceria com a CRM no sentido de avaliar a capacidade do solo construído em ser vegetado e encontrar espécies que melhor se adaptem a estes ambientes com elevada degradação e que possam recuperar mais rapidamente possível os atributos físicos, químicos, biológicos e da fauna edáfica. Buscou-se espécies vegetais que nos seus estágios iniciais de desenvolvimento sejam rústicas e que possuam algumas características como: tolerância ao estresse hídrico; boa adaptação em solos com baixa disponibilidade de nutrientes; rápido crescimento para evitar os processos erosivos; sistema radicular capaz de explorar amplos volumes de solo sob condições adversas para melhorar os atributos, principalmente, físicos do solo; alto potencial de produção de biomassa e com isso contribuir para a adição de carbono orgânico e nitrogênio ao solo e para manter o solo coberto e melhorar os atributos microbiológicos e da fauna edáfica; e que sejam adaptadas ao ambiente natural da região do Bioma Pampa. Escolheram-se plantas predominantemente perenes ou com alta capacidade de se perpetuarem na área por ressemeadura. Vários trabalhos foram desenvolvidos até o presente momento (Dissertações, Teses, Artigos Científicos publicados em Revistas Nacionais e Internacionais etc.) que fazem parte do acervo da FAEM/UFPEL, os quais serão apresentados a seguir.

No início da década de 2000 iniciaram-se os estudos em áreas recuperadas pela CRM fazendo uma caracterização de atributos de solos construídos com diferentes idades e correlacioná-los com os do solo natural, apresentados em sequência cronológica:

a) Nunes(2002) ao comparar solos construídos com 1(SC1) e 5 (SC5) anos de idade e um solo natural, em um estudo ao longo de uma transecção de 120m, observou que os métodos de construção que utilizam pouca espessura de solo originam solos construídos com grande quantidade de estéreis de mineração (*spoils*), os quais promovem uma maior densidade do solo, menor macroporosidade e elevada resistência mecânica à penetração, além de um baixo valor de pH (em torno de 2,4). Em relação ao solo natural, observou que

os solos construídos com 1 e 5 anos de idade possuíam maior densidade e menor porosidade total.

b) Guadagnin (2002) nos mesmos solos estudados por Nunes (2002), observou que:(a) a taxa básica de infiltração da água nos solos construídos é baixa a média e superior a do solo natural utilizado como referência que foi classificada como muito baixa;(b) a variação da taxa básica de infiltração da água ao longo da transeção nos solos construídos é muito alta, com valores extremos variando de muito baixo a muito alto no solo mais recente (SC1) e de baixo a alto no solo mais antigo (SC2), enquanto que a do solo natural é menor e mais homogênea; (c) a baixa macroporosidade não permite estabelecer uma relação direta entre sua magnitude e a taxa básica de infiltração;(d) os parâmetros de variabilidade espacial da taxa básica de infiltração de água indicam uma fraca dependência espacial, com uma tendência dos solos construídos mostrarem uma flutuação periódica da semivariância ao longo da transeção.

c) Leitzke (2002), nos mesmos solos verificou que:(a) a quantidade de água armazenada na camada de 0,0 – 0,10 m dos solos construídos foi menor que a do solo natural para os dois critérios de limite superior de água retida adotados (0,006 e 0,033 MPa), já na camada de 0,10 – 0,20 m, a quantidade de água armazenada do SC2 foi menor que a do SN e igual a do SC1 para a água retida na tensão de 0,006 MPa e maior na de 0,033MPa, o SC2 armazena mais água que os demais solos;(b) da quantidade total de água armazenada apenas cerca de 32 a 35% e 22 a 23% estava disponível quando se adotou como critério de limite superior a água retida nas tensões de 0,006 MPa e 0,033 MPa, respectivamente;(c) a quantidade de água disponível diminui cerca de 30 a 60 % quando se adota o critério de limite superior a água retida na tensão de 0,033 MPa em relação a água retida na tensão de 0,006 MPa;(d) os solos construídos disponibilizaram a mesma quantidade de água que o solo natural na camada de 0,0 – 0,10 m, porém disponibilizam menos na camada de 0,10 – 0,20 m, para os dois critérios adotados;(e) a variação da água armazenada e disponível ao longo da transeção para os três solos estudados oscilou entre 32 a 50% e 60 a 96%, respectivamente, apresentando um efeito pepita alto a muito alto, o que indica uma fraca dependência espacial.

Em 2003 o Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da UFPEL em conjunto com a CRM instalou um experimento de campo de longa duração visando a identificação de espécies vegetais (poáceas e fabáceas) que melhor se adaptem a este ambiente impactado pela mineração de carvão e estudar seus efeitos nos atributos

físicos, químicos, biológicos (microbiológicos) e da fauna edáfica. Neste experimento, até o presente momento, destacam-se os seguintes trabalhos:

a) Franco (2006) avaliando a agregação do solo construído, aos 5 meses de condução do experimento, não observou diferença significativa entre as espécies nas camadas de 0,00-0,10m e de 0,10-0,20m. Todavia, a maior concentração de agregados na camada de 0,00-0,10m ocorreu na classe de 1,00-0,25mm (32,67%), enquanto que na camada de 0,10-0,20m a maior concentração ocorreu na classe de 4,76-2,00mm (26,68%). O teor médio de carbono na camada de 0,00-0,10m foi de 5,34 g kg⁻¹ e na camada de 0,10-0,20 m de 5,18 g kg⁻¹.

b) Bonumá (2006), em experimento de campo e de laboratório concluiu que:(a) após dois anos de calagem os dados do experimento de campo apontam para uma acidificação ainda muito incipiente e para a não necessidade de reaplicação de calcário;(b) a dose aplicada foi maior do que a planejada devido à incorporação muito superficial do calcário;(c) os dados do experimento de lixiviação indicam que para proporções mais altas de estéril (100, 50 e 25%) somente doses maiores do que a recomendada pelo H+Al conseguem manter o pH acima de 5,0 e que para proporções menores a dose recomendada consegue controlar o pH; (d) o experimento de lixiviação demonstrou também que o solo não consegue tamponar o pH com pequenas proporções de estéril, ocorrendo a acidificação com valores de pH abaixo de 5,0; (e) no caso do material com altas proporções de estéril, mesmo com o controle do pH exercido pelo calcário, as concentrações de sulfato, Ca, Mg e K permanecem altas, indicando a necessidade de outras medidas para diminuir a alta concentração das águas de drenagem.

c) Santos (2006) verificou após 562 dias de cultivos que: (a) os cultivos de Hemártria e consórcio de Hemártria +amendoim forrageiro no solo construído, foram aqueles que apresentaram os maiores rendimentos de matéria seca, com valores semelhantes à produtividade dessas culturas em condições normais; (b) as aplicações de nutrientes e de calcário na área de cultivo no solo construído, de modo geral, aumentam os valores de condutividade elétrica e de sódio trocável, mas se equiparam ao solo natural com o passar do tempo; (c) os teores de carbono orgânico e nitrogênio total no solo construído ainda são menores que no solo natural adjacente à área de mineração; (d) os cultivos de Hemártria (*Hemarthria altíssima*), Tifton (*Cynodon dactylon*), Pensacola (*Paspalum notatum*) e Tifton + Amendoim forrageiro (*Arachis Pinto*), aumentam os teores de carbono da biomassa microbiana no solo construído, após 380 dias de cultivos; (e) os teores de nitrogênio da biomassa microbiana são menores que no solo natural adjacente à área de mineração; (f)

a atividade microbiana se restabelece à medida que se aumenta o tempo de cultivo no solo construído e após 562 dias do cultivo de Tifton + Amendoim forrageiro a atividade microbiana foi semelhante a do solo natural; (g) a intensa liberação de CO₂ em todos os tratamentos aumentou o qCO₂ a valores superiores ao observado no solo natural.

d) Gonçalves (2008), após 41 meses de condução do experimento, verificou, com relação aos atributos físicos: densidade, porosidade total e microporosidade; que houve aumento, embora não significativo para alguns tratamentos; que a resistência à penetração diminuiu principalmente na camada de 0,0 – 0,20m. Com relação à agregação verificou que a maior concentração de agregados estáveis em água manteve-se na classe 1,00 a 0,25mm, de forma mais acentuada na camada superficial(40,13%) em todos os tratamentos e que o diâmetro médio ponderado de agregados diminuiu em ambas as camadas, apesar do conteúdo de carbono orgânico ter aumentado, cujos valores foram de 7,38 g kg⁻¹ e de 6,20 g kg⁻¹ nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m, respectivamente. Concluiu que o efeito das diferentes plantas de cobertura nos atributos físicos do solo estudados ainda é incipiente.

e) Miola (2010), avaliando a pressão de pré-consolidação após 72 meses de condução do experimento, observou que o menor valor da pressão de pré-consolidação foi proporcionado pela *Hemarthria altissima* (71 kPa) e os maiores valores proporcionados pelo *Paspalum notatum* cv. Pensacola (120 KPa), *Cynodon dactylon* cv. Tifton (120 kPa) e a *Urochloa brizantha* (118 kPa).

f) Leal (2011) observou após 72 meses que a *Hemarthria altissima* e a *Brachiaria brizantha* (*Urochloa brizantha*) proporcionaram os maiores estoques de carbono na fração leve livre (1,22 Mg ha⁻¹ e 1,27 Mg ha⁻¹ respectivamente) em relação à *Paspalum notatum* (0,86 Mg ha⁻¹) e ao *Cynodon dactylon* (0,83 Mg ha⁻¹) na camada de 0,00-0,03m. Em relação ao estoque de carbono da fração leve oclusa a *Hemarthria altissima* e o *Cynodon dactylon* apresentaram os maiores teores (1,09 Mg ha⁻¹ e 1,02 Mg ha⁻¹ respectivamente) em relação ao *Paspalum notatum* (0,61 Mg ha⁻¹) As coberturas vegetais promoveram uma recuperação parcial do estoque de carbono orgânico total e das frações húmicas (HU, AH e AF) em relação ao solo construído descoberto. Entretanto, os seis anos de cultivo foram insuficientes para aproximar estes estoques dos valores do solo natural. O ácido húmico foi a única fração sensível em detectar as alterações na matéria orgânica decorrentes das espécies utilizadas para vegetação. A Hemátria e a Braquiária proporcionaram maiores aumentos de AH no solo, elevando o grau de humificação da matéria orgânica. A análise de infravermelho permitiu identificar diferenças na estrutura dos ácidos húmicos. O ácido

húmico do solo sob Braquiária, Hemártria e Pensacola foi semelhante ao do solo natural, com caráter mais alifático e reativo. Por outro lado, o ácido húmico do solo sob Tifton apresentou caráter mais aromático assemelhando-se ao do solo construído descoberto. A Hemártria e a Braquiária mostraram-se com maior potencial para recuperação da matéria orgânica do solo construído.

g) Holanda Neto (2011) observou um aumento dos teores de carbono orgânico total e a respiração basal de um solo construído sob revegetação há 2 anos (*Urochloa brizantha*, *Cynodon dactylon* cv. capim vaquero, *Panicum maximum*, *Urochloa humidicola*, *Hemarthria altissima* e *Cynodon dactylon* cv. Tifton) em relação a um solo construído não vegetado. As espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontradas na área de estudo foram: *Acaulospora mellea*, *Entrophospora infrequens*, *Glomus clarum*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus tortuosum*, *Glomus* sp., *Glomus clavisporum*, *Glomus dominikii*, *Glomus etunicatum*.

h) Stumpf (2011), observou que o pouco tempo de condução do experimento impediu que as diferentes plantas de cobertura manifestassem seu pleno potencial na melhoria dos atributos físicos do solo construído estudado. Com relação à testemunha (solo construído sem plantas de cobertura) os tratamentos estudados contribuíram, principalmente, na melhoria dos atributos densidade, porosidade total e carbono orgânico nas duas camadas estudadas, com destaque para as braquiárias. A utilização de plantas de cobertura, de modo geral, aumentou os valores da pressão de pré-consolidação do solo em relação à testemunha e que o índice de compressão (IC), não apresentou diferença significativa entre tratamentos quando comparado com a testemunha, o que pode estar relacionado ao pouco tempo de condução do experimento.

i) Castro (2012) observou aos 78 meses de condução do experimento, que a concentração de macroagregados foi maior na camada de 0,10-0,20m (87,56%) em relação à camada de 0,00-0,10m (81,15%). O teor médio de carbono orgânico na camada de 0,00-0,10m foi de 8,46 g kg⁻¹ e na camada de 0,10-0,20m foi de 6,39 g kg⁻¹.

j) Reis (2012) observou que a resistência tênsil de agregados de um solo construído sob revegetação há três anos (*Cynodon dactylon* cv. capim vaquero, *Panicum maximum*, *Urochloa humidicola* e *Urochloa brizantha*) esteve associada negativamente com o teor de carbono orgânico total nas camadas de 0,00-0,05m e de 0,10-0,15m. Os valores de RT variaram de 82,41 kPa a 112,28 kPa na camada 0,00-0,05m e de 91,40 kPa a 191,41 kPa na camada 0,10-0,15m.

l) Valadão (2013) relacionou atributos químicos e microorganismos simbiotes na revegetação de solos degradados pela mineração e obteve as seguintes conclusões: (a) os dados químicos variaram em função da heterogeneidade dos materiais que compõem os solos construídos e dos diferentes manejos adotados (com ou sem calagem e adubação); (b) as áreas mais antigas, vegetadas com nativas e com eucalipto apresentaram-se nitidamente acidificadas, com menores pH, cálcio, magnésio e saturação por bases e mais elevados teores de alumínio e acidez potencial; (c) para os metais analisados os teores estão abaixo dos limites de investigação para áreas agrícolas, indicando que os solos pós-minerados não estão muito contaminados, (d) a revegetação do solo construído aumentam os teores de carbono orgânico total e a respiração basal; (e) cultivos como os de Acácia-negra, Hemátria, e Braquiária aumentam os teores de carbono e nitrogênio microbianos a valores, entretanto inferiores aos observados na área com campo nativo; (f) o cultivo de Hemátria proporciona ao solo um número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares próximos ao observado na área de campo nativo e (g) O fungo micorrizico arbuscular *Glomus tortuosum* foi a espécie presente em todas as áreas de estudo indicando uma maior diversidade ambiental.

m) Stumpf (2015), através de observações visuais realizadas nos monólitos de solo na profundidade de 0,30 m, bem como os resultados dos atributos radiculares e de solo analisadas separadamente nas camadas de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, sugere uma diferente hierarquia de agregação em solos minerados, que foram compactados durante sua recomposição topográfica, e revegetados por diferentes plantas de cobertura. Isto é, após 103 meses de revegetação, observou-se nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m agregados grandes e extremamente compactos, advindos da compressão da massa de solo desagregada durante a recomposição topográfica da área minerada. Nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m observou-se agregados menores advindos da quebra dos agregados grandes e coesos através da ação dos ciclos de umedecimento e secagem e do desenvolvimento inicial do sistema radicular das plantas, com presença de microagregados coesos, às vezes recoberto por raízes. Especificamente na camada de 0,00-0,10 m observou-se a presença de microagregados com pequenos fragmentos de raiz e formação de agregados grumosos. Aliados aos dados de agregação, também se observaram na camada de 0,00-0,10 m os menores valores de densidade do solo (D_s) (1,22 a 1,45 $Mg.m^{-3}$), de resistência tênsil (RT) (69,89 a 92,93 kPa), resistência à penetração (RP) (1,41 a 2,52 MPa) e os maiores valores de porosidade total (PT) (0,4 a 0,49 m^3m^{-3}) e de macroporosidade (Ma) (0,09 a 0,15 m^3m^{-3}), enquanto que nas camadas

abaixo de 0,10 m, eram mais elevados os valores de D_s (1,36 a 1,59 Mg m^{-3}), de RT (167,05 a 212,93 kPa), de RP (4,06 MPa a 5,92 MPa), e os menores valores de PT (0,37 a 0,44 m^3m^{-3}) e a Ma (0,02 a 0,11 m^3m^{-3}). Os baixos teores de carbono na fração leve livre e leve oclusa até a profundidade de 0,20m estão relacionados à degradação da estrutura do solo, que dificulta o estabelecimento de raízes em profundidade, assim como a presença de organismos do solo responsáveis pela transformação dos resíduos radiculares em matéria orgânica. A recuperação dos atributos físicos do solo construído, principalmente abaixo da camada de 0,00-0,10m, mostra ser lenta quando comparada com o solo natural, possivelmente devido ao baixo aporte de carbono orgânico no sistema. Dentre as espécies estudadas (*H. altissima*, *P. notatum*, *C. dactylon*, *U. brizantha*), a *Urochloa brizantha* apresentou a maior densidade, volume, comprimento e área radicular, e consequentemente apresentou o maior potencial de recuperação dos atributos físicos de áreas degradadas, principalmente das camadas abaixo de 0,10 m.

Foram realizados também trabalhos visando estudar especificamente o efeito do tráfego de máquinas utilizadas na construção do solo em seus atributos físicos:

a) Vellar (2012), com os resultados obtidos concluiu que: (a) os eventos de tráfego de máquinas agrícolas em solos construídos após mineração de carvão afeta os atributos físicos do solo, aumentando a densidade e diminuindo principalmente a macroporosidade e a condutividade hidráulica de solo saturado nas camadas superficial e subsuperficial; (b) a resistência mecânica à penetração aumentou com o número de eventos de tráfego, transmitindo-se em profundidade, com maior evidência até a camada de 0,10 - 0,20m; (c) no potencial de 6kPa, foram apresentados, de forma geral, os maiores valores de índice de compressão e menores valores de pressão de pré-consolidação nas duas camadas avaliadas; (d) a densidade na pressão de pré-consolidação, em ambas as camadas e potenciais avaliados foi sensível para indicar diferenças em um solo construído sob diferentes eventos de tráfego; (e) na camada de 0,00 - 0,05 m, o grau de compactação na pressão de 200 kPa, nos potenciais de 6 e 33 kPa são diferentes entre os eventos de tráfego testados. No grau de compactação na pressão de 1.600 kPa, somente no potencial de 10kPa não foi indicado diferenças. Na camada de 0,10 - 0,15 m, de maneira geral, todos os potenciais revelaram modificações nos graus de compactação.

b) Barboza (2016) verificou que: (a) os atributos físicos do solo densidade, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, resistência mecânica a penetração e a condutividade hidráulica foram os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade a variação dos eventos de tráfego de máquinas; (b) o tráfego de máquinas diminuiu a

porosidade total e a macroporosidade e aumentou a densidade, a microporosidade, a resistência mecânica à penetração e o conteúdo de água disponível no solo; (c) a condutividade hidráulica do solo apresentou reduções maiores que 50% comparando T0 (sem eventos de tráfego) com os demais eventos de tráfego de máquina; (d) as curvas de retenção de água no solo nos tratamentos que envolveram eventos de tráfego apresentaram comportamento semelhante, entretanto ocorreu aumento do conteúdo de água disponível com a ocorrência dos eventos de tráfego; (e) a tensão de pré-consolidação e o grau de compactação foram pouco influenciados com o aumento dos eventos de tráfego; (f) a formação de agregados maiores (macroagregados) está possivelmente relacionada ao efeito da compressão da máquina no solo, visto a maior compactação do mesmo (aumento da DS e RP, redução da Pt), no entanto cabem novos estudos à respeito; (g) as condições do estudo demonstraram que o efeito da máquina no processo de recomposição da camada superficial do solo resultou em atributos físicos do solo próximos aos observados no horizonte B utilizado, quando este se encontrava no perfil de extração; (h) nas condições de umidade do solo em que foi realizado o ensaio de compactação com o aumento de eventos de tráfego conclui-se que apenas um evento é suficiente para causar a máxima compactação do solo.

Estudos específicos sobre o problema da drenagem ácida de mina e a presença de metais pesados no solo e subsolo também foram realizados cujos resultados foram obtidos por:

a) Silva (2012), verificou que: (a) devido à ausência de terra vegetal, a camada superficial dos solos construídos das áreas mineradas anteriormente à resolução CONAMA 001/86 (malhas I e II) apresenta acidez muito alta e o complexo trocável praticamente saturado com alumínio, condição muito limitante para o desenvolvimento das plantas; (b) os métodos atuais de mineração, com recuperação concomitante com a lavra e colocação de “terra vegetal”, foram capazes de criar condições químicas mínimas para o desenvolvimento das plantas, porém não conseguem evitar o desenvolvimento de drenagem ácida em subsuperfície; (c) a capacidade de tamponamento do pH pelas bases no material de estéril é muito baixa, conseguindo algum efeito sobre esse apenas em proporções acima de 50% no complexo trocável; (d) com base na resolução 420 do CONANA, de 28/12/2009, os solos construídos estudados apresentam metais em teores abaixo dos valores de investigação, porém com alguns metais com teores acima dos valores de prevenção (As, Se, Mo e Ba), indicando necessidade de controle das fontes de contaminação e de monitoramento.

b) Bittencourt (2014) verificou que: (a) as camadas mais profundas dos solos construídos, compostas pelo estéril de mineração de carvão, em todas as malhas estudadas, apresentaram um predomínio de textura fina, com fragmentos de carvão disseminados ao longo dessas camadas; (b) a capacidade de troca de cátions do estéril é duas a três vezes mais elevada do que das camadas de argila e de terra vegetal, com grande predomínio de cátions ácidos nas malhas I e II (V% entre 4 a 42%) e maior presença de cátions básicos nas malhas IV e VII (V% entre 26 e 79%), como resultado do processo de intemperismo de minerais primários e disponibilização de bases acelerado pelo processo de sulfurização/acidificação; (c) a análise mineralógica por difratometria de raios X na forma de pó da amostra total apresentou uma mineralogia dos estéreis à base de quartzo, caulinita, feldspato potássico e micas, apresentando também, a ocorrência de gipsita, anidrita e jarosita, como resultado do processo de sulfurização. Uma das camadas caracterizadas (malha IV-TA) apresentou também esmectita e siderita, mostrando ser proveniente de um estrato geológico mais rico em bases; (d) o potencial de acidificação da malha II foi superior ao da malha I em função da diferença de idade desses solos construídos, não ocorrendo o mesmo para os estéreis das malhas IV e VII, que foi inferior ao das malhas I e II, apesar da mesma tendência de geração de acidez. Por outro lado, as camadas de terra vegetal e argila (malhas IV e VII) apresentaram potencial líquido positivo (não geradoras de acidez), indicando estarem livres de contaminação por sulfetos; (e) ambos os métodos de extração de solução do solo, isto é, extrato da pasta saturada (laboratório) e lisímetro de sucção (campo), se mostraram similares em termos de concentração de íons extraídos, apesar de análise de diagramas de estabilidade mineral mostrar comportamento discrepante, em função da atividade maior do Al na solução extraída com a pasta saturada em laboratório, mais diluída; (f) mesmo discrepante, as soluções extraídas por ambos os métodos e analisadas em diagramas de estabilidade mineral confirmam resultados da literatura, os quais indicam o controle da solubilidade do Al nas soluções ácidas por sulfatos de Al e não por silicatos ou por hidróxidos de Al (gipsita); (g) a avaliação da solução do solo confirma a formação de drenagem ácida em profundidade, mesmo nas áreas com cobertura de terra vegetal ou argila (malhas IV e VII), neste caso com maior intensidade, indicando que essas camadas superficiais não são suficientes para conter ou minimizar o processo de degradação química dos solos construídos; (h) quanto à qualidade química da solução do solo, são encontrados valores acima do permitido para lançamento de efluentes para Mn e Fe em praticamente todos os perfis, com Zn, Ni e Cr acima nas camadas mais profundas de alguns perfis, contrastando

com a extração pelo método USEPA 3050, que indica somente valores acima para As e Se; (i) os estéreis de mineração presentes nos solos construídos retêm solução do solo com maior energia em relação às camadas superficiais (terra vegetal e argila) em função da complexidade do seu sistema poroso, advindo de processos litogênicos que atuam na formação das rochas sedimentares (diagênese). Esta maior energia de retenção da solução do solo, aliada ao elevado potencial osmótico, reduza a quantidade de água disponível às plantas, principalmente na malha II, onde não há terra vegetal recobrimo os solos construídos; (j) o monitoramento da variação da umidade do solo nos perfis dos solos construídos mostrou que, em função da menor capacidade de retenção de água, as camadas superficiais dos solos construídos das malhas IV e VII, apresentaram menores níveis de umidade do solo ao longo do tempo do que as camadas mais profundas, compostas pelos estéreis minerais; e (l) os valores frequentemente próximos da condição de saturação observados durante o período estudado, permitiram a coleta de valores apreciáveis de solução pelos lisímetros de sucção, principalmente nas camadas mais profundas (de 100 a 250 cm), podem ser explicados pela ocorrência de maiores volumes das precipitações pluviais ocorridas no final de 2012 até fevereiro de 2014 em relação à média histórica da região.

Considerando os trabalhos desenvolvidos até o presente momento pela equipe da UFPEL cabe ressaltar que muitos ensinamentos foram adquiridos no sentido de melhorar o entendimento de como caracterizar e recuperar solos impactados pelo processo de mineração de carvão, entretanto estudos voltados ao efeito das espécies vegetais na biologia do solo, principalmente na fauna edáfica, ainda são escassos e precisam ser melhor elucidados.

2.2. Recuperação de áreas impactadas pela mineração de carvão

Os principais problemas advindos do processo de mineração de carvão a céu aberto se iniciam na recomposição topografia da área minerada e construção de um novo perfil de solo denominado de “solo construído”. A concepção de solo construído é a de solo formado por materiais e procedimentos determinados pela ação humana, onde tais solos são fundamentalmente antropogênicos (KÄMPF et al., 1997). O grau de degradação ou modificação exercida pela atividade humana é variável conforme a situação (PINTO et al., 2010). A fase sólida pode passar a não exercer a função de barreira (substrato com pouca capacidade de troca de cátions ou complexo sortivo pode estar saturado), a

percolação pode passar a ser irregular (por meio de fendas) ou o substrato pode estar contaminado por resíduos (por metais). A fase líquida, além da composição alterada pela contaminação, pode ter sua quantidade e disponibilidade afetadas pela compactação, aumentando o escoamento superficial e a erosão. A fase gasosa pode ter a troca gasosa deteriorada pela compactação, prejudicando a respiração radicular e o desenvolvimento microbiano. Como resultado final, a biota do solo tende a diminuir sua bioprodutividade e pode ter alterada sua diversidade. Todas essas consequências devem ser levadas em conta, principalmente em solos minerados, que representam os casos mais extremos de modificação no perfil do solo (solos construídos) e, por conseguinte, nas funções que cada horizonte exerce (PINTO et al., 2010).

Se, por um lado a adição de uma camada de solo pode melhorar a qualidade do solo construído, o seu manuseio ou sua distribuição pode causar problemas de compactação (BORÜVKA et al., 2012) dificultando o desenvolvimento da cobertura vegetal, considerado ponto de partida para a recuperação dos solos minerados. O acúmulo de matéria orgânica resulta em mudanças positivas nos atributos físico-químicos do novo solo (ZHAO et al., 2013).

A drenagem ácida de mina, outro problema a ser considerado, pode ocorrer quando os fragmentos e rochas e/ou estéreis são expostos à água e ao oxigênio gerando grandes concentrações de Al, Fe, Mn, Cu, Ni, e Zn e na solução do solo e perdas de Ca e Mg por lixiviação, além de provocar deficiências de P, Mo e B dificultando assim a revegetação das áreas reabilitadas (PINTO & KÄMPF, 2002; BITENCOURT, 2014). Este problema pode ser corrigido através do uso de elevadas quantidades de calcário (SILVA, 2012) ou através do uso de cinzas alcalinas provenientes da queima do carvão.

Um dos principais impactos negativos, entretanto, gerado pelo processo de extração e recomposição topográfica da área minerada é a compactação (STUMPF, 2015; BARBOZA, 2016) provocada pelo intenso tráfego de máquinas. Segundo Sheoran et al. (2010) o tráfego repetido de máquinas durante a recomposição topográfica da área minerada é responsável pela compactação dos solos minerados e estes tendem a apresentar agregados formados por compressão (STUMPF et al., 2013; STUMPF et al., 2016) que dificultam o processo de recuperação da qualidade estrutural do solo.

A compactação implica em aumento da densidade do solo, o que interfere no armazenamento, transporte e disponibilidade de água às plantas, bem como no fluxo de gases, já que provoca alterações na quantidade e continuidade de poros do solo. Nesse

ambiente as raízes têm dificuldade de se desenvolver, seja pela dificuldade de penetrarem no solo ou pela restrição ao acesso à água e minimização das trocas gasosas.

A dimensão do processo de degradação do solo em razão da extração do carvão mineral dificulta sobremaneira o retorno do solo construído ao estado de organização do solo natural, anterior à mineração.

Em um programa de recuperação de áreas degradadas, o uso de espécies vegetais torna-se primordial, pois a adição de fitomassa ao solo proporciona cobertura para redução do processo erosivo e aumento gradativo da matéria orgânica do solo, para a ciclagem de nutrientes (PEREIRA et al., 2010; JOSA et al., 2012), melhorando também a infiltração e armazenamento da água e aumento da atividade biológica, criando condições propícias para o estabelecimento de um processo de sucessão de espécies, particularmente as nativas.

A implantação de uma cobertura vegetal sobre superfícies mineradas é a medida mais comum de recuperação, mas requer a construção de um ambiente edáfico que seja compatível com as espécies vegetais a serem utilizadas (CORREA & BENTO, 2010). Para isto, devem ser escolhidas espécies que tenham capacidade para crescer rapidamente, proteger o solo, abrigar e alimentar a fauna, recompor a paisagem e restabelecer o regime hídrico (KOPEZINSKI, 2000), criando assim condições propícias para o estabelecimento de outras espécies mais exigentes.

A implantação de espécies que atuam como descompactadoras do solo constitui-se também em uma importante estratégia na recuperação da qualidade estrutural do solo (JIMENEZ et al., 2008, NETO et al., 2008). De acordo com Camargo & Alleoni (1997), plantas com sistema radicular agressivo apresentam potencial em romper camadas de impedimento mecânico. Quando estas raízes se decompõem, deixam canais que podem melhorar o movimento da água e a difusão dos gases ao longo do perfil do solo, servindo como caminhos para a penetração radicular de culturas subsequentes.

A revegetação facilita também o desenvolvimento de bactérias fixadoras de nitrogênio e as associações micorrízicas, as quais são fundamentais para a manutenção da qualidade do solo mediante os processos de mineralização da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (SHEORAN et al., 2010) e o desenvolvimento das comunidades microbianas ao longo do tempo.

As plantas se diferenciam quanto à influência de suas raízes na melhoria da estrutura do solo (VOLK & COGO, 2008). Para Silva & Mielniczuk (1997), as poáceas se destacam como plantas recuperadoras dos atributos físicos, pois sua alta densidade de

raízes promove a aproximação das partículas do solo pela constante absorção de água no perfil, bem como liberam exsudatos que estimulam a microbiota do solo, auxiliando na formação e estabilização de agregados. Geralmente o foco da contribuição das plantas tem sido o retorno da parte aérea para o solo, tanto como um estoque de carbono no solo como um substrato para os microrganismos (GREGORY, 2006; STUMPF, 2015)

Os resíduos de poáceas promovem a melhoria da estrutura do solo, por possuírem maior conteúdo de lignina, possibilitando aumento de ácidos carboxílicos e ácidos húmicos nos substratos, favorecendo a estruturação e a estabilidade dos agregados do solo tornando-o menos suscetível à compactação. Salton et al. (2008) ressaltam que o que confere maior estabilidade aos agregados são os agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes e crescimento e morte das raízes. Os compostos mucilaginosos produzidos pela raiz, como o ácido poligalacturônico, podem estabilizar os agregados por aumento da força de ligação entre as partículas e por redução da sua velocidade de umedecimento, que o preserva da destruição quando em contato com a água (STUMPF, 2015).

A estrutura do solo, portanto, pode ser considerada a característica mais suscetível a modificações antrópicas, já que exerce influência no suprimento de água e ar às raízes das culturas, na disponibilidade de nutrientes e na manutenção de um equilíbrio favorável ao crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas (FERREIRA, 2010).

No entanto, não existe um único parâmetro que sintetize a melhoria da estrutura do solo e sim um conjunto de atributos físicos como a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, a densidade do solo, a disponibilidade de água, a resistência mecânica à penetração e parâmetros compressivos e a agregação e estabilidade de agregados em água podem ser analisados e quantificados para verificar a qualidade física do solo e a respectiva resposta das culturas (SHRESTHA & LAL, 2011).

Segundo Pelegrinni (2006) as condições físicas que limitam o desenvolvimento das raízes no solo são frequentemente relatadas em camadas compactadas, que se formam abaixo da camada arável. Calonego et al.(2011), entretanto, menciona que existem espécies que apresentam capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros que servirão como rotas por onde as raízes da cultura subsequente possam crescer.

Em estudo realizado na área de mineração de carvão da CRM em Candiota (RS) Stumpf et al. (2014) observaram que, após 24 meses de condução de experimento, todos os tratamentos estudados (*Cynodon dactylon* cv vaquero; *Urochloa brizantha*; *Panicum*

maximun; *Urochloa humidicola*; *Hemarthria altissima* e *Cynodon dactylon* cv. tifton 85), apresentaram melhorias na agregação do solo, quando comparados ao solo construído sem plantas de cobertura (testemunha), principalmente na camada de 0,00-0,05 m, com destaque para as *Urochloas* e a *Hemarthria altíssima*. No entanto, os autores salientam que as diferenças na agregação do solo entre os tratamentos com gramíneas e o solo natural (referência) sugerem um tempo muito longo para a recuperação das condições estruturais do solo anteriores à mineração.

Reis et al. (2014) em estudo semelhante ao de Stumpf et al. (2014) concluíram que plantas de crescimento rápido como as poáceas, que têm sistema radicular diferenciado e que proporcionam melhores índices de cobertura do solo, podem favorecer o processo de recuperação de áreas degradadas, impedindo a desagregação do solo, pois reduzem a densidade do solo, aumentam a macroporosidade, a porosidade total, o diâmetro dos agregados, o teor de carbono orgânico total, reduzindo desta forma a compactação dos solos construídos.

Além da importância das plantas na recuperação de áreas degradadas, soma-se o efeito da fauna do solo que, juntamente com fungos e bactérias, atua na decomposição da matéria orgânica, participando diretamente da retenção e ciclagem de nutrientes, bem como nos processos de estabilização de agregados, sendo a decomposição desta matéria vegetal morta lenta quando há efeitos negativos sobre a fauna do solo. Dessa maneira, o conhecimento das condições biológicas do solo em termos de recuperação é de grande interesse no contexto ecofuncional de áreas degradadas pela mineração (NOBREGA et al., 2004), uma vez que a diversidade e a atividade microbiana do solo, juntamente com a fauna edáfica, constituem fatores importantes na sustentabilidade dos ecossistemas.

A melhoria da qualidade estrutural do solo está definida como o funcionamento dentro de limites do ecossistema que sustente a produtividade biológica, que mantenha a qualidade ambiental e que promova a saúde animal e vegetal. O sucesso na recuperação destes solos portanto se fundamenta no restabelecimento da cobertura vegetal e na recuperação dos atributos físicos, químicos e biológicos buscando proporcionar um mínimo de condições favoráveis ao desenvolvimento da vegetação, a qual tem um papel essencial tanto na adição de carbono (produção da biomassa) quanto no controle da erosão, recuperando assim o seu estado de agregação e conseqüentemente a sua estrutura. O manejo adequado do solo e de plantas de cobertura portanto é primordial na recuperação destas áreas.

Considerando a dimensão do processo de degradação que abrange a extração do carvão, percebe-se a dificuldade do solo construído retornar ao estado de organização anterior à mineração.

2.3. Organismos do solo

O solo pode ser considerado um ecossistema complexo com uma comunidade altamente diversificada de organismos, os quais são vitais para o funcionamento do ciclo da vida na Terra. Segundo Morselli (2009), se as atividades biológicas do solo cessassem, a vida no planeta deixaria de existir em poucas décadas.

Cada punhado de solo pode conter bilhões de organismos, representados por quase todas as espécies dos seres vivos (BRADY & WEIL, 2013). Esses organismos incorporam no solo os resíduos de plantas e animais e os digerem, fazendo com que o dióxido de carbono retorne para a atmosfera, onde pode ser reciclado através das plantas superiores. Simultaneamente, eles fornecem húmus, um constituinte orgânico de grande importância para conferir boas condições físicas e químicas ao solo. Quando estão digerindo os substratos orgânicos, os organismos liberam nutrientes essenciais às plantas em formas inorgânicas, que podem ser absorvidos pelas suas raízes ou, então, serem lixiviados do solo. Eles também medeiam as reações redox que influenciam as cores do solo, ciclagem de nutrientes e a produção de gases que contribuem para o aquecimento global. A importância de grupos específicos de organismos do solo pode ser identificada pelo número de indivíduos no solo, pelo seu peso (biomassa) por unidade de volume ou área do solo e por sua atividade metabólica (geralmente medida como a quantidade de dióxido de carbono desprendido na respiração). As concentrações de atividade microbiana (focos) ocorrem nas imediações das raízes das plantas vivas, nos seus detritos em decomposição, no material orgânico que reveste os orifícios de minhocas, em pelotas fecais da fauna do solo e em outros ambientes mais favoráveis para os organismos do solo (BRADY & WEIL, 2013)

Os animais, principalmente as minhocas, formigas e cupins, incorporam de maneira mecânica os resíduos do solo e deixam canais abertos através dos quais a água e o ar podem fluir (MELO et al., 2009). Como tal, eles atuam como engenheiros do ecossistema do solo, alterando o seu ambiente para todos os seus habitantes e criando nichos nos quais outros organismos podem viver (LAVELLE et al., 1997). Os microorganismos, como os fungos, arqueias e bactérias, são os responsáveis pela decomposição da maior parte da

matéria orgânica, embora as suas atividades sejam muito influenciadas pela fauna do solo. Alguns microorganismos formam associações simbióticas com as plantas superiores, desempenhando papéis especiais na nutrição vegetal e na ciclagem de nutrientes.

A competição entre os microorganismos pelos nutrientes minerais do solo e entre estes organismos e as plantas superiores pode dar lugar a deficiências de nutrientes para as plantas. A satisfação das necessidades dos micróbios é um fator que pode determinar o sucesso da maioria dos sistemas de manejo dos solos. Portanto, um nível geral e elevado de atividade microbiana, alimentado por entradas orgânicas, pode ajudar a suprimir os patógenos das plantas. Vários fungos e bactérias produzem compostos antibióticos que os ajudam na competição com patógenos das plantas, bem como na elaboração de medicamentos para salvar vidas humanas (BRADY & WEILL, 2013).

Existem várias formas de classificar a biota do solo. O tamanho corporal geralmente é o critério utilizado, pois apresenta alguma relação com o tamanho do tubo digestivo e o aparelho bucal, bem como, a mobilidade, o hábito alimentar e a função que desempenham no solo. Usando o tamanho como base, a microfauna inclui organismos menores que 0,2 mm, e seus representantes mais importantes são os nematoides e os protozoários. A mesofauna é representada por animais que medem de 0,2 a 2,0 mm e inclui ácaros, colêmbolos, próturos, dipluros, aracnídeos, diversas ordens de insetos e alguns oligoquetos. Já a macrofauna, que inclui organismos visíveis a olho nu com tamanhos maiores que 2,0 mm, é representada por mais de 20 grupos taxonômicos, entre eles estão os cupins, as formigas, as minhocas, as centopeias, as aranhas, as baratas, as tesourinhas, os grilos, os caracóis, os escorpiões, os percevejos, as cigarras, as larvas de moscas e mariposas. (MELO et al., 2009)

A microfauna atua principalmente de maneira indireta na ciclagem de nutrientes através da ingestão de bactérias e fungos (BEARE et al., 1995). A intensidade de predação pode, em muitos casos, intensificar a mineralização ou retardar a imobilização de nutrientes na biomassa microbiana. Os animais da microfauna geralmente vivem nos filmes de água do solo e alimentam-se de microorganismos, raízes de plantas e outros organismos da microfauna ou algumas vezes de organismos maiores (BEARE et al., 1995). A mesofauna, em sua atividade trópica, inclui tanto o consumo de microorganismos da microfauna como também a fragmentação do material vegetal em decomposição (saprofagia), alterando a ciclagem de nutrientes, afetando a estrutura do solo, produzindo pelotas fecais, criando bioporos (MOREIRA et al. 2010). A macrofauna regula as populações de fungos e da microfauna, estimula a atividade microbiana podendo afetar a estrutura do solo, misturando

partículas orgânicas e minerais, redistribuindo a matéria orgânica e microrganismos, promovendo a humificação e produzindo também pelotas fecais (CORREIA & OLIVEIRA, 2000), além de modificar a quantidade e o tamanho dos poros no perfil do solo, o que altera os padrões de infiltração de água e trocas de gases (BEARE et al., 1995).

Estes organismos do solo, portanto, de uma maneira geral responsáveis pela fragmentação e decomposição da matéria orgânica (SOUZA et al., 2008; YANG & CHEN, 2009), influenciam também direta e indiretamente no ciclo da matéria e no fluxo de energia ao longo dos ecossistemas terrestres. Além disso, apresentam grande contribuição para a agregação do solo (SCHEU, 2003; OYEDELE et al., 2006; SIDDIKY et al., 2012), por meio de suas ações mecânicas (construção de ninhos e escavação) e modificando os materiais do solo pela deposição de compostos orgânicos (BIGNELL, 2006).

A habilidade dos organismos do solo em transportar, ingerir, ou modificar a estrutura física do solo é positivamente relacionada ao tamanho do corpo. Os organismos maiores (minhocas, térmitas e formigas), devido ao seu tamanho corporal influenciam as propriedades físicas do solo, e a biota menor (ácaros e principalmente microrganismos), atingem principalmente, a decomposição da serapilheira e as reações químicas que ocorrem nesses ambientes. Esses animais desempenham várias tarefas tanto nos ecossistemas naturais como nos agricultáveis. A combinação dos efeitos químicos, físicos e biológicos dos organismos do solo nas propriedades e em seus processos de preferência alimentar, como resíduos de raízes, deterioração de raízes e brotos, também pode influenciar significativamente o crescimento das plantas, ambos positivamente ou negativamente (BROWN et al., 2006).

A mesofauna edáfica é composta basicamente por ácaros (Acari) e colêmbolos (Collembola), além de coleópteros, alguns grupos de insetos e alguns oligoquetos e crustáceos (BARROS et al., 2010). Segundo Singh & Pillai (1975), os Oribatei (Acari: Cryptostigmata) e os Collembola (insecta) são os grupos mais ricos em espécies e indivíduos da fauna edáfica e representam de 72 a 97% dos indivíduos da fauna total de artrópodes do solo.

Os ácaros são muito mais populosos em relação aos colêmbolos e tem um papel importante na decomposição dos resíduos vegetais, diminuindo a área superficial dos resíduos e facilitando a continuação da decomposição por parte dos microrganismos, principalmente bactérias. Os colêmbolos são mais temporários (anuais), vivem na superfície do solo desde que tenham material orgânico e condições de umidade favoráveis. São muito sensíveis às mudanças ambientais ou impostas pelo homem e sua população

está atrelada aos teores de matéria orgânica existente no solo (SILVA, 2015) Estes organismos podem apresentar de 3-12 gerações anuais e influenciam a estruturação do solo através de seu material decomposto principalmente rico em cálcio (KROLOW, 2011). A habilidade, portanto, para integrar propriedades físicas, químicas e biológicas do ecossistema, tornam os organismos do solo, sobretudo a fauna do solo, bons bioindicadores da qualidade do solo (DORAM & ZEISS, 2000).

2.3.1. Fauna edáfica como indicador da qualidade do solo

Muitos autores consideram a fauna edáfica um excelente bioindicador da qualidade do solo, por serem organismos sensíveis às práticas de manejo, à natureza da cobertura vegetal e às variações sazonais (MELO et al., 2009; AQUINO et al., 2008; NEGRETE-YANKELEVICH et al., 2007; MOÇO et al., 2005). De acordo com Doran & Parkin (1994), um bom indicador da qualidade do solo deve obedecer aos seguintes critérios: estar associado aos grandes processos do ecossistema; integrar propriedades físicas, químicas e biológicas; ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo; ser sensível a variações no manejo e no clima e quando possível, fazer parte dos bancos de dados (CORREIA & OLIVEIRA, 2000). Deve ter, portanto, a capacidade de funcionar dentro do ecossistema visando sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais.

Segundo Zatorre (2008) o critério para o uso de um parâmetro como indicador da qualidade do solo é a sua capacidade de interferir nos processos ecológicos, integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas, além de ser facilmente utilizável por especialistas, técnicos e agricultores. As tentativas de uso de atividades biológicas como indicadores de avaliação de propriedades do solo não são recentes e a maioria dos estudos foi abandonada ainda no final da década de 50, devido a problemas metodológicos, à concepção teórica inadequada e, conseqüentemente, a pouca sensibilidade para prever ou detectar mudanças no sistema. No final do século XX, esta abordagem retornou com muita intensidade, amparada nos avanços metodológicos (SILVEIRA et al., 2009).

A estreita relação entre a fauna edáfica e a qualidade ambiental do solo demonstra a importância desses organismos como indicadores do equilíbrio de funcionamento do sistema (LIMA et al., 2007), por atuarem, além nos processos de transformação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, nas interações de troca com a maioria das espécies de

plantas, especialmente as de importância agrícola (ZATORRE, 2008) e refletirem as condições do meio ambiente quanto à presença de resíduos orgânicos já decompostos de modo a contribuir para a avaliação de um sistema de produção (HUBER & MORSELLI, 2011).

A maioria dos indivíduos pertencentes à meso e macrofauna melhora a qualidade do solo, especialmente a mobilização de nutrientes, através de enzimas, e o melhoramento da estrutura, através da ativação da microvida (FREITAS & BARRETO, 2008). Em solos ricamente habitados pela mesofauna, o húmus produzido é sempre de boa qualidade, melhorando a CTC do solo. Os animais ingerem a matéria orgânica, prédigerindo-a, de modo que possa ser atacada diretamente por bactérias (PRIMAVESI, 2002). A meso e a macrofauna, portanto, podem ser consideradas bons indicadores da qualidade e da sustentabilidade do uso do solo e devem ser consideradas como uma das ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo a serem adotadas principalmente em áreas degradadas. A influência do manejo do solo como indicador de qualidade e das alterações nos agroecossistemas sobre a atividade biológica apresenta, normalmente uma resposta mais rápida do que em outros atributos pedológicos, (PAOLETTI & BRESSAN, 1996; BARETTA et al., 2003). A diversidade da fauna edáfica presente em ambientes modificados pela ação do homem tem sido um aspecto chave na identificação de melhorias nos agro ecossistemas relacionadas à estruturação e fertilidade dos diferentes solos (LAVELLE et al. 1993; BROWN et al., 2003) e nos atributos físicos, químicos e biológicos essenciais no entendimento da sua funcionalidade e sustentabilidade em diferentes condições de uso (BARETTA et al., 2003).

Ações impactantes negativas no solo levam à degradação do ambiente edáfico e ao comprometimento de suas funções dentro dos sistemas biológicos (ROVEDDER et al., 2009). As coberturas vegetais interferem na população da fauna do solo, pois sistemas de cultivo influenciam na mesofauna edáfica diminuindo sua densidade e diversidade em relação à área de mata. Neste sentido, o conhecimento da composição da comunidade de organismos no solo é de fundamental importância para compreender o efeito nos processos edáficos e na elucidação de como a fauna edáfica é afetada pelas práticas agrícolas e mudanças no uso do solo (HOFFMANN et al., 2009; ZAGATTO, 2014)

Há, atualmente, um esforço multidisciplinar, tentando quantificar diferentes atributos que estão relacionados com a sustentabilidade, traduzindo-os na forma de indicadores de qualidade do solo (MELLONI et al., 2008).

2.3.2. Importância dos organismos do solo na recuperação de ambientes degradados

A composição e a distribuição da fauna do solo podem ser influenciadas por condições abióticas tais como, temperatura, luminosidade, e umidade, que variam com as estações do ano (sazonalidade) e com diferentes tipos de habitats (campo e floresta). A sazonalidade pode influenciar os ciclos de vida dos organismos (latência de eventos como acasalamento, reprodução, postura dos ovos e dispersão de jovens) bem como a oferta de recursos que poderá influenciar temporariamente a estrutura da comunidade (SYDOW et al., 2007).

Segundo Melo et al. (2009) a abundância e a diversidade da meso e macrofauna do solo dos ecossistemas naturais e dos agrossistemas podem ser afetados por vários fatores edáficos (tipo de solo, minerais predominantes, temperatura, pH, matéria orgânica, umidade, textura e estrutura), vegetais (tipo de vegetação e cobertura), históricos (especialmente humana, mas também geológico), topográficos (posição fisiográfica, inclinação) e climáticos (precipitação pluvial, temperatura, vento, umidade relativa do ar). Assim, intervenções antrópicas tanto em sistemas naturais quanto em agrícolas podem potencialmente afetar a dinâmica dessas comunidades animais e, por consequência, as funções ecológicas nas quais estão envolvidos. Por serem sensíveis a mudanças tanto antrópicas como naturais estas populações podem ser utilizadas como bons indicadores do uso do solo ou da sua fertilidade, dando uma noção do seu estado atual e de mudanças induzidas por forças internas e externas (bióticas e abióticas), ao longo do tempo. As alterações nos organismos edáficos podem ser avaliadas em relação ao aspecto quantitativo (número e distribuição de indivíduos) como qualitativo (diversidade de espécies).

Segundo Aquino (2006) a biodiversidade de um ecossistema natural difere fundamentalmente de um ecossistema agrícola, que tem a intervenção do homem para a produção de alimentos, como principal aspecto. Num ecossistema natural, a regulação interna de funcionamento é basicamente um produto da biodiversidade, que controla o fluxo de energia, nutrientes e informação. No ecossistema agrícola, essa regulação é perdida pela simplificação do sistema; ressalta ainda que os ecossistemas com alta diversidade tendem a se recuperar mais rapidamente da perturbação e restaurar o equilíbrio em seus processos de ciclagem de materiais e fluxo de energia. Em ecossistemas com mais baixa diversidade, a perturbação pode provocar mais facilmente

modificações permanentes no seu funcionamento, resultando na perda de recursos do ecossistema e em alterações na constituição de suas espécies,

A diversidade de espécies está associada à uma relação entre o número de espécies (riqueza de espécies) e a distribuição do número de indivíduos entre as espécies (equabilidade ou uniformidade). Esta definição está explicitada no índice de diversidade de Shannon-Weaver(H) sendo $H = -\sum p_i \cdot \log p_i$ onde, $p_i = n_i/N$; n_i =valor de importância de cada espécie ou grupo e N = total dos valores de importância; no índice de uniformidade de Pielou (e) que varia de 0 a 1, onde 1 representa a máxima diversidade, ou seja, todas as espécies são igualmente abundantes, sendo $e = H/\log S$, onde H = índice de Shannon-Weaver e S = número de espécies ou grupos, e no índice de riqueza(d), onde $d = S - 1/\log N$, onde S = número de espécies ou grupos e N = número de indivíduos (ODUM, 1988).

Em um sentido mais amplo sobre a complexidade das comunidades, a própria riqueza de espécies pode ser utilizada como uma medida geral da diversidade.

Holmstrup et al. (2012) enfatizam os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre a atividade da fauna edáfica, principalmente no que se refere à influência na umidade do solo. Oscilações de temperatura e umidade características das estações do ano são fatores que exercem influência na densidade faunística (SOARES & COSTA, 2001; FERNANDES et al., 2011). Alguns autores ressaltam a sensibilidade de grupos taxonômicos da fauna a períodos secos (FERNANDES et al., 2011), enquanto outros apresentam estratégias de sobrevivência de organismos, que migram para ambientes (compartimentos solo-serapilheira) mais favoráveis (CORRÊA NETO et al., 2001; MOÇO, et al., 2005).

Rovedder et al. (2004), estudando a fauna edáfica em solos suscetíveis à arenização na região sudeste do RS, observaram que a redução da precipitação pluvial provocou a diminuição do número de organismos do solo. Ressaltam os autores que a precipitação pluvial é indispensável para os processos ecológicos, principalmente no que diz respeito à disponibilidade de água no solo para as plantas e à atividade biológica. Observavam ainda que a abundância e a diversidade da fauna edáfica foi influenciada pelos diferentes usos do solo (área degradada, área degradada em vias de recuperação com plantio de *Eucalyptus sp*, área com plantio direto e área de campo nativo) e que a área degradada apresentou o menor número total de organismos e o menor índice de diversidade, além do menor número de colêmbolos.

Souto (2006), estudando a acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos, em área de caatinga, observou decréscimo na

população da mesofauna nos períodos secos, atribuindo este fato, provavelmente, à diminuição na oferta de alimento, o que limita a existência de alguns grupos, restando apenas os mais adaptados às condições de escassez hídrica e de alimento, bem como das temperaturas elevadas do solo.

Moço (2006), por sua vez, estudando comunidades da fauna edáfica em agrossistemas de cacau, em diferentes épocas de coleta, constatou que a fauna foi consideravelmente influenciada pela variação sazonal tendo encontrado número de indivíduos de 1,1 a 5,3 vezes maior nas amostras do verão de 2004 em relação às do inverno 2003 e 2004.

Silva et al. (2013), observaram, em estudo da fauna edáfica em área periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ, que a abundância da fauna edáfica aumentou do inverno para o verão, indicando que a precipitação pluvial, que promove afloramento dos lençóis freáticos, induz a migração da fauna entre os compartimentos do solo. Os organismos procuraram mais a serapilheira no verão, e o solo, no inverno.

Araújo et al. (2009), em estudo sobre a mesofauna em área de Caatinga do semiárido da Paraíba, concluíram que as épocas de coleta influenciaram a variação da densidade de fauna, riqueza de espécies, índice de Shannon e índice de Pielou e que a precipitação pluvial favorece o estabelecimento de maior número de organismos edáficos e maior riqueza de grupos taxonômicos.

Moço et al. (2005) caracterizaram a distribuição da fauna edáfica nos compartimentos solo e serapilheira, em duas épocas do ano e em cinco diferentes coberturas vegetais do Norte Fluminense. Concluíram que as épocas de coleta influenciaram a variação da densidade de fauna, riqueza de espécies, índice de Shannon e índice de Pielou nas diferentes coberturas, e que a época de verão permitiu estabelecer maiores diferenças entre as diferentes coberturas do que a época de inverno.

Miranda et al. (2007) e Pauli et al. (2011) também enfatizaram que a fauna edáfica apresenta valores mais elevados de densidade e diversidade em estações mais quentes (primavera e verão) quando comparada às estações mais frias (outono inverno).

Com relação aos fatores edáficos do solo, várias práticas de manejo podem influenciar as populações da fauna do solo como, por exemplo, sistemas de preparo do solo, adubações, uso de agrotóxicos, tráfego de máquinas, pisoteio animal, seleção de culturas agrícolas e sua distribuição ao longo do tempo e do espaço que podem alterar a quantidade e qualidade de alimento e conseqüentemente os habitats e nichos disponíveis para a fauna (CORREIA & OLIVEIRA, 2000). As práticas que compactam o solo diminuem

os poros, e conseqüentemente o espaço no interior do solo, reduzindo a diversidade, densidade e biomassa da fauna edáfica (ROHRIG et al., 1998).

Já os sistemas conservacionistas, como integração lavoura-pecuária, integração lavoura-pecuária-floresta e o plantio direto proporcionam maior diversidade e densidade da fauna edáfica quando comparado com sistemas simplificados de produção, como lavouras em preparo convencional (AQUINO et al., 2008; PORTILLO et al., 2011). Baretta et al. (2006) também encontraram menor diversidade da fauna edáfica, em preparo convencional mantido livre de vegetação.

Estudos conduzidos por Alves et al.(2007), em Latossolo Vermelho distroférico indicaram que a ausência de preparo do solo, a abundância de cobertura no sistema plantio direto e o maior tempo de implantação proporcionaram maior diversidade da fauna edáfica

O incremento de adubos nitrogenados no ambiente também pode alterar as comunidades da meso e macrofauna edáfica, uma vez que há um maior crescimento da parte aérea da vegetação e conseqüentemente acúmulo na superfície do solo, o que provoca aumento na densidade e diversidade de grupos da fauna edáfica (ALVES et al., 2008).

Com relação às plantas de cobertura, Santos et al. (2008) encontraram efeitos significativos sobre os grupos taxonômicos e densidade relativa da macrofauna edáfica e concluíram que plantas de cobertura da família das leguminosas favorecem a maior densidade relativa de invertebrados no solo. Sautter et al.(1998) também ressaltam a importância da utilização de plantas de cobertura na recuperação de solos degradados. Em pesquisa realizada com o fim de avaliar a população de ácaros e colêmbolos em pastagens utilizadas na recuperação de solos degradados pela mineração de xisto (folhelho), observaram que o uso de espécies vegetais forrageiras e adubação mineral, com permanência da palhada sobre o solo, proporciona aumento no número de collembola na camada de 0,0-0,03 m.

Rovedder et al.(2001), avaliando a população de colêmbolos de três diferentes coberturas vegetais e de um solo degradado, observaram que a ordem collembola destacou-se como a mais eficiente como indicadora de áreas degradadas, por serem organismos que respondem sensivelmente às modificações imprimidas ao solo, além de serem a base alimentar de uma grande variedade de organismos.

Rieff et al. (2010) afirmam que a área com mata nativa apresentou maior quantidade de ácaros e colêmbolos do que na área de eucalipto mostrando que as condições

diversificadas fornecidas por áreas de matas e florestas nativas permitem uma maior biodiversidade, devido à variedade de espécies vegetais e compostos orgânicos presentes na serapilheira.

Sganzerla et al. (2010), constataram maior ocorrência de colêmbolos na superfície do solo, em um sistema de produção orgânica, no qual é mantida uma massa de resíduos considerável na superfície. Além disso, o produtor não retira as plantas espontâneas, o que permite a manutenção da serapilheira, favorecendo a proliferação desses organismos

Silva et al. (2013a), em estudo realizado no sul do Brasil em um Latossolo Vermelho distrófico típico onde buscaram determinar a influência dos cultivos aveia preta, nabo e ervilhaca e dos consórcios nabo/aveia preta e ervilhaca/nabo/aveia preta sobre a estrutura e composição da fauna edáfica, verificaram que a utilização de consórcios entre culturas de cobertura favoreceu o aumento da abundância de indivíduos e do número de colêmbolos, nas fases iniciais e que os organismos da fauna edáfica apresentaram comportamento diferenciado, em função do tipo e do período de desenvolvimento das culturas de cobertura.

Silva (2015), em um estudo realizado na região da Campanha do RS sob sistemas de pastoreio contínuo e Voisin, verificou que as comunidades de ácaros e colêmbolos mais que duplicaram num período de três anos, nas áreas submetidas ao pastoreio Voisin, que em ambos os sistemas de pastoreio utilizados não houve alteração substancial nos índices de diversidade, uniformidade e similaridade das populações de ácaros e colêmbolos, e que os teores de fósforo, potássio, cálcio e matéria orgânica aumentaram onde a população de ácaros e colêmbolos é maior, condição encontrada no sistema de pastoreio Voisin.

Os estudos com organismos do solo, portanto, mostram a importância de se observar o efeito da sazonalidade quando se trabalha com mais de uma época de coleta, pois o fator clima é um dos mais importantes para responder o porquê de determinado grupo de fauna ser encontrado em determinadas áreas, em apenas algumas épocas do ano. O tipo de cobertura do solo também deve ser considerado nas avaliações da fauna edáfica e na sua influência nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

3.MATERIAL E MÉTODOS

3.1.Localização e Caracterização da Área de Estudo

A mina de carvão de Candiota, da Companhia Riograndense de Mineração (CRM), localiza-se no município de Candiota-RS, a 140 km de Pelotas, no Estado do Rio Grande do Sul. O clima da região é classificado como sendo do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido de acordo com a classificação de Wilhelm Köppen.

A seleção da área experimental no interior da Mina foi feita em conjunto com técnicos da CRM, em uma área recém construída (início de 2003), com as operações de preparo da área iniciadas em setembro de 2003. As coordenadas geográficas do ponto central são: 31° 33' 56" S e 53° 43' 30"W. O experimento foi instalado em novembro/dezembro de 2003, em parcelas de 20m² (5m x 4m) em delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições. A camada de solo reposta na área experimental é procedente do solo natural (original) retirada da área pré-minerada, sendo o solo classificado como um Argissolo Vermelho Eutrófico típico, de classe textural argilosa, cor vermelho escura (2,5 YR 3,5/6) e com baixo teor de matéria orgânica (1,15%).

Antes da instalação do experimento, em face da área se encontrar extremamente compactada devido à grande circulação de máquinas durante a construção do solo, (caminhões carregados com aproximadamente 20 Mg de terra vegetal e tratores de esteira metálica do modelo D8T da Caterpillar® com peso de 38 Mg, potência de 259 KW, comprimento e largura da esteira sobre o solo de 3,20 e 0,56 m, respectivamente, e área de contato das esteiras com o solo de 3,6 m²), o solo construído foi escarificado com

a)



b)



Figura 3: Escarificação (a) e calagem (b) do solo construído

patrola a uma profundidade aproximada de 0,15m(Figura 3 a), seguido por calagem correspondente a 10,4 Mg ha⁻¹ de calcário com PRNT de 100 %(Figura 3b) e uma adubação de 900 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20, com base em resultados obtidos pela análise de solo.

Adubações anuais em todas as parcelas também foram realizadas aplicando 250 Kg ha⁻¹ da fórmula 5-30-15 e 250 Kg ha⁻¹ de sulfato de amônio.

O experimento foi concebido utilizando matérias de verão e de inverno, sendo os materiais de verão dispostos nas parcelas e as espécies de inverno (*Festuca* e *Lotus pedunculatus* –Cornichão) nas sub-parcelas (Figura 4). Nas parcelas foram utilizadas poáceas perenes de verão, com período estival no inverno, solteiras ou consorciadas com Amendoim Forrageiro (*Arachis pintoï*), compondo os seguintes tratamentos: T1-Hemártria (*Hemarthra altíssima* (Poiz.) Staff & C. E. Huhh), T2-Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. cv.Tifton 85) + Amendoim Forrageiro (*Arachis pintoï*), T3-Hemártria (*Hemarthra altíssima* (Poiz.) Staff & C. E. Huhh) + amendoim Forrageiro (*Arachis pintoï*), T4-Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé Var. *sausae* Pacodi cv. Pensacola), T5-Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. CvTifton 85), T6-Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé Var. *Sausae* Pacodi cv. Pensacola) +Amendoim Forrageiro (*Arachis pintoï*), T7a-Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé Var. *sausae* Pacodi cv. Pensacola), T7b-Urochloahumidícola (*Urochloa humidicola*) + Urochloa brizanta (*Urochloa brizantha*),T7c Amendoim Forrageiro (*Arachis pintoï*).As espécies de inverno foram estabelecidas por sorteio nas sub-parcelas, conforme mostra a Figura 4. Cabe ressaltar que o amendoim forrageiro, apesar de se desenvolver inicialmente, ao longo do tempo teve seu crescimento reduzido, desaparecendo por completo no terceiro ano(2006). O mesmo aconteceu, por competição com as espécies, festuca e o cornichão. Com isso, o experimento ficou reduzido apenas com as poáceas solteiras: Hemártria (T1), Grama Tifton (T4), Pensacola (T5) e a *Urochloa brizanta*, no tratamento controle.

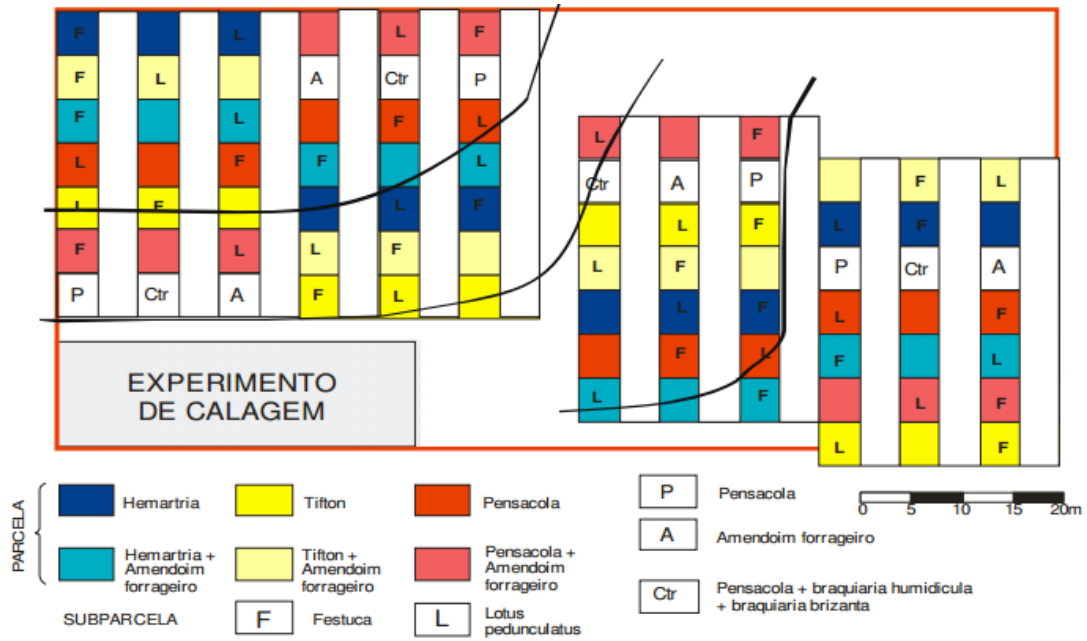


Figura 4: Croqui da área experimental em 2003

Para o presente estudo, portanto, foram avaliados os tratamentos: Hemátria (*Hemarthria altissima*), Tifton (*Cynodon dactylon* cv Tifton85), Pensacola (*Paspalum notatum*); *Urochloa brizantha* (*Urochloa brizantha*) e vegetação espontânea, denominados T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. Para efeitos comparativos foram utilizados os tratamentos: solo construído sem vegetação localizado na área adjacente ao experimento (T6), solo construído com vegetação nativa (predomínio de vassoura branca - *Baccharis dracunculifolia* Dc e macega estaladeira – *Saccharum angustifolium* (Ness) Trin), há pelo menos 15 anos (T7) e o solo natural (T8), pertencente à área de mineração, com predomínio de vassoura branca (*Baccharis dracunculifolia* Dc), macega estaladeira – (*Saccharum angustifolium* (Ness) Trin), chirca (*Eupatorium huniiifolium* Hook. ex Arn.), carqueja (*Baccharis trimera* (Less) Dc) e Caraguatá (*Eryngium horridum* Malne) (Figura 5).

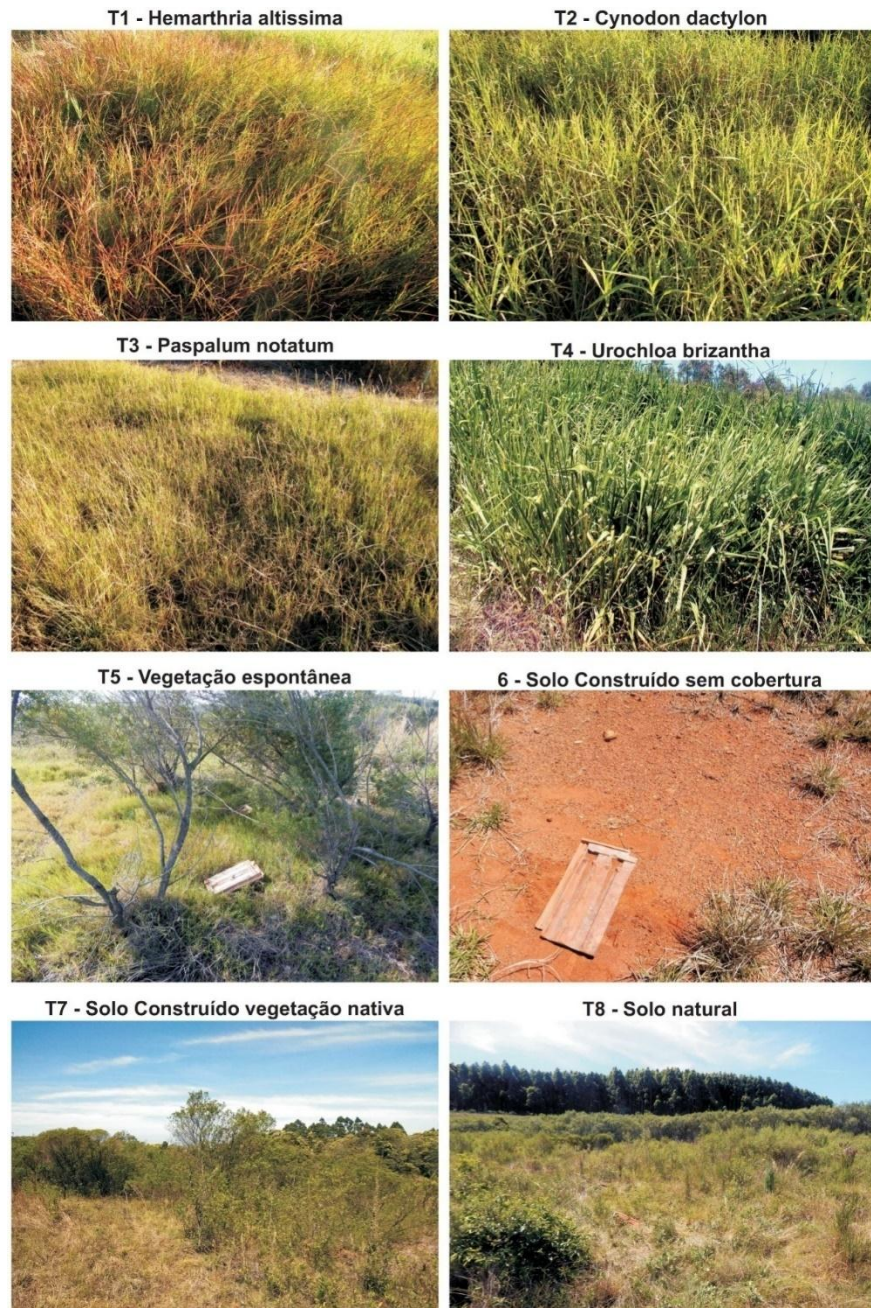


Figura 5: Plantas de coberturas do solo estudadas (estabelecidas) na área de mineração da CRM Candiota-RS

3.2. Amostragem do solo

Para a determinação dos atributos físicos e químicos, em todos os tratamentos, foram coletadas amostras deformadas e com estrutura preservada na camada 0 – 0,10m em outubro de 2014. As amostras com estrutura preservada foram coletadas utilizando cilindros de aço (0,05m de altura e 0,047m de diâmetro) no centro da camada, com duas repetições, para a determinação da densidade do solo, da porosidade total, da macroporosidade e da microporosidade.

As amostras com estrutura não preservada foram coletadas utilizando pá de corte para a determinação dos atributos químicos (pH em água, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), Alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), CTC efetiva, CTC pH7, saturação por bases (V%), Saturação por Al(m), fósforo (P) (Mehlich) e % de matéria orgânica) e dos atributos físicos (granulometria, distribuição dos agregados estáveis em diferentes classes de tamanho, macroagregados e microagregados)

3.2.1. Análises físicas e químicas

As amostras com estrutura não preservada, após a coleta no campo foram levadas ao Laboratório de Física do Departamento de Solos, colocadas em tabuleiros de madeira mantidos à sombra, manualmente destorroadas em seus agregados naturais e, em seguida secas ao ar. No processo de quebra dos agregados foi aplicada a força mínima necessária para fraturá-los em seus pontos de fraqueza preexistentes. Para a análise de agregados foram utilizados agregados que passaram na peneira de malha 9,52mm e para as demais determinações na peneira de malha 2,00mm.

A amostra para análise da distribuição dos agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho e do diâmetro médio ponderado (DMP) foi inicialmente subdividida em 4 subamostras com cerca de 50g de solo, sendo uma utilizada para a determinação da umidade e as demais submetidas ao peneiramento úmido, seguindo o método descrito por Kemper & Rosenau (1986), adaptado por Palmeira et al. (1999).

Para o cálculo dos agregados nas diferentes classes de tamanho e do DMP, utilizaram-se respectivamente as equações 1 e 2 (PALMEIRA et al., 1999):

$$AGRi = \frac{MAGRi - mi}{\sum_{i=1}^n MAGRi - mi} \quad (1)$$

Onde:

AGRi = proporção de agregados estáveis em água em determinada classe i (g kg⁻¹);

MAGRi = massa de agregados + material inerte na classe i (g);

mi = massa de material inerte (cascalho, areia, raízes, restos de cultura, etc.) na classe i (g);

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^n DMi (MAGRi - mi)}{\sum_{i=1}^n MAGRi - mi} \quad (2)$$

Onde:

DMi = diâmetro médio da classe i (mm);

MAGRi = massa de agregados + material inerte na classe i (g);

m_i = massa de material inerte (cascalho, areia, raízes, restos de cultura, etc.) na classe i (g).

Os intervalos das classes dos agregados foram: C1:9,52-4,76mm, C2: 4,76-2,00mm, C3: 2,00-1,00mm, C4:1,00-0,25mm, C5: 0,25-0,105mm e C6:<0,105mm.

A separação entre macro e micro agregados foi realizada de acordo com Tisdall & Oades (1982) que considera macro agregado o agregado com diâmetro maior que 0,25mm e micro agregado com diâmetro menor que 0,25mm.

Para as análises químicas e do teor de matéria orgânica as amostras, passadas em peneira de 2,00 mm de diâmetro, foram encaminhadas ao Laboratório de rotina do Departamento de Solo onde foi determinado: pH em água na relação 1:1(solo água), teores de Ca, Mg, a Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados no espectrômetro de absorção atômica (Ca e Mg) e por titulação com NaOH (Al). Os teores de K e Na trocáveis e de P disponíveis foram extraídos pelo método Mehlich e analisado por fotometria de chama.Com base nos resultados das análises foi calculada a capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). O teor de matéria orgânica foi determinado por combustão pelo método Walkey-Black modificado, conforme Embrapa (2011).

As amostras com estrutura preservada, após toailete, foram saturadas em água por capilaridade durante 48 h para garantir completa saturação e em seguida pesadas em balança de precisão e colocadas em uma mesa de tensão, onde foram equilibradas a uma tensão de 6kPa, para a determinação da macroporosidade. Após o equilíbrio as amostras foram secas em estufa a 105°C até peso constante para a determinação da microporosidade e da densidade do solo. A porosidade total foi calculada pela soma da macroporosidade e microporosidade e a densidade do solo pela relação massa de solo seco pelo volume do cilindro (EMBRAPA, 2011).

3.4. Análises da Fauna edáfica

Para a coleta dos organismos da mesofauna do solo, representados por ácaros e colêmbolos, foi utilizado o método do Funil Extrator de Tullgren, proposto por Bachelier (1978) (Figura 6).

A metodologia para a aplicação do método de Tullgren consistiu na coleta de amostras de solo em outubro de 2014, na camada de 0,00 – 0,10m, utilizando cilindros metálicos de aço inox de aproximadamente 0,005 m³ para cada tratamento com duas repetições. Nos

tratamentos testemunhas foram alocados quatro pontos aleatórios e a coleta realizada também com duas repetições.

Após a coleta, as amostras foram levadas ao Laboratório de Biologia do Departamento de Solos – FAEM/UFPEL – onde se procedeu a determinação da mesofauna ((n° de ácaros (A) e colêmbolos (C)). O procedimento consistiu em colocar as amostras cuidadosamente em peneiras com malha de 2mm na parte superior de cada funil. Na base dos funis foram colocados copos coletores contendo álcool 80% mais quatro gotas de glicerina a fim de evitar a rápida evaporação do Álcool e, após, lâmpadas de 25 watts foram ligadas em cada funil. As lâmpadas permaneceram acesas durante um período de 48h para que, com a ação da luz e do calor, os organismos se deslocassem para baixo, assim sendo capturados pelo copo coletor com capacidade de 50ml. Posteriormente, estes organismos coletados foram acondicionados em recipientes fechados e com a ajuda de uma lupa binocular foram observados, classificados e quantificados conforme Gallo et al (1988).

As avaliações realizadas foram o número total de organismos de cada grupo taxonômico e a relação ácaro/Colêmbolo (A/C).



Figura 6: Funil de Tüllgren

3.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de significância de 5% e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Foram estabelecidas correlações simples de Pearson entre algumas variáveis, com significância obtida pelo teste t. Todas as análises foram realizadas por meio do software estatístico Sigmaplot (2004).

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atributos físicos do solo construído

Observa-se na Tabela 1 que, após 11 anos de revegetação, os atributos físicos densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos T1, T2, T3, T4, e T5. Este resultado deve-se possivelmente a maior concentração de raízes das espécies nesta camada mais superficial do solo construído, conforme estudo de Stumpf et al. (2016) realizado na mesma área de estudo, no qual observaram, em monólitos de solo com 0,30 m de profundidade, mais de 60% de biomassa radicular das gramíneas concentradas na camada de 0,00-0,10 m, e conseqüentemente nesta camada se observou os menores valores de Ds e os maiores valores de Ma em relação às camadas inferiores.

Tabela 1: Valores médios de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) e porcentagem de macroagregados e microagregados estáveis em água da camada de 0,00-0,10 m de um solo construído submetido a revegetação com diferentes espécies.

Tratamentos	Ds Mg m ⁻³	Ma -----m ³ m ⁻³ -----	Mi -----m ³ m ⁻³ -----	Pt	DMP mm	Macroagregados -----%-----	Microagregados
T1	1,45 a	0,109 a	0,368 a	0,477 a	1,28 a	58,25 a	41,75 a
T2	1,48 a	0,106 a	0,339 a	0,445 a	1,13 a	59,51 a	40,49 a
T3	1,42 a	0,104 a	0,343 a	0,447 a	1,14 a	55,85 a	44,15 a
T4	1,35 a	0,108 a	0,359 a	0,466 a	1,34 a	52,46 a	47,54 a
T5	1,49 a	0,111 a	0,343 a	0,453 a	1,12 a	56,31 a	43,69 a
T6	1,70	0,092	0,322	0,392	0,48	38,32	61,68
T7	1,57	0,097	0,308	0,406	1,22	62,00	38,00
T8	1,40	0,098	0,369	0,467	2,82	82,53	17,47

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si (teste de Tukey, $p < 0,05$). T1: *Hemarthria altissima*; T2: *Cynodon dactylon* cv. Tifton; T3: *Paspalum notatum* cv. Pensacola; T4: *Urochloa brizanta*; T5: vegetação espontânea; T6: solo construído sem vegetação; T7: solo construído com vegetação nativa há pelo menos 15 anos; T8: solo natural.

O efeito positivo das espécies vegetais na recuperação da estrutura do solo construído fica mais evidente quando são analisadas as diferenças entre os valores dos atributos físicos do solo sob os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 em relação às testemunhas T6 (solo construído sem vegetação) e T7 (solo construído com vegetação nativa há pelo menos 15 anos). Isto é, em média, os valores de Ds dos tratamentos foram 15,4% e 8,4% menores (Figura 7), os valores Ma foram 16,96 % e 10,92% superiores (Figura 8), os valores de Mi foram 8,82% e 13,8% superiores (Figura 9) e os valores de Pt

foram 16,74% e 12,72% superiores (Figura 10) em relação ao T6 e T7, respectivamente. A alta densidade de raízes de gramíneas pode adicionar carbono ao solo, influenciando na estruturação do solo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011), pois as raízes ao crescerem influenciam na reorganização da rede de poros do solo (PERKONS et al., 2014) através da formação de bioporos com ampla variação de tamanho (LIMA et al., 2013).

Por outro lado, quando os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 são comparados com a testemunha T8 (solo natural) se observa que a camada superficial (0,00-0,10 m) do “novo solo”, apresenta valores de Ds, Ma, Mi e Pt muito próximos ao solo natural, predominante na área de mineração que é constituído predominantemente de vassouras e macegas. Isto é, após 11 anos de revegetação, os tratamentos apresentaram, em média, valores de Ds 2,7% superiores (Figura 7), valores de Ma 9,85% superiores (Figura 8), valores de Mi 5,02% inferiores (Figura 9) e valores de Pt 2,02% inferiores (Figura 10) em relação ao T8. De acordo com Stumpf (2015) comparar os atributos do solo minerado em relação ao solo natural permite compreender a intensidade do impacto da mineração no ambiente e, conseqüentemente, permite estimar o período de recuperação necessário para que o novo perfil de solo cumpra suas funções no ambiente em que está inserido (reservatório de carbono, habitat de organismos, fornecedor de nutrientes, reservatório de água e ar e ambiente favorável para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, entre outras).

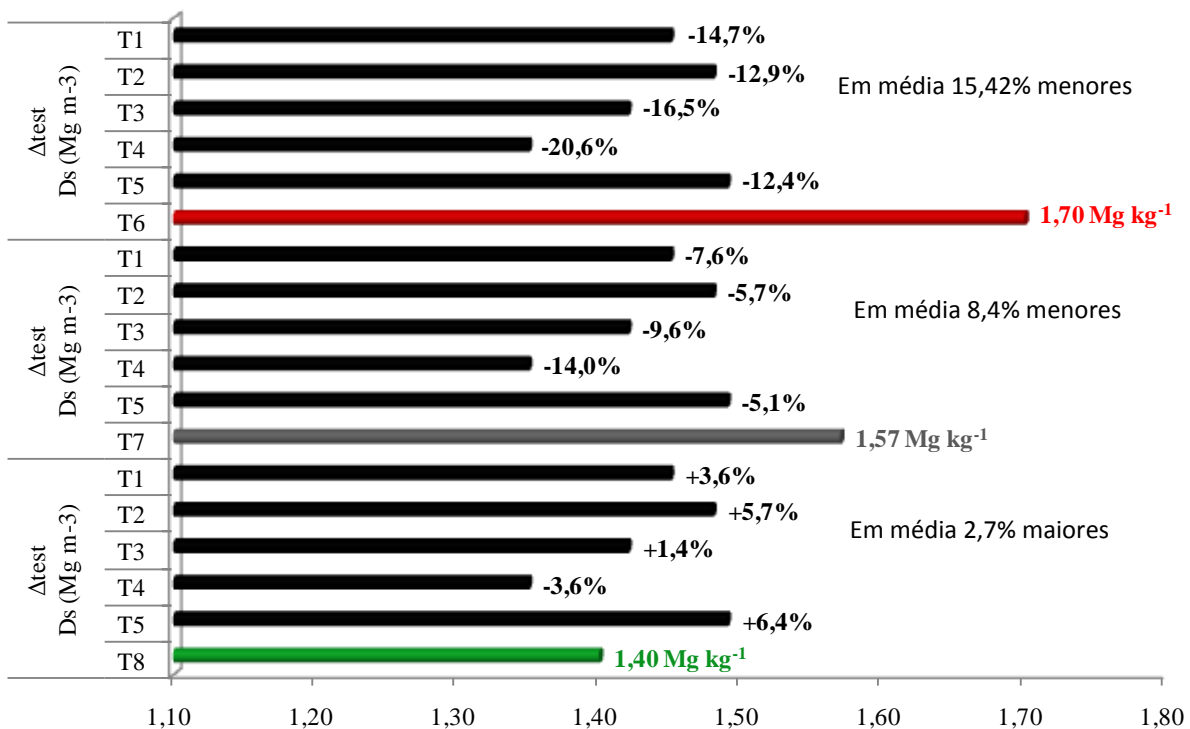


Figura 7: Diferenças (Δ_{test}) dos valores de densidade do solo (Ds) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

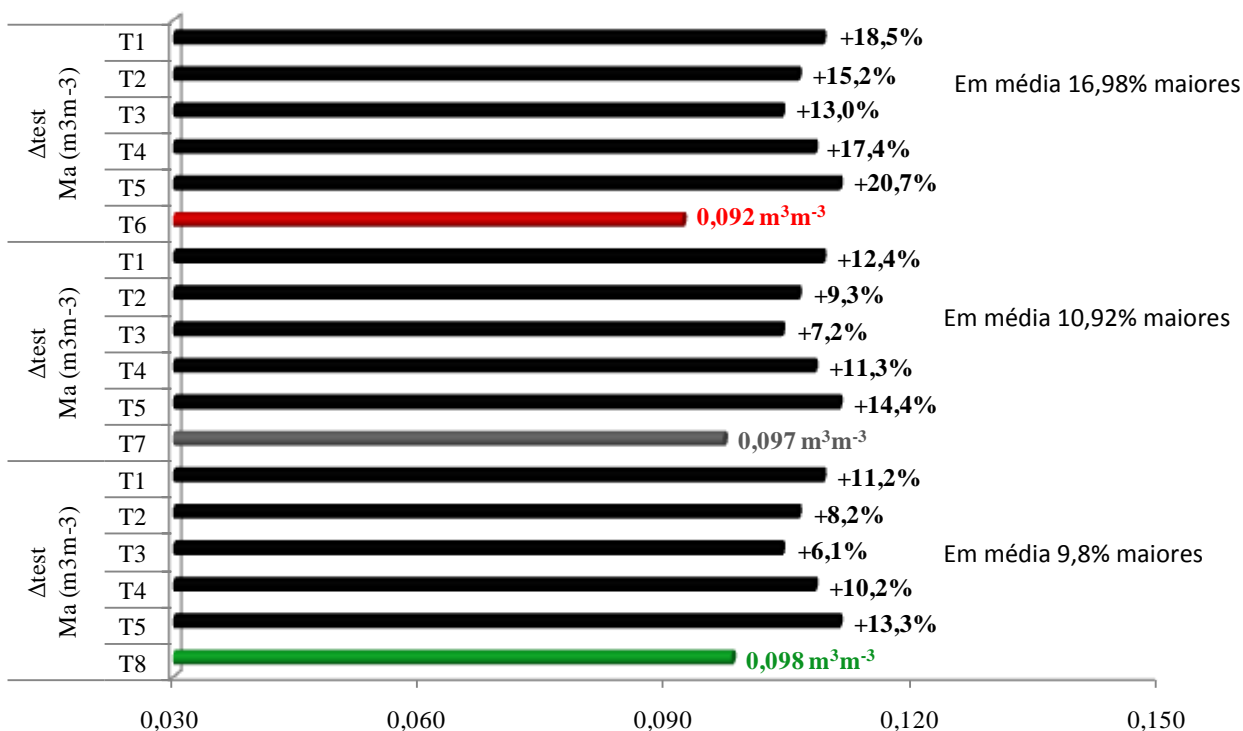


Figura 8: Diferenças (Δ_{test}) dos valores de macroporosidade (Ma) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

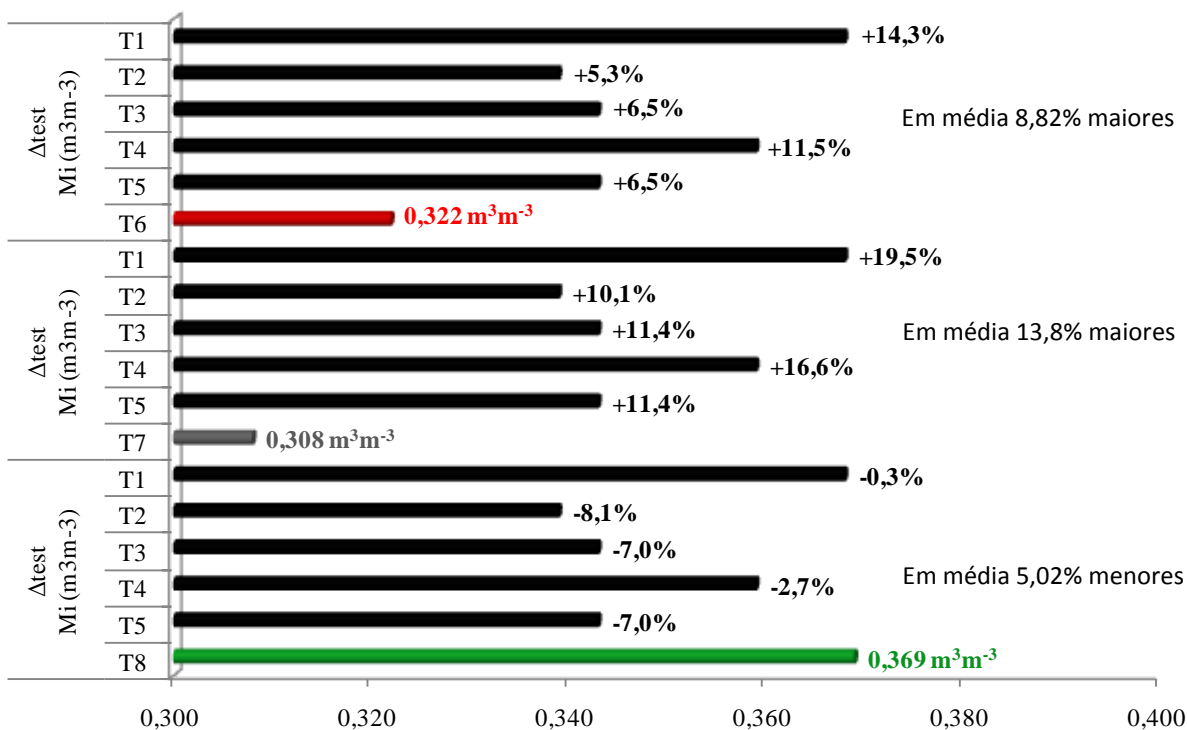


Figura 9: Diferenças (Δ_{test}) dos valores de microporosidade (Mi) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

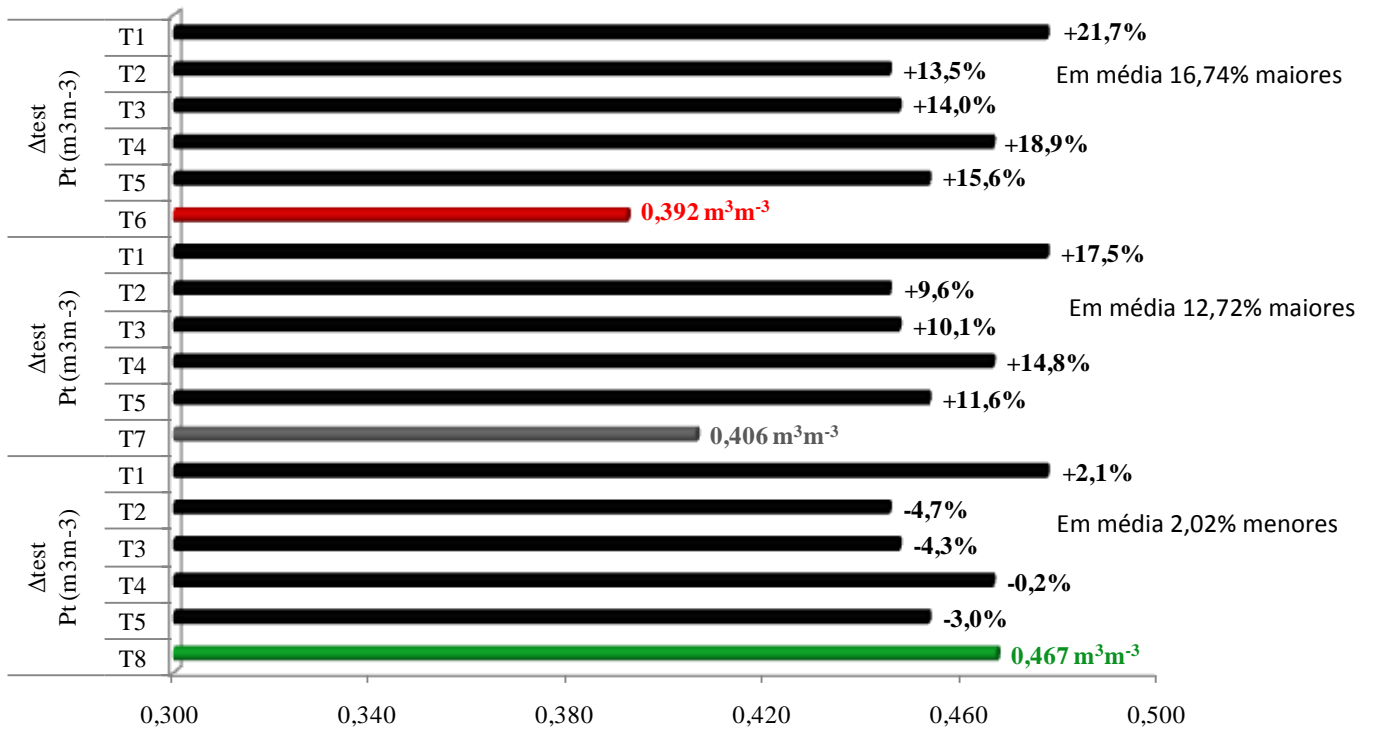


Figura 10: Diferenças (Δ_{test}) dos valores de porosidade total (P_t) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

Com relação ao estado de agregação do solo construído, também se observa que os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 não mostraram diferenças estatísticas entre si (Tabela 1). Verifica-se entretanto valores semelhantes entre a porcentagem de macro e microagregados na camada de 0,00-0,10 m do solo construído. Isto é, enquanto a porcentagem de macroagregados oscilou de 52,46% a 59,51% a porcentagem de microagregados oscilou de 40,49% a 47,54% (Tabela 1). Stumpf (2015), mediante as observações realizadas nos monólitos e nos resultados dos atributos radiculares e de agregação, sugeriu que a hierarquia de agregação de solos minerados compactados em processo de recuperação abrangia os seguintes níveis: (a) agregados grandes e extremamente compactos, advindos da compressão da massa de solo desagregada durante a recomposição topográfica da área minerada; (b) agregados menores advindos da quebra dos agregados grandes e coesos através da ação dos ciclos de umedecimento e secagem e do desenvolvimento inicial do sistema radicular das plantas; (c) microagregado coeso, às vezes recoberto por raízes; (d) submicroagregado com pequenos fragmentos de raiz; (e) a partir daqui, a agregação começaria a ocorrer da mesma forma como apresentada por Brady & Weill (2013), isto é, formação de um submicroagregado muito pequeno, constituído de partículas minerais, cobertas com matéria orgânica e

pequenos fragmentos de restos de plantas e de microorganismos; Após, formação de um microagregado, constituído principalmente de partículas de areia fina, pequenos aglomerados de argila e silte e substâncias orgânicas unidas por pêlos radiculares, hifas de fungos e gomas produzidas por microorganismos; e por fim, formação de um macroagregado composto por muitos microagregados unidos, principalmente, por uma rede de hifas de fungos e raízes finas. A autora também ressalta que, após 8,6 anos de recuperação do solo construído, observou especificamente na camada de 0,00-0,10 m, a presença de todos os níveis de hierarquização citados acima (a, b, c, d, e).

O efeito positivo dos tratamentos na reestruturação do solo é positivamente evidenciado quando as porcentagens de macro e microagregados e os diâmetros médios ponderados de agregados estáveis em água (DMP) são comparados com a Testemunha T6 (solo construído sem vegetação). Isto é, em relação ao solo construído sem vegetação, o solo submetido aos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 apresentaram, em média, aumento de 47,36% na porcentagem de macroagregados (Figura 11), redução de 29,64% na porcentagem de microagregados (Figura 12) e aumento de 150,44% no DMP (Figura 13), evidenciando o efeito positivo das plantas de cobertura na agregação do solo.

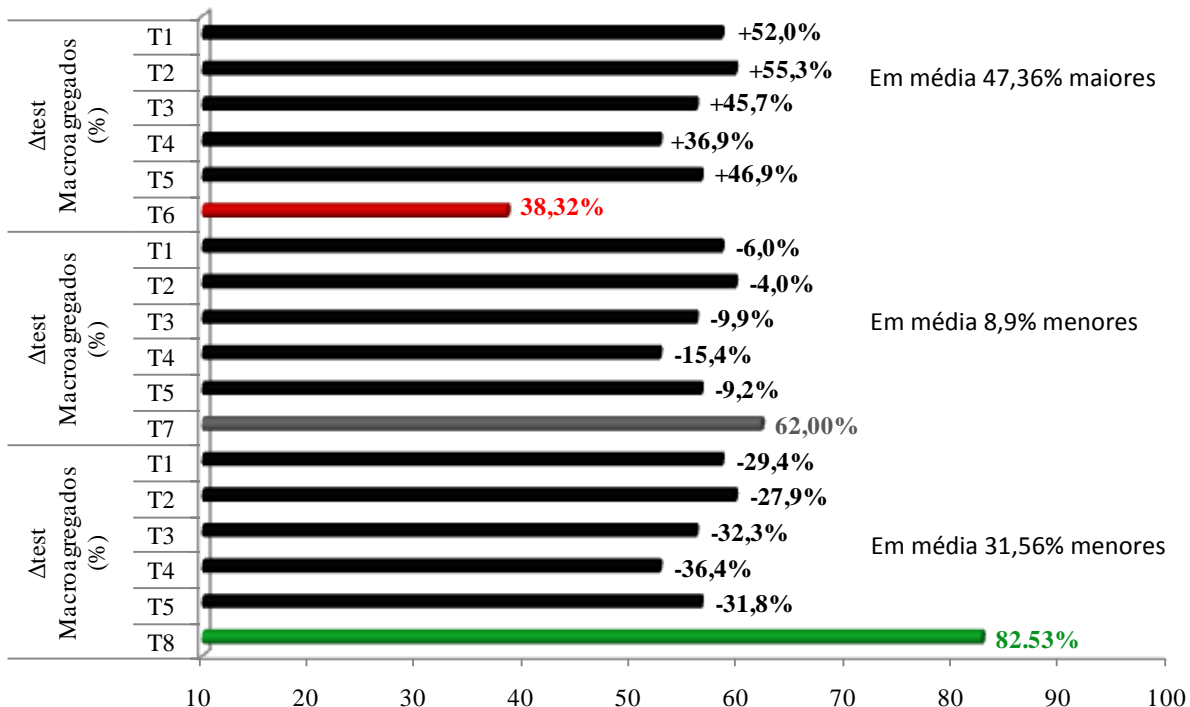


Figura 11: Diferenças (Δ_{test}) da porcentagem de macroagregados dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

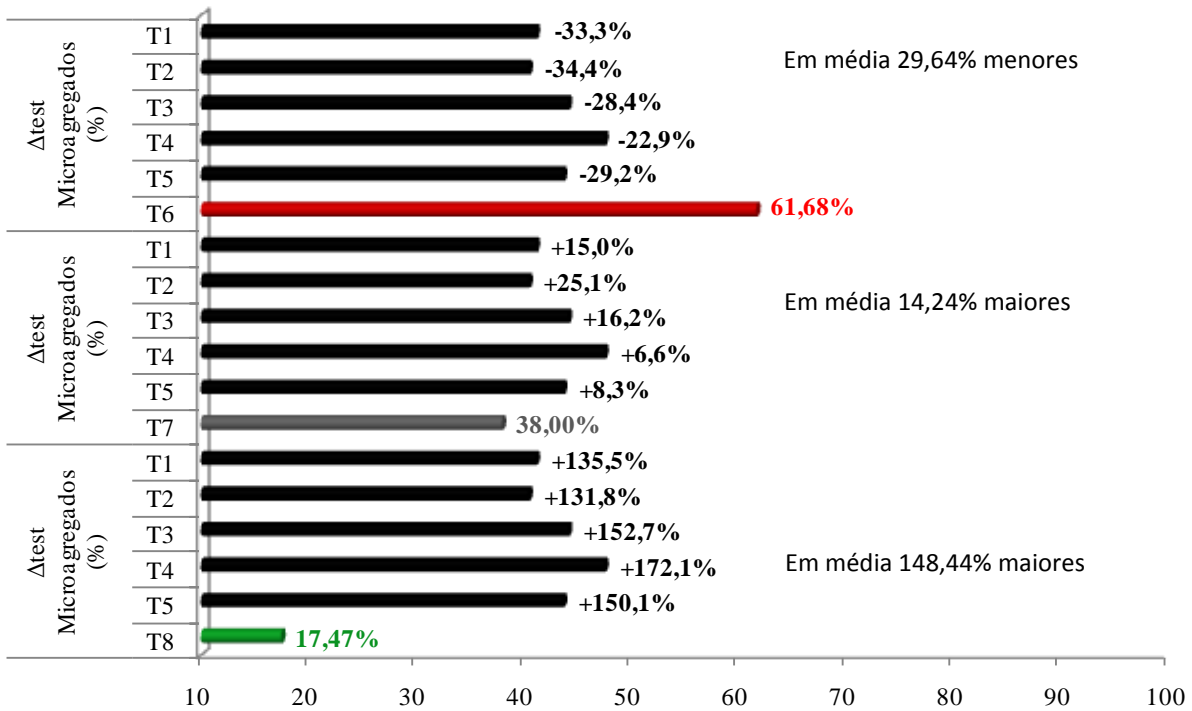


Figura 12: Diferenças (Δ_{test}) da porcentagem de microagregados dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

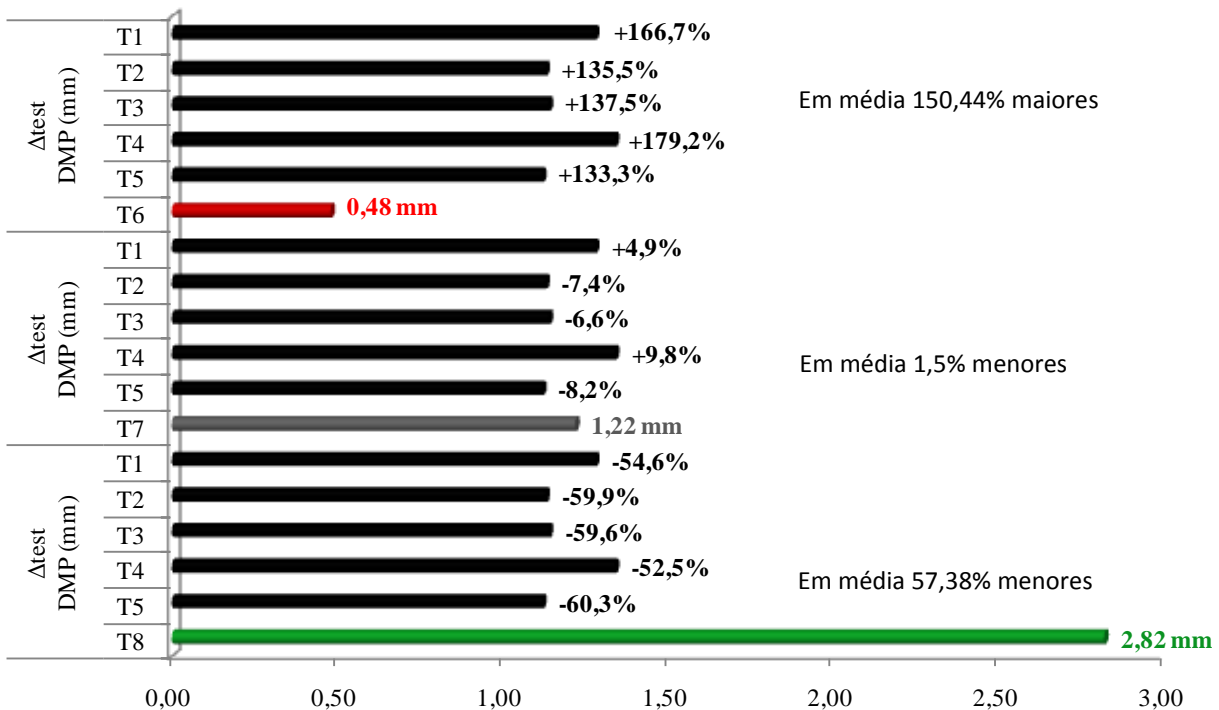


Figura 13: Diferenças (Δ_{test}) dos valores do diâmetro médio ponderado (DMP) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

Em relação à Testemunha T7 (solo construído sob vegetação nativa há 15 anos) percebe-se, em média, a redução de 8,9% na porcentagem de macroagregados (Figura 11), aumento de 14,24% na porcentagem de microagregados (Figura 12) e redução de 1,5% no DMP (Figura 13), bem como redução de 31,36% na porcentagem de macroagregados (Figura 11), redução de 148% na porcentagem de microagregados (Figura 12) e redução de 57,4% no DMP (Figura 13) em relação ao T8 (solo natural). Este resultado evidencia o quanto demorado é a recuperação dos solos degradados pelo processo de mineração para que chegue a valores próximos aos do solo natural

Em solos agrícolas, Vezzani & Mielniczuk (2011) observaram que práticas de manejo sem revolvimento do solo, associadas à maior adição de C pelos sistemas de culturas (principalmente com gramíneas perenes com sistema radicular denso) por 15 a 17 anos, recuperaram a agregação do solo próximo da condição original de Campo Nativo. Em solos minerados, Wick & Daniels (2009) observaram que a distribuição de agregados de solos minerados há 16-20 anos foram semelhantes àqueles de solos não perturbados pela mineração de carvão. Acredita-se que esse tempo seja o mínimo necessário para que o solo em estudo volte a cumprir as suas funções no ambiente.

4.2. Atributos químicos do solo construído

Observa-se na Tabela 2 que, após 11 anos de revegetação, os atributos químicos pH em água, Ca, Mg, K, Na, Al, P, saturação por bases (V) e por alumínio (m) e teor de carbono orgânico (CO) não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos T1, T2, T3, T4, e T5.

Por outro lado, quando se comparam os atributos pH, saturação por bases e alumínio dos tratamentos em relação às testemunhas T6 (solo construído sem vegetação), T7 (solo construído com vegetação nativa há pelo menos 15 anos) e T8 (solo natural) observa-se grandes diferenças. Isto é, em média, os valores de pH dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foram, respectivamente, 83,4%, 38,56% e 17,66% superiores em relação ao T6, T7 e T8 (Figura 14), enquanto que os valores da saturação por bases (V) foram, em média, 2268,6%, 276,8% e 50,7% superiores em relação ao T6, T7 e T8 respectivamente (Figura 15). Conseqüentemente, os valores da saturação por alumínio dos tratamentos foram, em média, 92,5%, 86,4% e 62,9% inferiores em relação às testemunhas T6, T7 e T8, respectivamente (Figura 16).

Tabela 2: Valores médios de pH em água, dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), fósforo (P), saturação de bases (V) e alumínio (m) e teor de carbono orgânico da camada de 0,00-0,10 m de um solo construído submetido a revegetação com diferentes espécies.

Tratamentos	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	P	V	m	CO
T1	5,75 a	5,33 a	3,55 a	0,46 a	0,03 a	0,25 a	30,23 a	69,56 a	2,60 a	13,02 a
T2	5,40 a	5,90 a	3,55 a	0,35 a	0,03 a	1,18 a	55,05 a	53,05 a	10,68 a	12,62 a
T3	5,50 a	4,98 a	3,33 a	0,43 a	0,03 a	0,30 a	43,98 a	66,97 a	3,31 a	14,21 a
T4	5,73 a	5,38 a	3,48 a	0,38 a	0,02 a	0,30 a	40,65 a	69,18 a	3,14 a	12,62 a
T5	5,13 a	4,35 a	4,25 a	0,23 a	0,02 a	1,13 a	24,05 a	51,53 a	11,28 a	15,63 a
T6	3,00	0,83	0,50	0,14	0,04	7,28	3,58	2,62	82,81	9,41
T7	3,95	2,15	1,00	0,23	0,03	2,85	4,95	16,47	45,53	14,02
T8	4,68	2,78	0,93	0,25	0,03	0,80	5,50	40,97	16,70	17,21

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si (teste de Tukey, $p < 0,05$). T1: *Hemarthria altissima*; T2: *Cynodon dactylon* cv. Tifton; T3: *Paspalum notatum* cv. Pensacola; T4: *Urochloa brizanta*; T5: vegetação espontânea; T6: solo construído sem vegetação; T7: solo construído com vegetação nativa há pelo menos 15 anos; T8: solo natural.

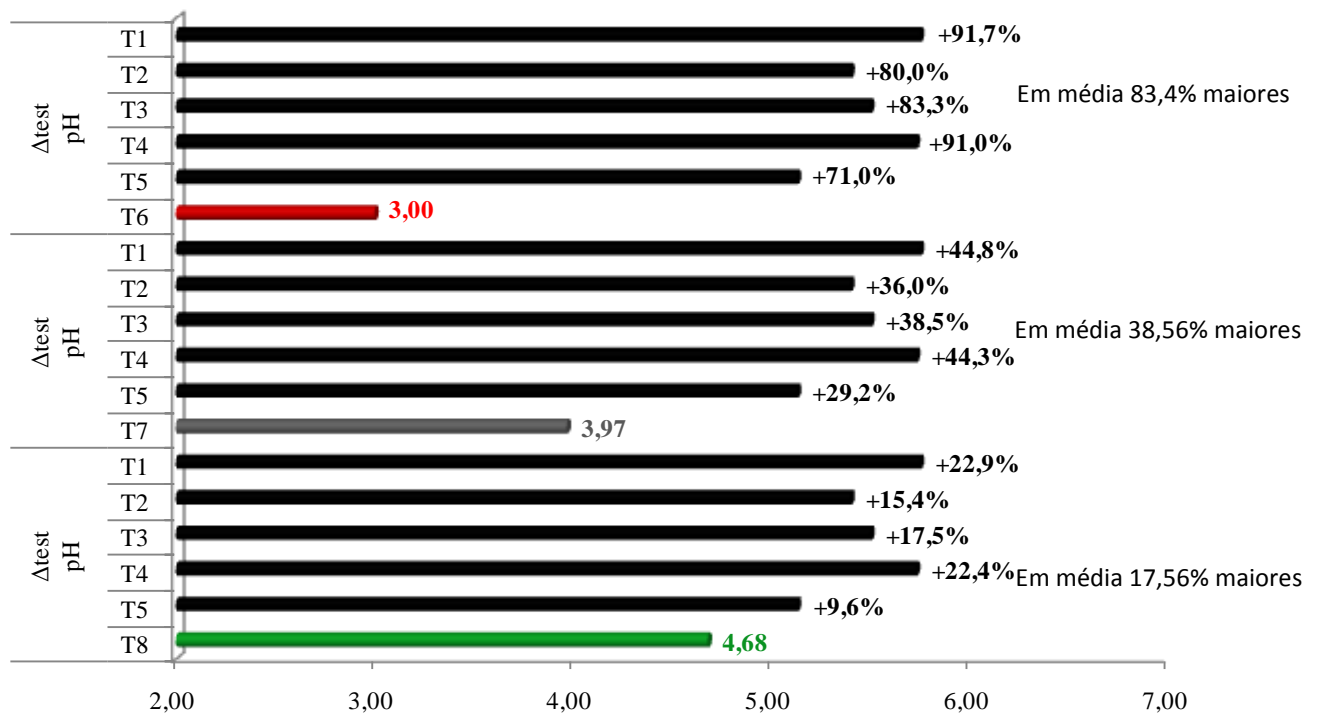


Figura 14: Diferenças (Δ_{test}) dos valores de pH em água dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

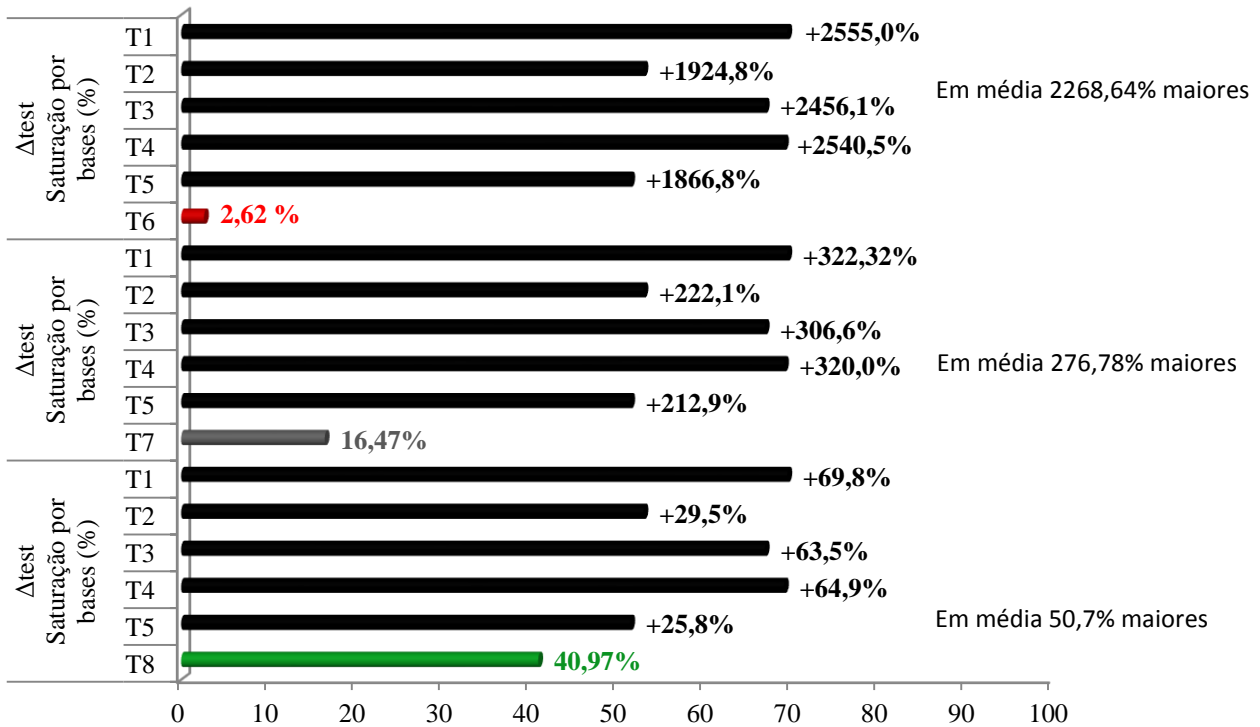


Figura 15: Diferenças (Δ test) dos valores da saturação por bases dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

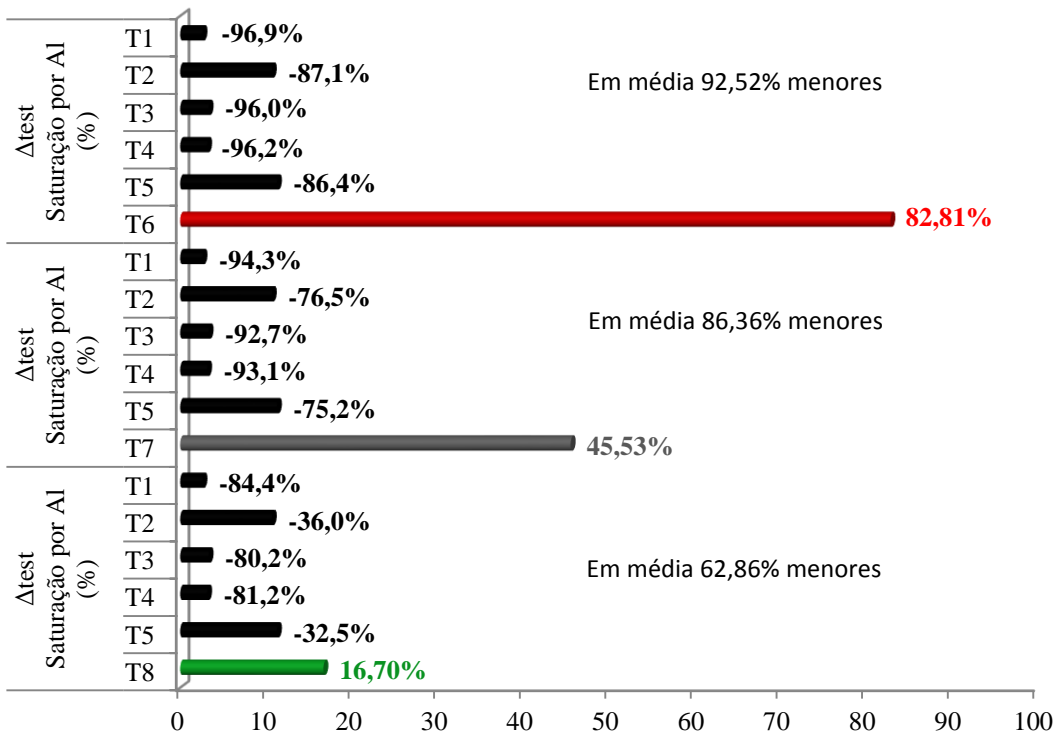


Figura 16: Diferenças (Δ test) dos valores da saturação por Al dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

Os aumentos dos valores de pH e de saturação por bases e a diminuição dos valores da saturação por Al dos tratamentos em relação às testemunhas derivam primariamente do fato de que os tratamentos receberam calagem e adubação, conforme relatado no item 3.1 do Material e Métodos. Por outro lado, valores muito baixos de pH, abaixo de 4, nos tratamentos T6 e T7, principalmente no T6, indicam a possível ocorrência do fenômeno da drenagem ácida de minas (DAM) nesses solos, decorrente da presença de materiais do estéril como resultado da erosão parcial do solo superficial (terra vegetal – “topsoil”). Por isso, segundo Sheoran et al. (2010), o pH do solo é um dos indicadores mais utilizados na avaliação da qualidade dos solos minerados, pois este atributo químico altera rapidamente com a intemperização e a oxidação dos fragmentos das rochas, utilizadas como material estéril, os quais podem conter enxofre reduzido. Estes esteréis, de acordo com Brady & Weill (2013), quando expostos ao ar e à água resultam na produção de grandes quantidades de ácido sulfúrico, que em contato com a água de drenagem e oxigênio gera a água ácida de mina, com valores de pH muito baixos.

Embora o atributo CO do T5 tenha apresentado uma redução de 9,2% com relação ao T8, esse apresentou um aumento de 11,5% do teor de CO quando comparado ao T7, destacando-se dos demais (Figura 17). Esses relativamente baixos valores de CO (menores que 2%) em todos os tratamentos, inclusive o solo natural, derivam do fato de que o solo natural (Argissolo) por si é um solo pobre em matéria orgânica. Ressalta-se, entretanto, que todos os tratamentos cultivados com plantas de cobertura e o solo construído com vegetação natural (T7) apresentam valores de CO semelhantes. Quando se comparam os resultados obtidos nos diferentes tratamentos com o solo construído sem vegetação (T6) verifica-se que esse apresenta um valor muito baixo de CO, evidenciando que os valores de CO dos tratamentos decorreram da adição de matéria orgânica realizado pelas plantas de cobertura. Nesse sentido é interessante observar que os tratamentos cultivados com plantas de cobertura apresentam valores que se aproximam do CO do solo natural (T8) após 11 anos de implantação das culturas. Cabe ressaltar que a recuperação de solos totalmente degradados como ocorre em minas de extração de carvão a céu aberto é um processo lento e exige a necessidade de continua incorporação de massa vegetal, tanto aérea como subterrânea para alcançar-se níveis adequados de matéria orgânica, importante indicador da qualidade dos solos.

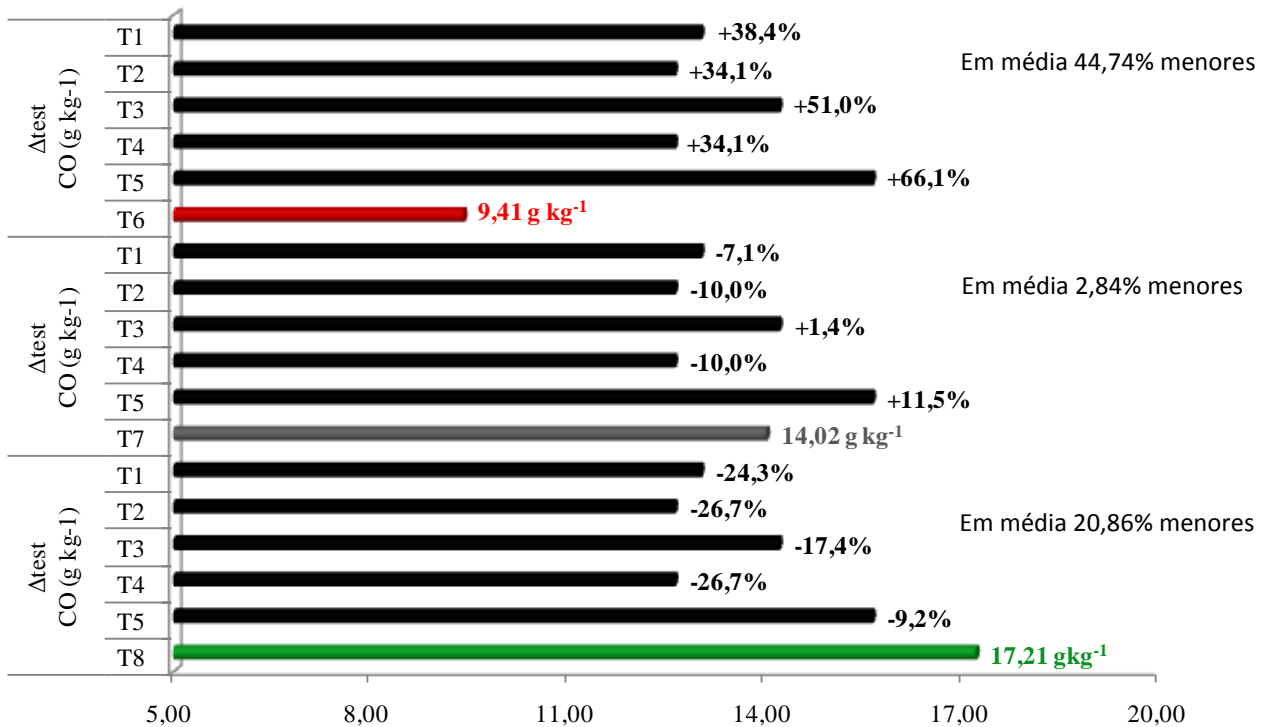


Figura 17: Diferenças (Δ_{test}) dos teores de carbono orgânico (CO) dos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

4.3. Fauna edáfica do solo construído

Observa-se na Tabela 3 que, após 11 anos de revegetação, o número de organismos (ácaros e colêmbolos) apresentou diferença estatística entre os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. O tratamento T1 destacou-se dos demais ao apresentar um número total médio de organismos de 12,66 para ácaros e 2,75 para colêmbolos. O destaque negativo foi para a testemunha T6 (solo construído sem cobertura) que apresentou valores médios de organismos de 0,25 e 0,00 para ácaros e colêmbolos, respectivamente (Tabela 3).

Ao se analisar os resultados médios obtidos nos diferentes tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5) com as testemunhas (T6, T7 e T8) verifica-se que houve respectivamente aumento médio de 2560,8%, 232,6% e uma redução de 60,28% para o número médio de ácaros (Figura 18), e aumento médio de 145%, 145% e uma redução de 76,8% para o número médio de colêmbolos (Figura 19).

Embora os tratamentos já tenham se diferenciado no número médio de ácaros com relação ao T6, o T1 destacou-se dos demais, apresentando um valor de 4952% de aumento, quando comparado ao T6. ALVES et al. (2003) encontrou número médio de 38

indivíduos coletados pela metodologia “Trampas de Tretzel” em *Hemarthria altíssima* sem adubação líquida de suínos.

Tabela 3: Valores médios de número de Ácaros (A) e Colêmbolos (C) e relação A/C da camada de 0,00-0,10 m de um solo construído submetido a revegetação com diferentes espécies.

Tratamentos	Ácaros	Colêmbolos	Relação A/C
	n° indivíduos		
T1	12,63 a	2,75 a	4,59
T2	3,25 c	0,00 b	-
T3	6,13 bc	2,25 a	2,72
T4	7,50 b	0,75 a	10,00
T5	3,75 bc	1,50 a	2,50
T6	0,25	0,00	-
T7	2,00	0,00	-
T8	16,75	6,25	2,68

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si (teste de Tukey, $p < 0,05$). T1: *Hemarthria altíssima*; T2: *Cynodon dactylon* cv. Tifton; T3: *Paspalum notatum* cv. Pensacola; T4: *Urochloa brizanta*; T5: vegetação espontânea; T6: solo construído sem vegetação; T7: solo construído com vegetação nativa há pelo menos 15 anos; T8: solo natural.

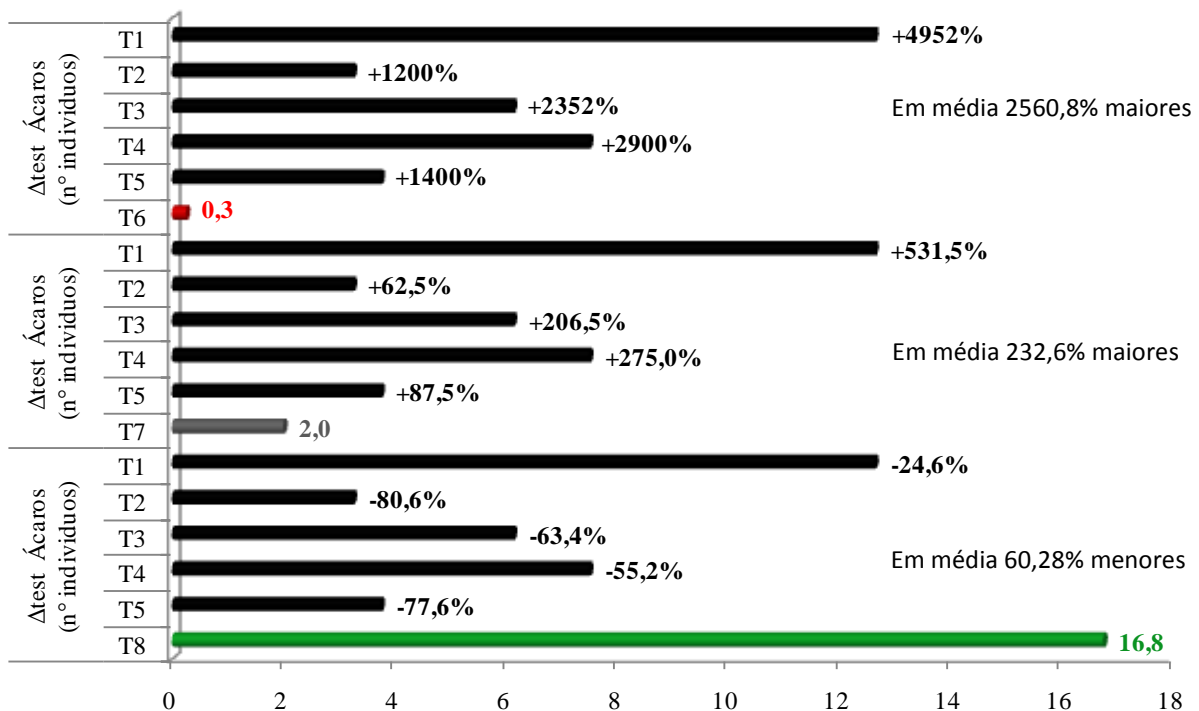


Figura 18: Diferenças (Δ test) do número de ácaros observados nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

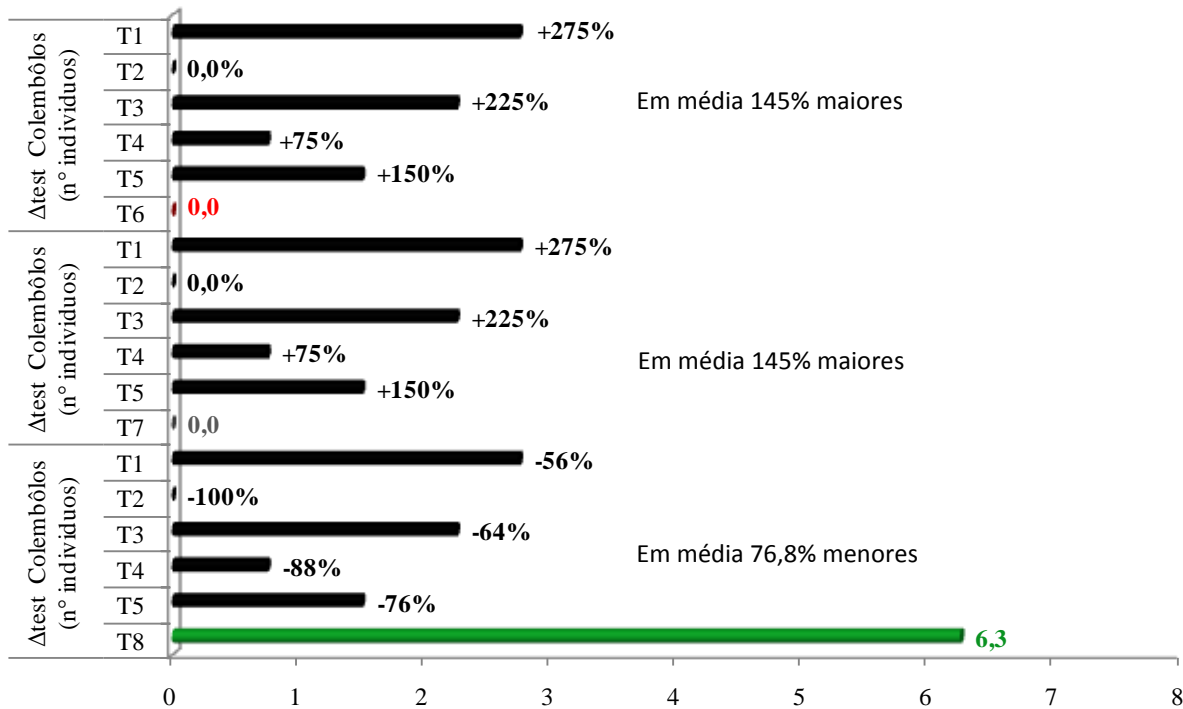


Figura 19: Diferenças (Δ test) do número de colêmbolos observados nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5) em relação ao solo construído sem cobertura (T6), ao solo construído sob vegetação nativa (T7) e ao solo natural (T8)

Em todos os tratamentos o número médio de ácaros foi maior que o de colêmbolos do mesmo tratamento. Silva, et al.(2013) em área de restinga periodicamente inundável também encontraram, em todos os tratamentos avaliados, um número superior de ácaros, utilizando a metodologia do Funil de Tüllgren.

Souto et al. (2008) cita que a grande diferença de número de espécimes de ácaros em relação ao de colêmbolos pode estar relacionada com a capacidade dos ácaros suportarem melhor as condições adversas do ambiente, como por exemplo, a umidade do solo. Jose et al. (2013) também verificaram maior densidade de ácaros do que de colêmbolos em uma área sob cultivo de tabaco.

Estas respostas são coerentes, pois, segundo Bachelier (1963) os ácaros ocorrem em maior quantidade no interior do solo, enquanto que os colêmbolos na superfície.

Quanto à relação A/C (Tabela 3) observa-se que os valores variaram de 0 para os tratamentos T2, T6 e T7, e 10 para o tratamento T4. O único tratamento que está no limite considerado ideal (intervalo de 4 a 5) por Bachelier (1963) é o T1, que apresentou o valor de 4,59 mostrando a importância do manejo do solo e da cultura utilizada na vida da mesofauna presente no solo em estudo (ácaros e colêmbolos). O fato da *Urochloa*

Brizantha (T4) apresentar uma relação desproporcional de ácaros em relação a colêmbolos pode estar relacionado a maior quantidade de raízes e aos exsudatos expelidos por elas.

4.3.1. Fauna edáfica x Atributos químicos do solo construído

Os atributos físicos e químicos do solo podem ser influenciados pelos ácaros através da degradação dos resíduos vegetais, que liberam materiais já em decomposição para os microrganismos, principalmente bactérias, que auxiliam na manutenção de uma relação C/N mais adequada, de modo que a fauna e a flora do solo possam manter os nutrientes livres para serem absorvidos pelos vegetais, pela própria liberação de nutrientes como, por exemplo, o cálcio, assim ocorrendo uma considerável melhoria na estruturação do solo (BACHELIER, 1963).

A figura 20 apresenta a distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionadas à variação dos teores de cálcio para cada tratamento. Nela identifica-se a importância do elemento Ca^{2+} na permanência desses organismos no solo. Pode-se observar que a presença mais elevada do Ca no solo interfere positivamente na frequência dos grupos estudados, com exceção para o T2 (*Cynodon dactylon*), onde se observa a menor quantidade de ácaros e a ausência de colêmbolos, provavelmente devido a própria espécie cultivada.

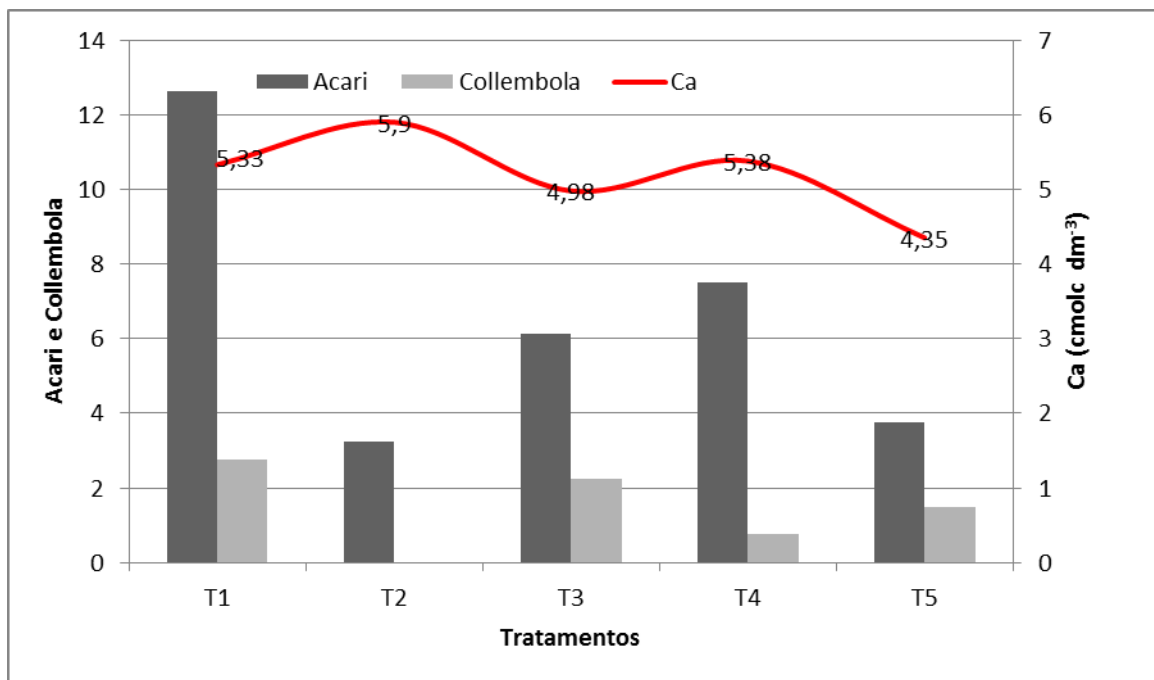


Figura 20: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionada à variação do teor de cálcio (Ca) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)

A maioria dos organismos da mesofauna colabora com a presença de cálcio no solo, pois o libera através de suas excreções e/ou através da sua morte. Assim como as minhocas excretam CaCO_3 , os ácaros e colêmbolos o fazem no sentido da liberação do elemento cálcio embora em proporções menores. É importante considerar que a presença de Ca no solo favorece a permanência e multiplicação da mesofauna na camada arável, no caso de ácaros e colêmbolos na liteira e serapilheira (MORSELLI, 2009).

Silva (2015) observou que maiores teores de cálcio no pastoreio Voisin podem estar associados a maior população de colêmbolos apresentada por esse pastoreio em relação ao pastoreio Contínuo.

A figura 21 apresenta a distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionadas à variação dos teores de magnésio (Mg) para cada tratamento. A menor presença de Mg parece não ter influenciado no somatório total de organismos encontrados nos tratamentos T1 a T5, uma vez que os estes tratamentos apresentaram teores de Mg semelhantes. Assim observa-se que o maior teor de Mg ($4,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) apresentado no (T5) parece não ter interferido na quantidade média de organismos totais encontrados, uma vez que o T1 apresentou teor inferior de Mg ($3,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) quando comparado ao T5 e apresentou um número médio de organismos superior.

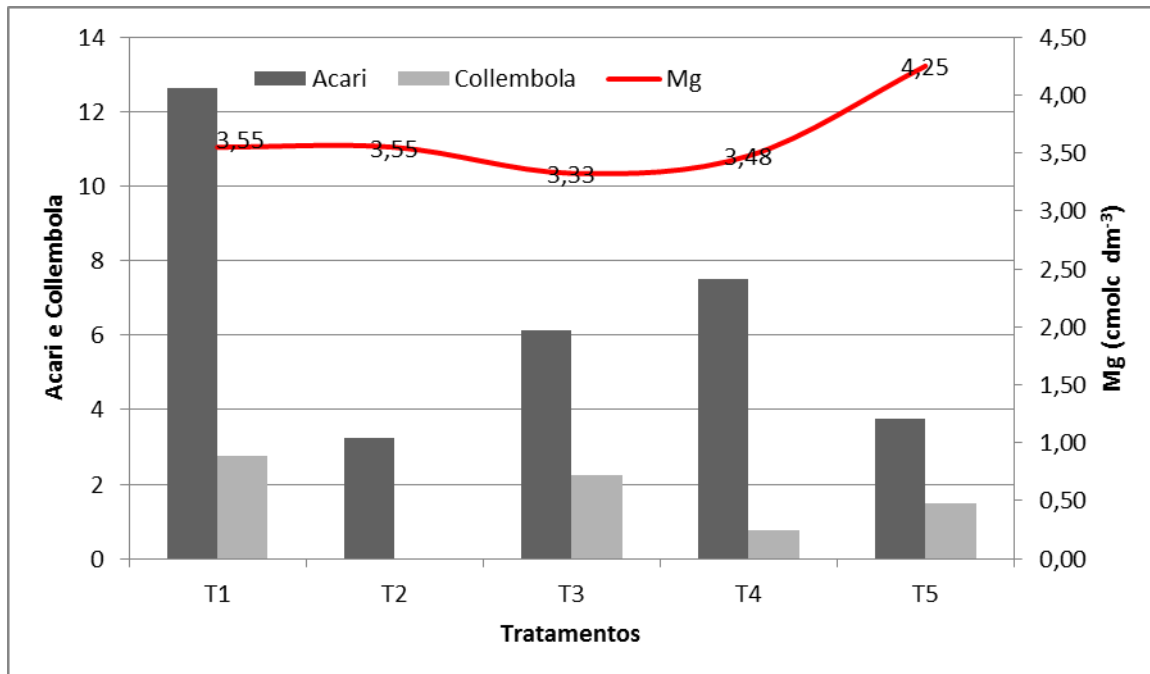


Figura 21: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do teor de magnésio (Mg) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)

Com relação ao pH (figura 22) observa-se que a diminuição do pH afeta diretamente a quantidade média de organismos encontrados. O T1 apresentou o pH mais alto (5,75) e apresentou também o maior número médio de organismos enquanto que os tratamentos T2 e T5 apresentaram os menores valores de pH (5,40) e (5,13) e, conseqüentemente, um menor número de organismos.

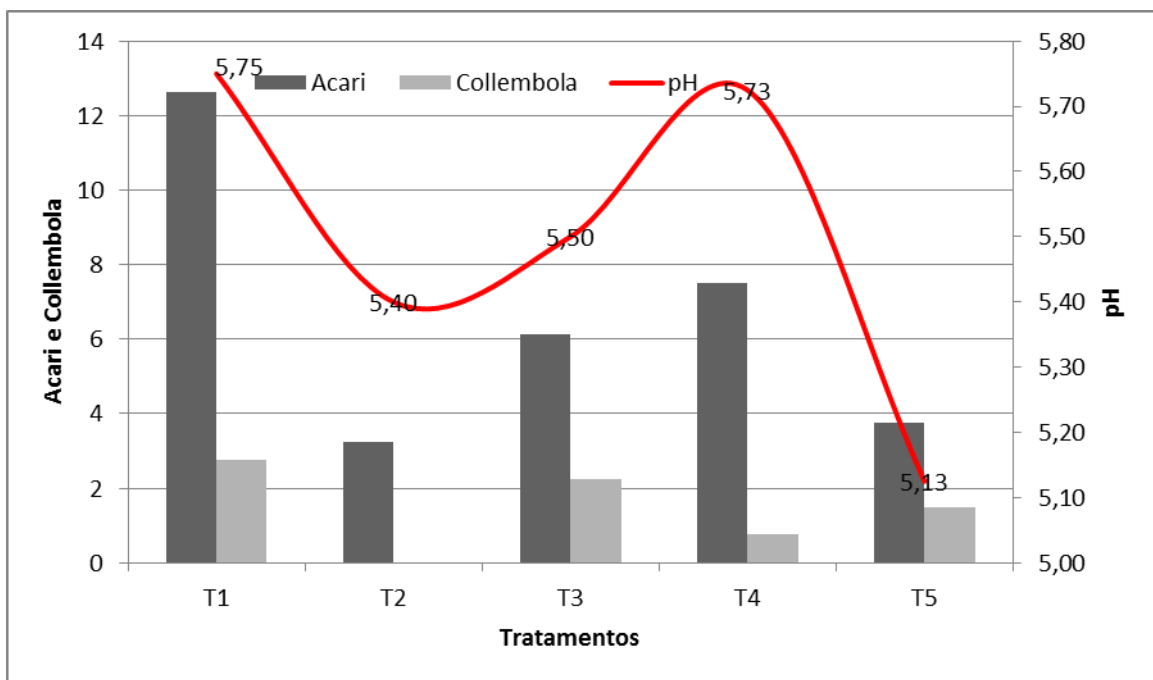


Figura 22: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do pH nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)

O pH exigido pela mesofauna é diretamente proporcional àquele exigido pela microbiologia e pelas plantas. Assim, os organismos vão lentamente se adaptando aos ambientes e formando novos nichos de sobrevivência de modo a manterem as espécies, e isto está diretamente relacionado às interferências do homem através dos manejos aplicados, dos solos estudados, das culturas instaladas que têm um comportamento diferente pois apresentam exsudações diferentes, alterando o pH e a permanência ou não dos diferentes grupos de organismos (MORSELLI, 2016)

Alterações do pH interferem na diversidade dos colêmbolos, pois a presença ou ausência de algumas espécies pode estar relacionada com a disponibilidade de íons específicos na água. Portanto, o manejo realizado em áreas agrícolas, com a finalidade de

melhorar a fertilidade e diminuir a acidez do solo, provoca variações no pH que podem causar estresse nessas comunidades (SILVA et al.,2015).

A figura 23 mostra que mesmo não havendo muita variação nos teores de CO houve uma diferença na presença dos organismos. Isto está relacionado às diferentes plantas de cobertura nos diferentes tratamentos (MORSELLI, 2016).

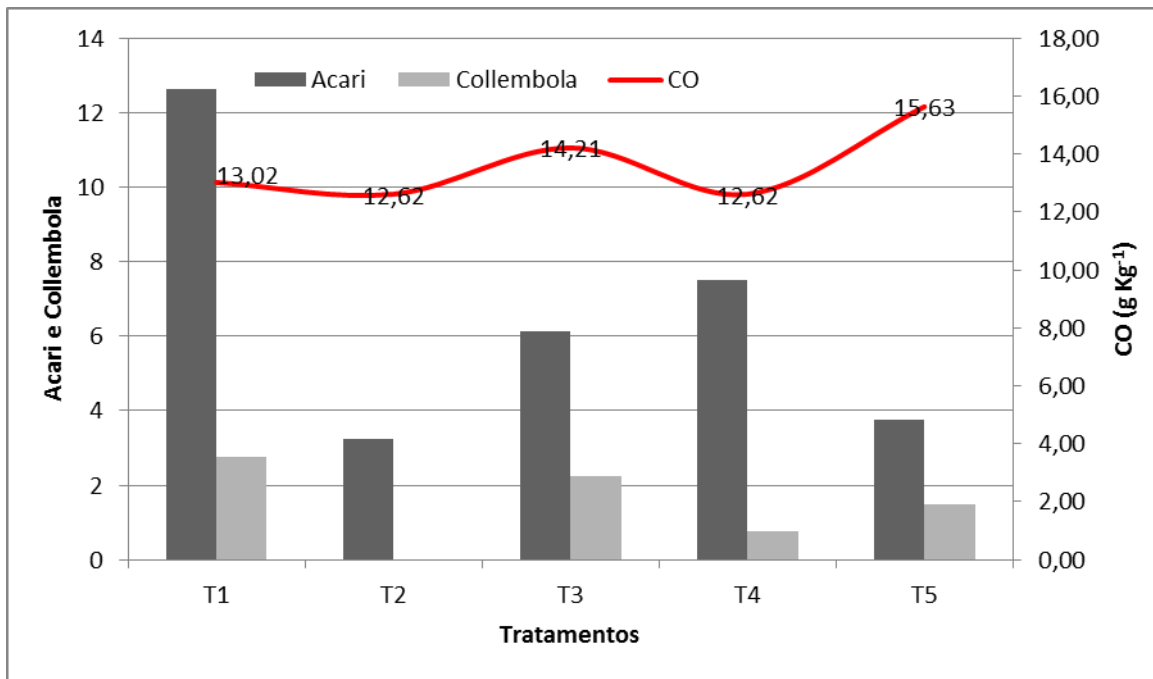


Figura 23: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do carbono orgânico (CO) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)

A figura 24 apresenta a distribuição das populações de ácaros e colêmbolos em comparação aos teores de alumínio (Al) para cada tratamento. Os maiores teores de Alumínio se relacionaram com o menor número de organismos encontrados e com os menores valores de pH encontrados. O T1 apresentou os menores teores de Alumínio ($0,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e, conseqüentemente, o maior número médio de organismos, tanto para ácaros quanto para colêmbolos. Isto mostra que a presença de alumínio afeta diretamente a presença de ácaros e colêmbolos, causando uma redução no número de organismos. Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA (2015).

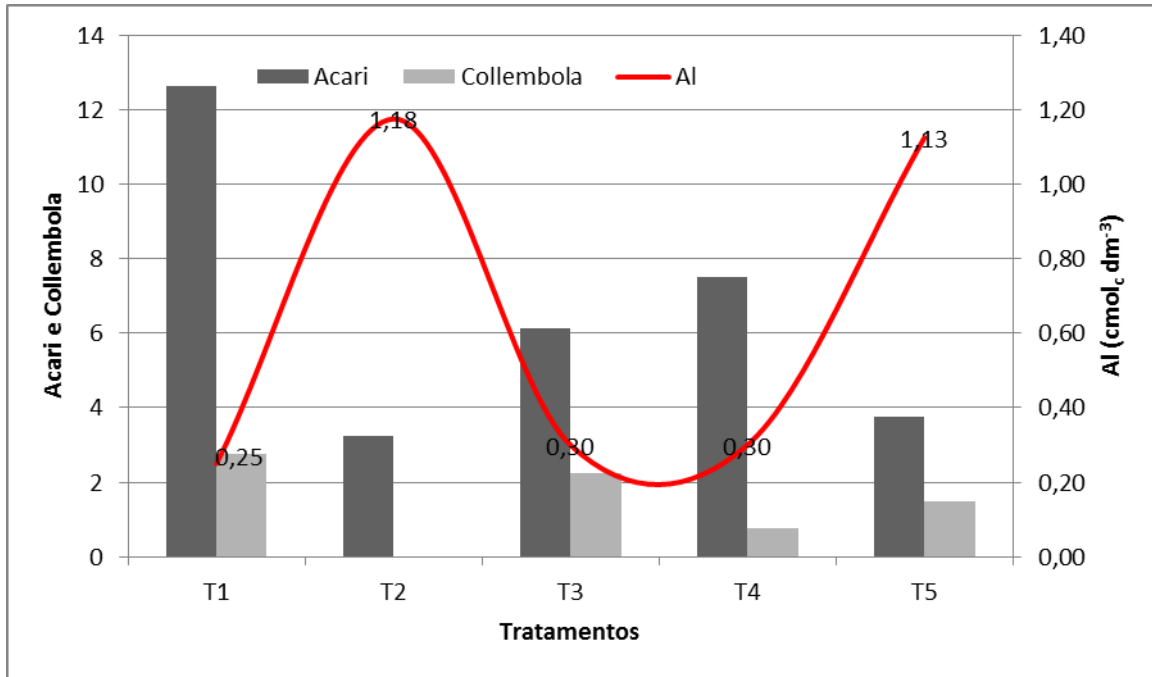


Figura 24: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do alumínio (Al) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)

A figura 25 apresenta a distribuição das populações de ácaros e colêmbolos relacionadas à variação dos teores de potássio (K) para cada tratamento. Os maiores e menores valores de K encontrados no T1 e no T5 ($0,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente) corroboram com o fato de que a fauna edáfica contribui favoravelmente para a ciclagem de nutrientes.

Krolow (2011) estudando a fauna edáfica em uma sucessão girassol/trigo em solo adubado com fertilizante mineral, organo-mineral e orgânico constatou que havia correlações entre a fertilidade do solo e os organismos presentes no mesmo. Entre as várias correlações estudadas encontrou correlação positiva entre o teor de K do solo e a população de ácaros, e correlação negativa entre o mesmo e a população de colêmbolos.

Na figura 26 apresenta-se o número de ácaros e colêmbolos em relação aos teores de P no solo. Os maiores valores de P foram encontrados no T2 ($55,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e dentre os tratamentos este foi o tratamento que apresentou o menor valor do número total de organismos. Evidencia-se desta forma que elevados valores de fósforo podem interferir negativamente na presença desses organismos no solo. Estes elevados valores de fósforo devem-se, provavelmente, as frequentes adubações realizadas na área experimental e ao baixo consumo deste elemento pela cultura implantada neste tratamento. Deve-se ainda levar em consideração que a aplicação de adubos minerais tende a reduzir

paulatinamente, mesmo com a calagem, o pH do solo que vem a afetar diretamente a densidade de ácaros e colêmbolos dos solos cultivados (MORSELLI, 2009) bem como os das áreas degradadas (OLIVEIRA, 2011).

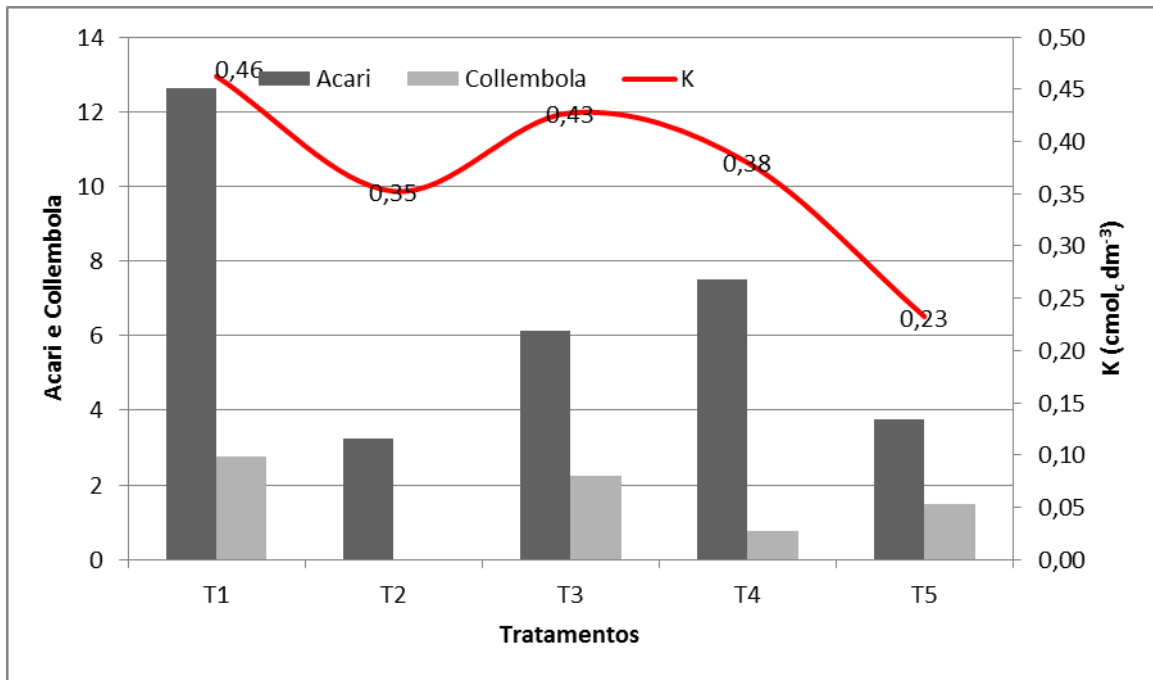


Figura 25: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do potássio (K) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)

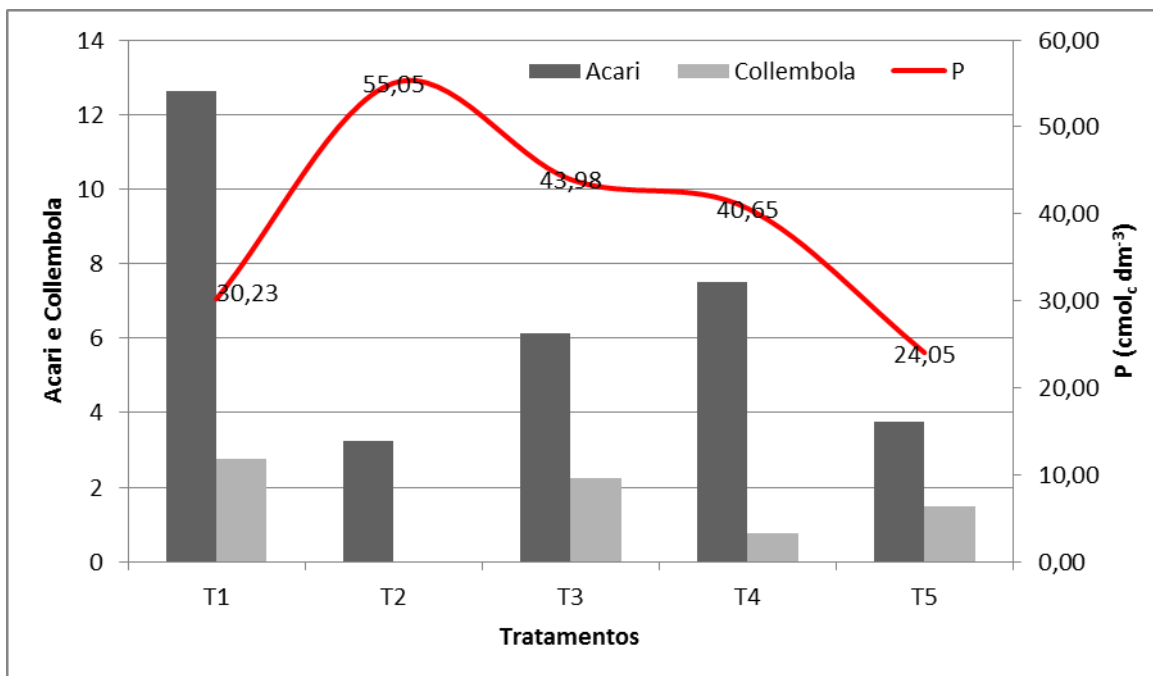


Figura 26: Distribuição da população de ácaros e colêmbolos relacionados à variação do Fósforo (P) nos tratamentos com gramíneas (T1, T2, T3, T4 e T5)

5. CONCLUSÕES

Após 11 anos de revegetação da área minerada constatou-se que diferentes plantas de cobertura afetam diferentemente a densidade de ácaros e colêmbolos, com destaque para a *Hemarthra altíssima*.

A população de ácaros e colêmbos está mais relacionada aos valores de pH e de alumínio do que aos valores de cálcio, magnésio e fósforo.

Fisicamente, o solo construído revegetado por 11 anos ainda apresenta uma estrutura do solo aquém do solo natural, corroborando com a grande demora na recuperação das áreas impactadas pela mineração de carvão.

O monitoramento ao longo do tempo dos atributos físico-químicos e da fauna edáfica torna-se necessário para dimensionar as funções dos solos impactados pelo processo de mineração.

A permanência da cobertura vegetal em solo construído é de fundamental importância para que a mesofauna (ácaros e colêmbolos) volte a interagir no ambiente solo-planta-organismos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADE, M. V. B. **Caracterização dos Sistemas deposicionais e das camadas de carvão no pacote sedimentar da malha IV, jazida de Candiota-RS.**1993. 121f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Faculdade de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993

ALVES, M.V.; ALBERTON, J.V.; BARETTA, D.;GOIS, D.T.; SANTOS, J.C. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:589-598, 2008

ALVES, M.V.; BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; WILDNER, L. do P.;FIGUEIREDO, S.R.; MALUCHE, C.R.D.; BARZOTTO, I. **Estudo da fauna edáfica em diferentes sistemas de manejo do solo utilizando duas metodologias distintas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto, SP. *Anais...* Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, 2003. CD-ROM.

ALVES, M.C.; SUZUKI. L.G.A.S.; SUZUKI,L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo, Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:617-625, 2007.

AQUINO, A. M.de. Fauna do solo e sua inserção na regulação funcional dos agroecossistemas.. In: Adriana Maria de Aquino; Renato Linhares de Assis. (Org.). **Conhecimentos e Técnicas Avançadas para o Estudo dos Processos da Biota do Sistema Solo-Planta.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006, p. 47-75

AQUINO, A.M., SILVA, R.F., MERCANTE F.M., CORREIA, M.E.F., GUIMARÃES, M.F.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, 44: 191–197, 2008

ARAUJO, K. D.; PARENTE, H. N.; CORREIA, K. G.; RODRIGUES, M. Q.; DANTAS, R. T.;ANDRADE, A. P. DE; SOUTO, J. S. Influência da precipitação pluvial sobre a mesofauna Invertebrada do solo em área de caatinga no Semiárido da Paraíba. **Revista eletrônica do Curso de Geografia**, Campus Jataí, UFG. 12:1-12, 2009.

BACHELIER, G. La vie animale dans les sols. Paris: Orstom, 1963. 279p.

BACHELIER, G. 'La faune des sols, son écologie et son action', Initiations at Documents Techniques, no 38, ORSTOM, Paris, 1978, 391p.

BARBOZA, F da S. **Parâmetros físico-hídricos de um solo construído submetido a eventos de tráfego de máquinas em área de mineração de carvão.** 2016. 95f. Tese (Doutorado em manejo e conservação do solo e da água). Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., SEGAT, J. C., GEREMIA, E. V., OLIVEIRA FILHO, L. C. I., ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 7, 119-170. 2011.

BARETTA, D.; MAFRA, A.L.; SANTOS, J.C.P.; AMARANTE, C.V.T.; BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** 41:1675-1679, 2006.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MAFRA, A.L.; WILDNER, L.P.; MIQUELUTI, D.J. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias,**2:97-106, 2003.

BARROS, J.Y.; MELO, V.de F.; SAUTTER, K.D.; BUSCHLE, E.; OLIVEIRA, E.B. de; AZEVEDO, C.R. de; SOUZA, L.C. de P.; KUMMER, L. Indicadores da qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. II - Mesofauna e plantas. **Revista Brasileira de Ciência do solo,** 34:1413-1426, 2010

BEARE, M.H.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY JR., D.A.; HENDRIX, P.F.; ODUM, E.P. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. **Plant and Soil,** 170: 5-22, 1995.

BIGNELL, D.E. Termites as soil engineers and soil processors. In: KONIG, H. & VARMA, A., (eds). **Soil biology. Intestinal microorganisms of soil invertebrates.** (6.ed) Berlin, Springer-Verlag p.183-220, 2006.

BITENCOURT, D.G.B. **Dinâmica de acidificação e metais no solo e subsolo de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota-RS.** 2014. 125f. Tese (Doutorado em Solos), Programa de Pós Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

BITENCOURT, D.G.B.; PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A.; SILVA, M.T.; GARCIA, G.F. Geração de drenagem ácida e de contaminação por metais pesados em perfis de solos construídos em área de mineração de carvão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1-14,2015.

BONUMÁ, A.S. **Acidez e calagem em solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota/RS** 2006. 76f. . Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

BORŮVKA, L.; KOZÁK, J.; MÜHLHANSELOVÁ, M.; DONÁTOVÁ, H.; NIKODEM, A.; NĚMEČEK, K. Effect of covering with natural topsoil as a reclamation measure on brown-coal mining dumpsites. **Journal of Geochemical Exploration**,113:118–123, 2012.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** (3 ed. Bookmann Editora LTDA, Porto Alegre,2013. 685p.

BROWN, G.G., RÖMBKE, J., HÖFER, H., VERHAAGH, M., SAUTTER, K.D. & SANTANA, L.Q. Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In: GAMA-RODRIGUES, A.C., BARROS, N.F., GAMA-RODRIGUES, E.F.; FREITAS, M.S.M., VIANA, A.P., JASMIN, J.M., MARCIANO, C.R., CARNEIRO, J.G.A.(Eds.) **Sistema Agroflorestais: Bases científicas para o desenvolvimento sustentável.** Campos dos Goytacazes, RJ - Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF.2006p. 217 - 242.

BROWN, G.G.; BENITO, N.P.; PASINI, A.; SAUTTER, K.D.; GUIMARÃES, M.F.; TORRES" E. No-tillage greatly increase earthworm populations in Paraná state, Brazil. **Pedobiologia**, 47:764-771,2003.

CALONEGO, J.C., GOMES, T.C., SANTOS, C.H.; TIRITAN, C.S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience. Journal**, v.27, p.289-296, 2011.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI. L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1997, 132p

CASTRO, R.C. **Avaliação temporal de atributos físicos de um solo construído em área de mineração de carvão recuperado com gramíneas perenes**. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Roadmap*tecnológico para produção, uso limpo e eficiente do carvão mineral nacional: 2012 a 2035. 2013. Disponível em: www.cgee.org.br/atividades/redirect/7877 Acesso em 28 de fev. 2015

CONAMA–Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº. 20**. Brasília, 1986

CORRÊA, R.S.; BENTO, M.A.B. Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no Distrito Federal.**Revista Brasileira de Ciência do solo**, 34:1435-1443, 2010.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. de. **Fauna de Solo: Aspectos Gerais e Metodológicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, (Embrapa Documento,112). 46p, 2000.

CORRÊA NETO, T.A.; PEREIRA, M.A.; JORDAN, C.F.; ANJOS, J.C. Deposição de serapilheira e fauna edáfica em áreas de Eucalipto e Floresta Secundária. **Floresta e Ambiente**,.8:70-75, 2001

CPRM - **Serviço Geológico do Brasil**.2014 Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=59> Acesso em 28 de fev.2015

CRM-COMPANHIA RIOGRANDENSE DE MINERAÇÃO- Mina de carvão de Candiota RS.Disponível em:<<http://www.crm.rs.gov.br/conteudo/858/Mina> de Candiota#.U9Y4RWOQBTs 2014.Acesso em 13 de fev.2016.

DANIELS, W.L.; ZIPPER, C.E. Creation and Management of Productive Mine Soils. Powell River Project Reclamation Guide lines for Surface-Mined Land in Southwest Virginia.2010Disponível em <http://www.ext.vt.edu/pubs/mines/460-121/460-121.html>.Acesso em 06 de jan. 2015.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Carvão Mineral 2013. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/carvao-mineralsumario-mineral-2014/view> Acesso em 28 de fev. 2015

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining soil quality. In. DORAN, J. W; COLEMAN,D. C; BEZDIECK, D. F.; STEWART, B. A. eds. **Defining soli quality for sustainable environment**. Madison, .SSSA, (SSSA Special Publication, 35)., p 3-21, 1994.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: Managing the component of soil quality. **Applied Soil Ecology**. 15:3-11, 2000.

ENGEL,V.L; PARROTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: Tendências e perspectivas mundiais. In: **Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais – FEPAF**. Botucatu-RP. p:1-26,2003

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS. 2011. 230p.

FERNANDES, M.M.; MAGALHÃES, L.M.S.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F.; BRITO, R.J.; MOURA, M.R. Influência de diferentes coberturas florestais na fauna do solo na Flona Mario Xavier, Município de Seropédica, RJ. **Floresta**, 41:533-540, 2011.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. IN van Lier,; Q de J.(ed) **Física do Solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 2010. p.1-27.

FRANCO, A.M.P. **Caracterização física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS**. Pelotas-RS 2006. 124f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

FREITAS, A. C. S; BARRETO, L. V. Qualidade biológica do solo em ecossistemas de mata nativa e monocultura do café. Instituto Construir e Conhecer; Goiânia; **Enciclopédia Biosfera** N.05. 2008.

GALLO, D.NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C.de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J. **Manual de Entomologia Agrícola**, São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 1988, 649p.

GOMES, A.P.; FERREIRA, J.A.F.; ALBUQUERQUE, L.F.; SÜFFERT, T. Carvão Fóssil. **Estudos Avançados**, 33:89-106, 1998

GONÇALVES, F.C. **Efeito de plantas de cobertura sobre os atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS após três anos**. Pelotas-RS 2008. 92f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008

GREGORY, P. **Plant Roots: Grow, activity and interaction with soils**. Ed. Blackwell Publishing Ltd. Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK. 2006. 340 p

GUADAGNIN, C.A. **Infiltração de água ao longo de transeções em solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota – RS** 2002 62p. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.

HOFFMANN, R.B.; NASCIMENTO, M.S.V.; DINIZ, A.A.; ARAÚJO, L.H.A.; SOUTO, J.S. Diversidade da mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em Areia, Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, 22:122-125, 2009.

HOLANDA NETO, M. **Atributos microbiológicos de um solo construído vegetado com gramíneas após mineração de carvão em Candiota/RS**. 2011. 98f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

HOLMSTRUP, M.; SORENSEN, J.G.; MARALDO, K.; SCHMITT, I.K.; MASSON, S.; TIETEMAD, A.; SMITH, A.R.; EMMETT, B.; SCHMELZ, R.M.; BATAILLON, T.; BEIER, C.; EHLERS, B.K. Increased frequency of drought reduces species richness of enchytraeid communities in both wet and dry heathland soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 53: 43-49, 2012

HUBER, A.C.K.; MORSELLI, T.B.G.A. Estudo da mesofauna (ácaros e colêmbolos) no processo de vermicompostagem. **Revista da FZVA**, 18:12-20, 2011

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Brasília. 96f. 1990.

JIMENEZ, R.L.; GONÇALVES, W.G.; ARAUJO FILHO, J.V.de; ASSIS, R.L. de; SILVA, G.P.; PIRES, F.R.. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, p. 116-121, 2008.,

JOSA, R.; JORBA, M. & VALLEJO, V.R. Opencast minerestoration in a Mediterranean semiarid environment: Failure of some common practices. **Ecological Engineering**, 42:183-191, 2012.

JOSÉ, J. B. S.; RIEFF, G. G.; SÁ, E. L. S. Mesofauna edáfica e atividade microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo na cultura do tabaco. **Current agricultural Science and Technology**, 19: 56–66, 2013.

KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. Propriedades, pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na bacia carbonífera do Baixo Jacuí (RS). **Revista Brasileira de Ciência do solo**.21:79-88, 1997.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed) **Methods of soil analysis** 2. ed., Madison, Wisconsin: USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986, p 425-441.

KOPEZINSKI, I. **Mineração X Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e Seus Processos Modificadores**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Ed. da Universidade. Porto Alegre, 2000.

KROLOW, I. R. C. **Efeito de fertilizantes mineral, organo-mineral e orgânico sobre a macrofauna e mesofauna do solo**. 2011, 162f. Tese (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.,

KRÜMMELBEIN, J.; RAAB, T. Development of soil physical parameters in agricultural reclamation after brown coal mining within the first four years. **Soil and Tillage Research**, 125: 109-115, 2012

LEAL, O.A. **Frações e qualidade da matéria orgânica de um solo construído vegetado com gramíneas após a mineração de carvão**. 2011 113f. Dissertação (Mestrado em Solos).. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

LEITZKE, V. W. **Armazenagem e disponibilidade de água de solos construídos na área de mineração de Candiota-RS** 2002 129p. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.

LAVELLE, P., BLANCHART, E., MARTIN, A., MARTIN, S., BAROIS, I., TOUTAIN, F., SPAIN, A., SCHAEFER, R. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems.application to soils in the humid tropics. **Biotropica**. 25: 130-150, 1993.

LAVELLE, P.; BIFNELLI, D.; LEPAGE,M.;WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON,P.; HEAL, O.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, 33: 159-193, 1997.

LIMA, S. S. DE; AQUINO, A. M. DE ; LEITE, L. F. C; SILVA, P. H. S. DA; CASTRO, A. A. J.F.; OLIVEIRA, F. DAS C. Diversidade da macrofauna edáfica emagro florestas de diferentes estádios sucessionais. **Revista Brasileira de Agroecologia**. 2:1029-1033, 2007.

LIMA, R.P.; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em área de produção de cana de açúcar. **Revista Ceres**, 60:16-20, 2013.

MAHARANA, J.K.; PATEL, A.K.. Characterization of physico-chemical properties and their impact on enzyme activities in a chronosequence coal mine overburden spoil as biomarker for reclamation process. **Bacteriology and Parasitology**,. 4:174-183, 2013.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e depastagem no sul de minas gerais. **Revista Brasileira de Ciência do.Solo**,32:2461-247,2008.

MELO, F.V. de; BROWN, G.G.; CONSTANTINO, G.; LOUZADA, J.N.C.; LUIZÃO, F.J.; MORAIS J.W. de; ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como biondicadores. **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 38-43, 2009.

MENDES FILHO, P. F. **Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano**. 2004. 89f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MIOLA, E.C.C. **Qualidade física de um solo construído e cultivado com diferentes plantas de cobertura na área de mineração de Candiota – RS**, 2010. 107f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós- Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

MIRANDA, E.D.; PINEROS, F.S.;MEGÍAS, A.G. Soil macro invertebrate fauna of a Mediterranean arid system: composition and temporal changes in the assemblage. **Soil Biology and Biochemistry**, 39:1916-1925, 2007.

MOÇO, M. K. S. **Fauna do solo em diferentes agrossistemas de cacau no sul da Bahia.**, 2006 (Dissertação de Mestrado).Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro –UENF . 2006

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F; GAMA-RODRIGUES, A.C. da; CORREIA, M.E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturasvegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do solo**.29:555- 564, 2005.

MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E.J.; BIGNEL, D.E.(Ed).**Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras, Editora UFLA, 2010, 367p.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. Lavras. Editora UFLA, 2ª. ed. 2006. 626p.

MORSELLI, T.B.G.A. **Biologia do Solo**. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL/PREC, 2009.

MORSELLI, T.B.G.A. Biologia do solo. Polígrafo. Universidade Federal de Pelotas, PPGSPAF, FAEM, UFPel, 2016, 116p.

MUKHOPADHYAY, S.; MAITI, S.K.;MASTRO, R.E. Use of Reclaimed Mine Soil Index (RMSI) for screening of tree species for reclamation of coal mine degraded land. **Ecological Engineering**, 57:133-142, 2013

NEGRETE-YANKELEVICH, S., FRAGOSO, C., NEWTON, A.C., HEAL, O.W. Successional changes in soil, litter and macro invertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. **Applied Soil Ecology**, 35: 340–355, 2007.

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

NÓBREGA, R. S. A.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; LIMA, A. S. Caracterização fenotípica e diversidade de bactérias diazotróficas associativas isoladas de solos em reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 28:269-279, 2004.

NUNES, M.C.D. **Condições físicas de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota-RS**. 2002. 130f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988, 434 p.

OLIVEIRA, E. M. de. Mesofauna edáfica como indicadora de áreas degradadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 6: 01-09, 2011.

OYEDELE, D. J., ASONUGHO, C., AWOTOYE, O. O. Heavy metals in soil and accumulated by edible vegetables after phosphate fertilizer application **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, 5:1446-1453, 2006.

PALMEIRA, P. R. T., PAULETTO, E. A., TEIXEIRA C. F. A.; GOMES A. S.; SILVA J. B.; Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:189-195, 1999.

PAOLETTI, M.G.; BRESSAN, M. Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance. **Critical Reviews in Plant Science**, 15:21-62, 1996.

PAULI,N.;BARRIOS,E.;CONACHER, A.J.; OBERTHUR, T. Soil macrofauna in agricultural landscapes dominated by the quesungual slash-and-mulch agroforestry system wester Honduras, **Applied Soil Ecology**, 47:119-132, 2011.

PELEGRINNI, A.**Sistemas de cultivo da cultura do fumo com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo**. 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 45:508-514, 2010.

PERKONS,U.; KAUTZ, T.; UTEAU, D.; PETH, S.; GEIER, V.;THOMAS, K.; HOLTZ, K. I.; ATHMANN, M.; PUDE, R.; KÖPKE,U. Root-length denistys of various annual crops following crops with contrasting roots systems. **Soil and Tillage Research**, 137:50-57, 2014.

PINTO, L.F.S. **Potencial de acidificação e de neutralização do carvão, cinzas e materiais geológicos da área de mineração de Candiota-RS**. Relatório da FAPERGS, Universidade Federal de Pelotas, 31f, 1999.

PINTO, L.F.S.; KÄMPF, N. Contaminação dos solos construídos. In: TEIXEIRA, E.C. & PIRES, M.J.R. **Meio ambiente e carvão. Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre, FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSM/FEPAN, 2002. p.69-92.

PINTO, L.F.S; FERNANDES, F.F.; PAULETTO, E P. Recuperação de solos degradados pela mineração: Da teoria termodinâmica à prática nas áreas regeneradas da mina de Candiota,RS. In: ALBA, J.M.F.(Ed.). **Recuperação de áreas mineradas**. Brasília, DF: Embrapa Clima temperado, 2010. p.238-255.

PIRES, A.; HOLTZ, A. **Setor elétrico ante a demanda crescente**.2016. Disponível em: <http://economia.estado.com.br/noticias/geral>, setor-elétrico-ante-a-demanda-crescente-imp,829857. Acesso em jan.2016

PORTILLO, I.I.R.; BORGES,C.D.; CREPALDI, R.A.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C.; SILVA, R.F. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46:1310-13-20, 2011.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo**. São Paulo: Nobel,2002, p139 -163.

QUIÑONES, O.R.G. **Caracterização e gênese de solos construídos após mineração de carvão na mina boa vista, município de Minas do Leão-RS**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS- 2004

REIS, D. A. **Resistência tênsil de agregados, friabilidade e compressibilidade de um solo construído sob plantas de cobertura na área de mineração de carvão de Candiota-RS**. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado em Solos), Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas,2012.

REIS, D. A., DE LIMA, C. L. R., & PAULETTO, E. A. Resistência tênsil de agregados e compressibilidade de um solo construído com plantas de cobertura em área de mineração de carvão em Candiota, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:669-678, 2014

RIEFF,G. G.; MACHADO, R.G.; STROSCHEIN, M.R.D.; SÁ, E.L.S. Diversidade de famílias de ácaros e colêmbolos em cultivo de eucalipto e áreas nativas. **Revista Brasileira Agrociência**, 16:57-61, 2010

RIGOTTI, N. **Recuperação de áreas degradadas: estudo de caso**. Porto Alegre, FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/FEPAM, p. 99-113, 2002.

ROHRING, R.; LANGMAACK, M.; LARINK, O.; SCHRADER, S. Tilla systems and soil compaction – their impact on abundance and vertical distribution of Enchytraeidae. **Soil and Tillage Research**, 46:117-127, 1998.

ROVEDDER, A. P. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; SPAGNOLLO, E.; VENTURINI, S. F. Faunaedáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do Rio Grandedo Sul. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 3:87-96, 2004.

ROVEDER, A.P.M.; ELTZ, F.L.F.; DRESCHER, M.S.; SCHENATO, R.B.; ANTONIOLLI, Z.I. Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa **Ciência Rural**.39:1051-1058, 2009.

ROVEDDER, A. P. M.; VENTURINI, S.; SPAGNOLLO, E.; ANTONIOLLI, Z. I. Colêmbolos como indicadores biológicos em solos areníticos da região Sudeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**: 31: 95-99, 2001

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**, 32:11-21, 2008.

SANTOS, D. dos. **Alterações químicas e biológicas em solo de área de mineração de carvão submetido a diferentes cultivos**. 2006,96f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

SANTOS, C.A.A.; COELHO, A. F. S.; CARREIRO, S. C. Avaliação microbiológica de polpas de frutas congeladas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 4:913-915, 2008.

SAUTTER, K.D.;MOTTA NETO, J.A.; MORAES, A.; SANTOS,a.r.; RIBEIRO, P.J. População de Oribatei e Collembola em pastagens na recuperação de solos degradados pela mineração de xisto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33; 201-205, 1998.

SCHEU, S. Effects of earthworms on plant growth: Patterns and perspectives. **Pedobiologia** 47:846-856, 2003.

SGANZERLA, D.C.; PEDÓ, T.; GUIDOTTI, R.M.M.; KOHN, R.Ç.; MORSELLI, T. B. G. A.; SCHIAVON, G. Avaliação da mesofauna (*Acari e Collembola*) em Sistema orgânico na Ilha dos Marinheiros- Rio Grande/RS. **Revista Congrega URCAMP**,4:1-9, 2010.

SHEORAN, V.; SHEORAN, A.S. & POONIA, P. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. **International Journal of Soil, Sediment and Water**, .3:.2-13, 2010.

SHRESTHA, R.K.; LAL, R. Changes in physical and chemical properties of soil after surfacemining and reclamation. **Geoderma**,161:168–176, 2011.

SIDDIKY, M.A., P.K. SARDAR, M.M. HOSSAIN, M.S. KHAN AND M. KHABIR, Screening of different tomato varieties in saline areas of Bangladesh. **International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology**, 2:13-18, 2012.

SIGMAPLOT. 2004. For Windows, version 9.01. Systat Software

SILVA, D.J.S. da. **Indicadores de qualidade do solo na região da campanha do Rio Grande do Sul, sob sistemas de pastoreio Contínuo e Voisin**. 2015 117f. Tese (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

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**, 20:113-117. 1997

SILVA, M. T. **Potencial de acidificação e contaminação por metais em solos construídos na área de mineração de carvão em Candiota-RS**. 2012. 58f. Dissertação (Mestrado em Solos) Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

SILVA, C.F.; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M.G.; SILVA, A.N. Fauna edáfica em área periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:587-595, 2013.

SILVA, M. T. OLIVEIRA, R. J. ; KUNDE, R. J.; BERNARDO, J. T.; PAULA, B. V.; MORSELLI, T. B. G. A.; PRACHETES, K.;CASALINHO, M. de O. Ácaros e Colêmbolos avaliados pelo método do Funil de Tüllgren. **Resumos do VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia** – Porto Alegre/RS 2013a.

SILVA, P. M.; CARVALHO, F.; DIRILGEN, T.; STONE, D.; CREAMER, R.; BOLGER, T.; SOUZA, J. P. Traits of collembolan life-form indicate land use types and soil properties across an European transect. **Applied Soil Ecology**. 97: 69-77, 2015.

SILVEIRA, A. O.; PLATTE, E. B.;ROESCH, L. F. W.;AGOSTINI, R; SÁ, E. L. S. de; CASALINHO, H.; CAMARGO, F. A. O.. Processos biológicos como indicadores de qualidade ambiental. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**.34:15-16,2009.

SING, J.; PILLAI, K.S. A study of soil microarthropod communities in same fields. **Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol**, 12:579-590, 1975.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole Editora Ltda, v. 1, p. 495-524, 2008

SOARES, M.I.J.; COSTA, E.C. Fauna do solo em áreas com *Eucalyptus spp* e *Pinus elliottii*, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal.**, 11:29-43, 2001.

SOUTO, P.C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil**.2006.150f. Tese (Doutorado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2006

SOUTO, P.C.; SOUTO, J. S.; MIRANDA, J. R. P. DE; SANTOS, R. V. DOS; ALLYSON ROCHA ALVES, A. R. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solos sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, 32: 151-160, 2008.

SOUZA, R.C.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; PAULA, R.R. & MENEZES, L.F.T. Estrutura da comunidade da fauna edáfica em fragmentos florestais na Restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 3:49-57, 2008.

STUMPF, L. **Atributos físicos e mecânicos de um solo construído em área de mineração de carvão em Candiota-RS, cultivado com diferentes espécies vegetais**. 2011,124f.Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas,2011.

STUMPF, L **Desenvolvimento radicular de gramíneas perenes e sua eficiência na recuperação de atributos físicos de um solo construído compactado em área de mineração de carvão** 2015,122f.Tese (Doutorado em Solos) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; CASTRO, R. C.; PINTO, L.F. S.I; FERNANDES, F. F.; BARBOZA, F. S.;FRANCO, A. M. P.; GONCALVES, F. C. Estrutura de um solo construído cultivado com diferentes espécies de poáceas. **Ciência Rural**, 44: 2171-2177, 2014.

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. Soil aggregation and root growth of perennial grasses in a constructed clay minesoil. **Soil and Tillage Research**,161:71-78,2016.

STUMPF, L., PAULETTO, E.A., PINTO, L.F.S.; FERNANDES, F. F., SUZUKI,L.E.A.S., LIMA, C.L.R.; TIMM, L.C.; SILVA, T.S.HAERING. K.C. Mean weigthdiameter and distribution os aggregates of constructed soil in a coal mining area insouthern Brazil, cultivated with differente gramineae species.In: KRUMMELBEIN, J.HORN, R.; PAGLIAI, M. (Eds) **Soil Degradation. Advances in Geocology**, n.42.Catena Verlag GMBH, 35447 Reiskirchen, Germany. 2013. p. 89-103.

STUMPF, L., PAULETTO, E.A., FERNANDES, F. F., SUZUKI, L.E.A.S., SILVA, T.S.;PINTO, L.F.S.; LIMA, C.L.R. Perennial grasses for recovery of the aggregation

capacity of a reconstructed soil in a coal mining area in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 38:327-335, 2014 a.

SYDOW, V. G.; PODGAISKI, L. R.; BARBOSA, A. F.; PINTO, J. A. M.; RODRIGUES, G. G. Aspectos estruturais da fauna de solo em áreas sob influência do processamento do carvão mineral no sul do Brasil. **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil**, Caxambu – MG.2007.

TISDALL. J.M.; OADES. J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **European Journal Soil Science**, 33:141-163, 1982.

TIWARY R.K. Environmental Impact of coal mining on water regime and its management. **Water Air and Soil Pollution**, 132:185-199, 2001.

VALADÃO, M.L. **Atributos químicos e microbiológicos simbiotes na revegetação de solos degradados por mineração de carvão em Candiota-RS**.2013, 85f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas,2013.

VELLAR, R. M. De L. **Tráfego de máquinas e parâmetros físicos de um solo construído na área de mineração de carvão em Candiota-RS**. 2012, 63f., Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

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

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.R. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1713-1722, 2008.

WICK, A.F.; INGRAM, L.J.; STAHL, P.D. Aggregate and organic matter dynamics in reclaimed soils as indicated by stable carbon isotopes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.201-209, 2009.

WICK, A. F; DANIELS, W.L. Physical protection of organic matter in reclaimed coal mine soils of SW Virginia. p. 1564-1582. In: Barnhisel (ed) Proc. **Of National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation**, Bridging Reclamation, Billings, MT, ASMR, Lexington, KY, 2009.

YANG, X.; CHEN, J. Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China. **Soil Biology and Biochemistry**, 41:910-918, 2009.

ZAGATTO, M.R.G. **Fauna edáfica em sistemas de uso do solo no município de Ponta Grossa-PR**. 2014, 68 f. Dissertação (mestrado em Ciências do solo- Solo e Ambiente), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ZATORRE, N.P. Atributos biológicos do solo como indicadores de qualidade do solo **Gaia Scientia**, 2:9–13, 2008.

ZHAO, Z.; SHAHROUR, I.; BAI, Z.; FAN, W.; FENG, L.; LI, H. Soils development in opencast coal mine spoils reclaimed for 1-13 years in the West-Northern Loess Plateau of China. **European Journal of Soil Biology**, 55:40-46, 2013.

ZHANG, L.; JINMANWANG, W.; BAI, Z.; CHUNJUAN, LV. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. **Catena**, 128:44-53, 2015.