

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Eficiência da recuperação ambiental de áreas
antropizadas pela mineração de ferro do
Complexo Carajás – PA**

Fernando Soares Gonçalves

2012



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

EFICIÊNCIA DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS ANTROPIZADAS
PELA MINERAÇÃO DE FERRO DO COMPLEXO CARAJÁS – PA

FERNANDO SOARES GONÇALVES

Sob a orientação do Professor

Dr. Sergio Miana de Faria

e Co-orientação da Professora

Dr^a. Maria Elizabeth Fernandes Correia

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ

Maior de 2012

631.64

G635e

T

Gonçalves, Fernando Soares, 1985-

Eficiência da recuperação ambiental de áreas antropizadas pela mineração de ferro do Complexo Carajás - PA / Fernando Soares Gonçalves - 2012.

87 f. : il.

Orientador: Sergio Miana de Faria.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

Inclui bibliografia.

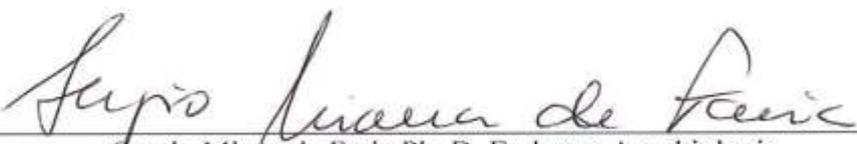
1. Revegetação - Carajás, Serra dos (PA) - Teses. 2. Minas e mineração - Aspectos ambientais - Carajás, Serra dos (PA) - Teses. 3. Recuperação da terra - Carajás, Serra dos (PA) - Teses. I. Faria, Sergio Miana de, 1958-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

FERNANDO SOARES GONÇALVES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/05/2012


Sergio Miana de Faria Ph. D. Embrapa Agrobiologia
(Orientador)


Luiz Fernando Duarte de Moraes Ph. D. Embrapa Agrobiologia


Luís Mauro Sampaio Magalhães D. Sc. UFRRJ

Agradecimentos

Ao programa de pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, seus funcionários e corpo docente, pela ajuda e ensinamentos transmitidos.

À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida durante o curso.

À Embrapa Agrobiologia pelo suporte no desenvolvimento da pesquisa.

À VALE pelo financiamento e oportunidade de desenvolver o projeto de pesquisa num dos lugares mais interessantes e dinâmicos que já conheci, apostando nos resultados para melhoria dos processos de recuperação ambiental.

Ao orientador e pesquisador Sergio Miana de Faria pela oportunidade de crescimento, desenvolvimento profissional e acadêmico. Hoje percebo que alguns ensinamentos repassados não foram compreendidos à princípio, mas agora sei que foram fundamentais para minha maturidade.

A minha co-orientadora e pesquisadora Maria Elizabeth Fernandes Correia que sempre me ajudou “muito” no desenvolvimento do projeto e pelas palavras de apoio e ensinamentos.

Aos amigos e colaboradores da equipe técnica da VALE; Jenaldo Carvalho, Tarcisio Rodrigues, Alexandre F. Castilho, Paulo Bueno da Rocha, João Carlos Henriques e Delmo da Fonseca Silva que sempre forneceram subsídios e auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos da Universidade Federal de Viçosa, Luiz Eduardo Dias, Igor Rodrigues de Assis, Genelício Rocha e Lina Lobo que sempre estiveram presentes nas subidas e tombos nos taludes e sempre fornecendo auxílio nas análises dos solos.

Aos amigos da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Maria Quintela e Anderson Bonilha pela ajuda nas coletas dos dados e pelo companheirismo.

Ao amigo do Instituto de Pesquisa do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Haroldo E. Lima pelo apoio e ajuda.

Aos técnicos de campo da VALE, Chiquinho, Barack Obama e Souza pelas boas risadas e pelo apoio nas expedições de campo.

Ao amigo Francy Lisboa pela ajuda na coleta e análise estatística dos dados.

Ao amigos do Laboratório de leguminosas da Embrapa Agrobiologia que sempre estiveram presentes na caminhada acadêmica e da vida, sempre ajudando no que fosse possível.

Aos amigos do Laboratório de fauna do solo da Embrapa Agrobiologia pela ajuda no desenvolvimento do projeto.

À minha esposa e amiga Kelly pelo companheirismo, dedicação, atenção, apoio e por ser tão importante na minha vida, sempre me ajudando.

Aos meus pais Vicente e Maria, que sempre me apoiaram, ensinando a batalhar pelos objetivos, apontando o melhor caminho a seguir.

Aos meus irmãos Leandro e Liliane que na maioria das vezes estavam ausentes pela distância, porem sempre estiveram presentes no meu coração e pensamentos.

A minha sogra “Selma” e sogro “Hélio” pelo companheirismo e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus cunhados Eduardo e Bruno pelo apoio e torcida.

Aos amigos da UFRRJ que sempre torceram pela minha vitória e mesmo alguns não estando presentes sempre mandando mensagens de conforto.

À Deus por trilhar meus caminhos auxiliando nas conquistas dos meus objetivos.

RESUMO

GONÇALVES, Fernando Soares Gonçalves. **Eficiência da recuperação ambiental de áreas antropizadas pela mineração de ferro do Complexo Carajás – PA.** 2012. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

As atividades de mineração têm influencia direta sobre o desenvolvimento econômico, afetando diretamente o produto interno bruto (PIB), principalmente dos países em desenvolvimento. As interferências ambientais proporcionadas pelas atividades de mineração podem variar de intensidade de acordo com o mineral explorado, mas sempre são atividades pontuais. O presente estudo foi realizado na província mineral de Carajás-PA, em áreas revegetadas pós mineração de minério de ferro, tendo como objetivo avaliar a formação vegetal oriunda dos processos de revegetação de taludes de estéril, partindo da primeira hipótese firmada que a revegetação dos taludes de estéril em área de mineração de ferro utilizando coquetéis de sementes de espécies pertencentes a savana metalófila e floresta ombrófila podem agir como facilitadores da sucessão natural e como condicionadores do substrato. A segunda hipótese firmada é que a retirada, armazenamento e retorno do horizonte orgânico superficial do solo (“topsoil”) após a exploração por minerações a céu aberto têm fundamental papel no processo de revegetação, por já apresentar características quantitativas e qualitativas que refletem as comunidades anteriormente existentes na área. Neste trabalho foram demarcadas quatro áreas de estudo, sendo três áreas em processo de revegetação e uma área com presença de mata primária. As variáveis analisadas foram fitossociologia, radiação fotossinteticamente ativa, qualidade química do estoque de serrapilheira, fauna do solo e fertilidade do solo. Os resultados obtidos apontam que os processos de revegetação utilizados, promoveram a formação de uma comunidade vegetal que viabilize o processo sucessional ao longo do tempo, pois muitas das espécies utilizadas no coquetel de sementes das áreas CCI e Oficina estão sendo substituídas por espécies mais adaptadas às condições de cada sítio. Na área denominada Hoppe, as espécies herbáceas que colonizaram a área estão sendo substituídas por espécies arbustivas e arbóreas. A qualidade da serrapilheira forneceu subsídios capazes de agrupar as áreas de estudos em função dos nutrientes presentes na serrapilheira, sendo as áreas CCI e Oficina agrupadas em função das concentrações de lignina, celulose, P e Mg, enquanto que as áreas Hoppe e Mata ficaram agrupadas em função do Ca e N presente nas frações galhos e folhas da serrapilheira. Já a utilização da fauna do solo indicou que os grupos Collembola e Formicidae serão de extrema importância para o acompanhamento da qualidade dos sítios ao longo do tempo. A partir destes resultados foi possível concluir que a utilização de indicadores bióticos e abióticos em estudos de recuperação de áreas mineradas devem ser amplamente estudados e documentados, pois oferecem atributos capazes de compreender a evolução nos processos de recuperação.

Palavras-chave: fitossociologia, revegetação, talude, *top soil*

ABSTRACT

GONÇALVES, Fernando Soares. **Efficiency of environmental rehabilitation of areas disturbed by mining iron Complex Carajás - PA.** 2012. 75p. Dissertation (Master of Science in Environmental Sciences and Forest). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Mining activities have a direct influence on economic development, which directly affects the gross domestic product (GDP), mainly in developing countries. The environmental interference provided by the mining activities can vary in intensity according to the mineral exploited, but they are always punctual activities. This study was conducted in the mineral province of Carajás, PA, in areas revegetated post mining iron ore, and to evaluate the processes of vegetation arising from revegetation of barren slopes, starting from the initial hypothesis that signed the revegetation of slopes of waste in the mining of iron using cocktails of seed species in the rainforest and savanna Metalófila can act as facilitators of natural succession and conditioners as the substrate. The second hypothesis is that signed the removal, storage and return of surface soil organic horizon ("topsoil") after the operation by open pit mines have an essential role in the revegetation process, because they already provide quantitative and qualitative characteristics that reflect the communities previously existing in the area. In this work were highlighted four areas of study, three areas undergoing revegetation and an area with the presence of primary forest. The variables analyzed were phytosociology, photosynthetically active radiation, chemical quality of the stock of litter, soil fauna and soil fertility. The results indicate that the revegetation processes used, promoted the formation of a plant community which facilitates the process of succession over time, as many of the species used in the cocktail of seeds of the CCI and workshop areas are being replaced by species more adapted to conditions of each site. In the area called Hoppe, the herbaceous species that colonized the area are being replaced by shrub and tree species. The quality of the provided information able to litter cluster areas of studies according to the nutrients present in the litter, the areas being divided into Workshop CCI and the concentrations of lignin, cellulose, P and Mg, while areas were grouped Hoppe and Mata as a function of P and N fractions present in the twigs and leaf litter. But the use of soil fauna indicated that the groups Collembola and Formicidae will be extremely important for monitoring the quality of sites over time. From these results it was concluded that the use of biotic and abiotic indicators in studies of recovery of mined areas should be thoroughly studied and documented, they offer attributes able to understand developments in the recovery process.

Keywords: phytosociology, revegetation, slope, *top soil*

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa de localização da Floresta Nacional de Carajás (Flona Carajás), disponibilizado no Plano de Manejo. | 3 |
| Figura 2. Mapa das formações florestais da Floresta Nacional de Carajás (Flona Carajás), disponibilizado no Plano de Manejo. | 4 |
| Figura 3. Demarcações em amarelo, representam as áreas de estudos (imagem disponibilizada pelo Google Earth). | 5 |
| Figura 4. Vista panorâmica da área de estudo denominada de CCI em fevereiro de 2011, cerca de seis anos após o início do processo de revegetação (Fonte: Gonçalves, F.S.). | 6 |
| Figura 5. Disposição dos micro-terraços sobre os taludes de aterro e início do processo de germinação das espécies comerciais e nativas (Fonte: Gonçalves, F.S.). | 6 |
| Figura 6. Vista panorâmica da área de estudo denominada de Oficina (Fevereiro de 2011) (Fonte: Gonçalves, F.S.). | 9 |
| Figura 7. Área de estudo antes do processo de revegetação, com a conformação topográfica finalizada (Fonte: VALE). | 9 |
| Figura 8. Vista panorâmica da área de estudo denominada de Hoppe (fevereiro de 2011) (Fonte: Gonçalves, F.S.). | 10 |
| Figura 9. <i>Top soil</i> (solo orgânico) extraído em área de floresta ombrófila, após processo de supressão de vegetação (Fonte: VALE). | 10 |
| Figura 10. Vista panorâmica da área de estudo denominada de Mata em fevereiro de 2011 (Fonte: Gonçalves, F.S.). | 10 |
| Figura 11. Quadrante utilizado para demarcar a área de coleta de serrapilheira. | 42 |
| Figura 12. Material triado em galhos, folhas, material reprodutivo e refugo (material particulado de difícil distinção). | 43 |
| Figura 13. Armadilhas instaladas, permanecendo por um período de 7 dias até o momento da retirada. | 44 |
| Figura 14. Estimativa do estoque de serrapilheira em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, das áreas revegetadas e área controle (Mata) para ano de 2010. Variáveis seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo Teste T Bonferroni a probabilidade a 5%. | 47 |
| Figura 15. Estimativa do estoque de serrapilheira em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ das áreas revegetadas e área controle (Mata) para ano de 2011. Variáveis seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo Teste T Bonferroni a probabilidade a 5%. | 47 |
| Figura 16. Valores em percentuais da composição química da fração galho presente na serrapilheira (lignina; celulose; cinzas), das áreas de estudos durante os períodos analisados. | 49 |
| Figura 17. Valores em percentuais da composição química da fração folha presente na serrapilheira (lignina; celulose; cinzas), das áreas de estudos durante os períodos analisados. | 50 |
| Figura 18. Análise multivariada dos componentes principais (PCA-Biplot), usando scores da análise química da fração galho e fração folha, como explicativas para as áreas de estudos. As variáveis iniciadas com a letra “G” representa a fração “Galho” e as variáveis iniciadas com a letra “F” representa a fração “Folha”. Dados coletados em fevereiro de 2010. As iniciais C representam a área CCI, as iniciais O representam a área Oficina, as iniciais T representam a área Hoppe e as iniciais M representam a área Mata. | 52 |
| Figura 19. Análise multivariada dos componentes principais (PCA-Biplot), usando scores da análise química da fração galho e fração folha, como explicativas para as áreas de estudos. As | |

variáveis iniciadas com a letra “G” representa a fração “Galho” e as variáveis iniciadas com a letra “F” representa a fração “Folha”. Dados coletados em fevereiro de 2011. As iniciais C representam a área CCI, as iniciais O representam a área Oficina, as iniciais T representam a área Hoppe e as iniciais M representam a área Mata. 53

Figura 20. Composição relativa dos dez grupos de fauna do solo mais abundantes ocorrentes nas áreas de estudos em fevereiro de 2010, Carajás-PA. 58

Figura 21. Riqueza dos dez grupos de fauna do solo mais abundantes ocorrentes nas áreas de estudos em fevereiro de 2011, Carajás-PA..... 59

Figura 22. Distancia Euclidiana entre áreas de estudos, utilizando a análise multivariada de Cluster, utilizando os dados de abundância, índice de Shannon, número de indivíduos/armadilha. dia, índice de Pielou e riqueza dos dez grupos mais abundantes da fauna do solo (período 2010)..... 61

Figura 23. Distancia Euclidiana entre áreas de estudos, utilizando a análise multivariada de Cluster, utilizando os dados de abundância, índice de Shannon, número de indivíduos/armadilha. dia, índice de Pielou e riqueza dos dez grupos mais abundantes da fauna do solo (período 2011)..... 62

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Listagem das espécies comerciais utilizadas no processo inicial de revegetação de taludes de estéril (Fonte: VALE)..... | 7 |
| Tabela 2. Listagem das espécies nativas utilizadas na revegetação de taludes, sendo a sua utilização dependente da disponibilidade na época da revegetação (Fonte: VALE). | 8 |
| Tabela 3. Florística e fitossociologia das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominada de CCI, em maio de 2010, Carajás-PA. | 19 |
| Tabela 4. Florística e fitossociologia das espécies arbustivas encontradas na área de estudo denominada de CCI, em maio de 2010, Carajás-PA. | 19 |
| Tabela 5. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominado de CCI, Carajás-PA..... | 20 |
| Tabela 6. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbustivas encontradas na área de estudo denominado de CCI, Carajás-PA..... | 20 |
| Tabela 7. Florística e fitossociologia das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominada de Oficina, em maio de 2010, Carajás-PA..... | 21 |
| Tabela 8. Florística e fitossociologia das espécies arbustivas encontradas área de estudo denominada de Oficina, em maio de 2010, Carajás-PA..... | 22 |
| Tabela 9. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominado de Oficina, Carajás-PA. | 23 |
| Tabela 10. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbustivas encontradas na área de estudo denominado de Oficina, Carajás-PA. | 23 |
| Tabela 11. Florística e fitossociologia das espécies arbóreas encontradas área de estudo denominada de Hoppe, em maio de 2010, Carajás-PA. | 24 |
| Tabela 12. Florística e fitossociologia das espécies arbustivas encontradas área de estudo denominada de Hoppe, em maio de 2010, Carajás-PA. | 25 |
| Tabela 13. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominado de Hoppe, Carajás-PA..... | 26 |
| Tabela 14. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbustivas encontradas na área de estudo denominado de Hoppe, Carajás-PA..... | 26 |
| Tabela 15. Florística e fitossociologia das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominada de Mata, em maio de 2010, Carajás-PA..... | 27 |
| Tabela 16. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominado de Mata, Carajás-PA. | 29 |
| Tabela 17. Valores de Similaridade de Jaccard (%) entre as áreas revegetadas, Carajás-PA. | 30 |
| Tabela 18. Percentual de radiação fotossinteticamente ativa (IRFA) interceptada pelo dossel nas áreas de estudos, em Carajás-PA..... | 31 |
| Tabela 19. Categorias de inibição e estimulação dos grupos da fauna de solo em resposta ao processo de intervenção, com base no índice V (modificado de WARDLE, 1995; CORREIA <i>et al.</i> , 2003)..... | 45 |
| Tabela 20. Composição estrutural (Lignina, Celulose e Cinzas) da fração galho presente na serrapilheira coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011, Carajás-PA. | 49 |
| Tabela 21. Composição estrutural (Lignina, Celulose e Cinzas) da fração folha presente na serrapilheira coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011, Carajás-PA. | 50 |
| Tabela 22. Composição química (Ca, K, Mg, N e P) da fração galho presente na serrapilheira coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro 2011, Carajás-PA. | 51 |

| | |
|--|----|
| Tabela 23. Composição química (Ca, K, Mg, N e P) da fração folha presente na serrapilheira coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro 2011..... | 51 |
| Tabela 24. Atributos químicos do substrato das áreas de estudo para as profundidades 0 a 2,5 cm em fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011 e 0 a 15 cm em fevereiro em 2011, Carajás-PA. | 55 |
| Tabela 25. Índices encontrados para fauna do solo coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011, nas áreas de estudos, Carajás-PA..... | 57 |
| Tabela 26. Abundância média, dos dez grupos de fauna mais representativos encontrados nas áreas de estudos (fevereiro/2010), Carajás-PA..... | 58 |
| Tabela 27. Abundância média, dos dez grupos de fauna mais representativos encontrados nas áreas de estudos (fevereiro/2011), Carajás-PA..... | 59 |
| Tabela 28. Classificação dos grupos da fauna nas categorias inibição extrema (IE), inibição moderada (IM), inibição leve (IL), sem alteração (SA), estimulação leve (EL), estimulação moderada (EM) e estimulação extrema (EE) de acordo com a faixa de variação do índice de mudança calculado em relação a Mata, para os anos de 2010 e 2011..... | 63 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1. Áreas de Estudos e as características principais dos processos de revegetação..... | 11 |
|---|----|

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| LISTA DE FIGURAS | vii |
| LISTA DE TABELAS | ix |
| LISTA DE QUADROS | x |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 2. CARACTERIZAÇÃO DOS SÍTIOS ESTUDADOS | 3 |
| 2.1 Localização das áreas de estudos..... | 3 |
| 2.1.1 Vegetação..... | 3 |
| 2.1.3 Solos..... | 4 |
| 2.2 Caracterização das áreas de estudos..... | 5 |
| 2.2.1 Primeira área de estudo (CCI)..... | 5 |
| 2.2.2 Segunda área de estudo (Oficina)..... | 8 |
| 2.2.3 Terceira área de estudo (hoppe)..... | 9 |
| 2.2.4 Quarta área de estudo (mata)..... | 10 |
| 2.2.5 Características principais das áreas de estudos..... | 11 |
| 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 11 |
| CAPÍTULO I | 13 |
| Caracterização da estrutura arbóreo-arbustiva em áreas revegetadas, pós mineração de ferro | 13 |
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 16 |
| 2.1 Caracterização da vegetação existentes nas áreas de estudos..... | 16 |
| 2.2 Similaridade florística..... | 17 |
| 2.3 Avaliação do fechamento do dossel..... | 18 |
| 2.4 Análises Estatísticas..... | 18 |
| 3. Resultados e Discussão..... | 18 |
| 3.1 Caracterização da vegetação..... | 18 |
| 3.1.1 Primeira área de estudo (CCI)..... | 18 |
| 3.1.2 Segunda área de estudo (Oficina)..... | 21 |
| 3.1.3 Terceira área de estudo (Hoppe)..... | 24 |
| 3.1.4 Quarta área de estudo (mata)..... | 27 |
| 3.2 Similaridade florística..... | 30 |
| 3.3 Avaliação do fechamento do dossel..... | 31 |
| 4. CONCLUSÃO | 32 |
| 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 33 |
| CAPÍTULO II | 39 |
| Qualidade da serrapilheira, fertilidade do solo e estrutura da fauna do solo como indicadores da qualidade de sítios revegetados pós-mineração de ferro | 39 |
| 1. INTRODUÇÃO | 41 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 42 |
| 2.1 Estoque e qualidade química da serrapilheira..... | 42 |
| 2.2 Fertilidade do solo..... | 43 |
| 2.3 Monitoramento da fauna edáfica..... | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.1 Índice de mudança da fauna do solo | 45 |
| 2.4 Análises Estatísticas | 45 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 46 |
| 3.1 Estoque e qualidade química da serrapilheira | 46 |
| 3.1.1 Estoque de serrapilheira | 46 |
| 3.1.2 Qualidade da serrapilheira | 48 |
| 3.2 Fertilidade do solo | 55 |
| 3.3 Monitoramento da fauna edáfica..... | 56 |
| 3.3.1 Índice de mudança da fauna do solo | 62 |
| 4. CONCLUSÃO | 64 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 65 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 66 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

A mineração ou exploração mineral é uma atividade indispensável para a sociedade moderna, dada a importância que os bens minerais e derivados assumiram na economia mundial que, de uma forma geral, vão desde as necessidades básicas como habitação, agricultura, transporte e saneamento às mais sofisticadas, como tecnologia de ponta nas áreas de comunicação e informática (RIBEIRO *et al.*, 2006).

No entanto, a utilização dos recursos naturais implica diretamente na manipulação de ambientes naturais da superfície terrestre. Estas provocam grandes modificações no meio, tendo um forte efeito perturbador na paisagem, pois promovem a remoção da vegetação, do solo e das rochas que estejam acima dos depósitos minerais (BELL, 1996; KUMSSA *et al.* 2004). Porém, apesar das perturbações causadas ao meio ambiente pelas atividades de mineração, a atividade representou em 2010, cerca de 17,5% das exportações brasileiras, com uma produção mineral em torno de 40 bilhões de dólares (IBRAM, 2010), sendo uma atividade pontual e bem localizada.

Segundo Oldeman (1994), citado por Dias & Griffith (1998), as atividades de mineração degradam o solo em menor intensidade em relação a outras atividades, como pecuária e agricultura, que abrangem grandes extensões territoriais, gerando grandes passivos ambientais (BACELLAR, 2000). Estes passivos ambientais são imperceptíveis no curto prazo, mas no médio e longo prazo podem causar sérios danos ambientais, pois aceleram os processos erosivos que podem atingir altos níveis, como as voçorocas, que desencadeiam, por sua vez, outros passivos ambientais (MACHADO, 2007).

Visando mitigar os impactos causados pela atividade de mineração, a recomposição topográfica de superfícies degradadas compreende a etapa inicial de suporte, para a implementação das técnicas de recuperação relativas à revegetação, ou outro uso.

Neste campo, os estudos ainda são incipientes, pois formas geológicas associadas à paisagem não são possíveis de serem refeitas (PETERSEN *et al.*, 2004). Por isso em áreas de mineração de ferro a revegetação de taludes de estéril se torna difícil, visto que o substrato contém baixos níveis de matéria orgânica, que auxilia na estruturação e retenção de umidade do solo, atuando como fonte de nutrientes para os vegetais (RUIVO, 1998).

Um modelo adotado como alternativa viável para auxiliar nos processos de revegetação de taludes de estéril é a utilização de leguminosas fixadoras de nitrogênio dos mais variados hábitos, pois estas apresentam bom desenvolvimento em ambientes hostis, a exemplo de indivíduos pertencentes ao gênero *Mimosaceae* (de FARIA *et al.*, 2010). Muitas espécies se desenvolvem sobre um substrato com pequena espessura, sendo, portanto uma característica que pode contribuir para a revegetação de taludes, diminuindo custos, principalmente com adubos químicos, produto amplamente utilizado nos plantios convencionais (FRANCO *et al.*, 1992; CHAER *et al.*, 2011).

A partir deste processo de revegetação de áreas degradadas utilizando leguminosas fixadoras, é possível promover uma melhor estruturação do substrato através da deposição de serrapilheira que se transformará em matéria orgânica, liberando nutrientes aos vegetais (FRANCO & FARIA, 1997). Isto poderá facilitar o processo de sucessão vegetal, desde que existam nas proximidades áreas com potencial de dispersão, seja por animais, vento, água ou outro mecanismo (FRANCO *et al.*, 1991).

Outro modelo que pode ser utilizado na revegetação de taludes, desde que a exploração de minério seja feita a céu aberto, é a retirada da camada orgânica que recebe a denominação de *top soil*, e que será armazenada e posteriormente retornada sobre o talude (TACEY & GLOSSOP, 1980). Esta camada de solo e matéria orgânica geralmente apresenta

um rico espectro mineral e biológico, contendo propágulos, como sementes, e a meso, macro e micro fauna que atuam na estruturação e formação dos solos (ROKICH *et al.*, 2000).

A grande dificuldade dos processos de revegetação de taludes, não parte do simples princípio, da formação de cobertura verde com função de contenção de sedimentos, e sim para a formação de uma comunidade arbórea que tenha capacidade de se sustentar e renovar ao longo do tempo, em equilíbrio entre a vida acima e abaixo do solo. Por isso o uso de indicadores ambientais que segundo o Ministério do Meio Ambiente (2005) são avaliações numéricas ou índices que reflitam a situação da qualidade do meio como o ar, água e solo, assim como outros recursos naturais como a fauna e flora, são ferramentas utilizadas para nortear e explicar a eficiência nos processos de recuperação de áreas degradadas. Estes indicadores podem ser classificados como indicadores abióticos (pedoindicadores) relacionados a atributos do solo como estrutura dos agregados, estrutura e textura do solo e indicadores bióticos (bioindicadores), como regeneração natural, banco e dispersão de sementes e fauna do solo (MARTINS, 2000).

Partindo destes princípios e buscando compreender como está se desenvolvendo a recuperação ambiental dos taludes revegetados, este trabalho teve como objetivo avaliar a formação vegetal oriunda dos processos de revegetação de taludes de estéril, partindo da primeira hipótese firmada que a revegetação dos taludes de estéril em área de mineração de ferro utilizando coquetéis sementes de espécies pertencentes à savana metalófila e floresta ombrófila podem agir como facilitadores da sucessão natural e como condicionadores do substrato. A segunda hipótese firmada é que a retirada, armazenamento e retorno do horizonte orgânico superficial do solo (“topsoil”) após a exploração por minerações a céu aberto têm fundamental papel no processo de revegetação por já apresentar características quantitativas e qualitativas que refletem as comunidades anteriormente existentes na área.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS SÍTIOS ESTUDADOS

2.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDOS

As áreas de estudo estão localizadas na província mineral de Carajás, especificamente nas áreas de exploração de minério de ferro. A província mineral de Carajás está localizada no interior da Floresta Nacional de Carajás (FLONA) situada no sudeste do estado do Pará, na Amazônia Brasileira. Carajás é uma Unidade de Conservação (UC) Federal gerida pelo ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). Esta UC abrange os municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte e possui área de aproximadamente 400 mil hectares (Figura 1).



Figura 1. Mapa de localização da Floresta Nacional de Carajás (Flona Carajás), disponibilizado no Plano de Manejo.

2.1.1 VEGETAÇÃO

A Floresta Nacional de Carajás localiza-se na grande Região Amazônica, que tem a maior e mais rica formação florestal do planeta, tanto em extensão como em variedade de espécies vegetais e animais, condicionada pelo clima equatorial úmido.

Mais de 95% da Floresta Nacional de Carajás são cobertos por florestas; do restante, cerca de 2 a 3% são formados por clareiras naturais de vegetação rupestre (vegetação

metalófila) que se desenvolve diretamente sobre afloramento rochoso de ferro “canga hematítica”.

Predominam na Floresta Nacional de Carajás as seguintes formações: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Savana Metalófila e Floresta Aluvial (Figura 2).

A região de Carajás detém nas formações florestais arbóreas, cerca 41 famílias e 130 espécies, sendo as famílias Fabaceae (33%), Arecaceae (7%) e Lecythidaceae (3,5%) as mais abundantes. Grande parte das famílias presentes nas formações florestais apresenta uma baixa abundância como a Araceae, Boraginaceae, Nyctaginaceae, Araliaceae, Icacinaceae, Piperaceae, Sapindaceae, Musaceae, Gentiniaceae, Simarubaceae, Combretaceae, Verbenaceae, Myristicaceae, Bixaceae, Elaeocarpaceae e Humiriaceae (RIBEIRO *et al.*, 1999).

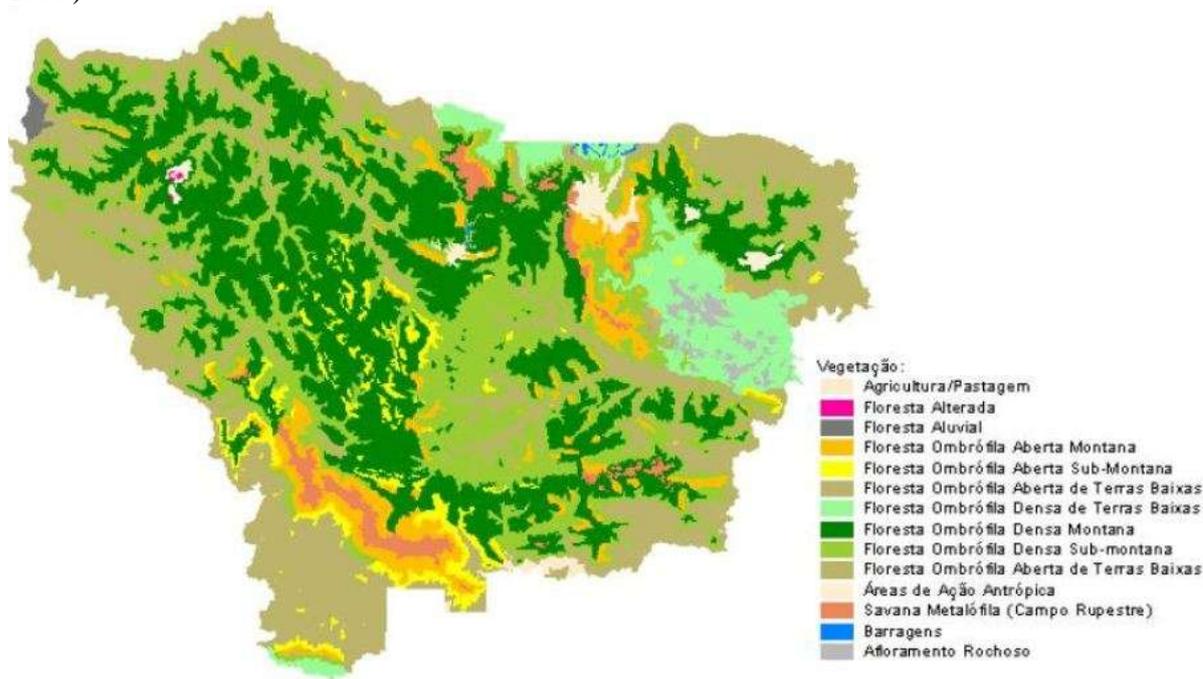


Figura 2. Mapa das formações florestais da Floresta Nacional de Carajás (Flona Carajás), disponibilizado no Plano de Manejo.

2.1.2 Clima

O clima, segundo dados da estação meteorológica de Carajás e Salobo, é tropical úmido, com inverno seco e com precipitação média do mês mais seco inferior a 60 mm, correspondendo ao tipo Aw de Köppen. A precipitação média na estação chuvosa é 248 mm (78% do total anual), e a da estação seca é 32 mm (7% do total anual). A temperatura média anual é de 24.8°C.

2.1.3 SOLOS

As classes de solo predominantes são associações de Cambissolo Háplico com Neossolo Litólico (40% da área total), e Latossolo Vermelho-Amarelo com Cambissolo Háplico (20% da área total) (Fonte: Plano de Manejo da FLONA Carajás-PA).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDOS

Foram demarcadas quatro áreas de estudos, sendo três áreas em processo de revegetação e uma área com presença de mata primária (Figura 3). Os trabalhos foram desenvolvidos através de amostragens por parcelas definidas “Plot Sampling” (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). Cada área de estudo é formada por três parcelas, tendo cada uma a dimensão de 10 metros x 20 metros (área de 200 m²), estando estas parcelas distantes entre si aproximadamente 20 metros.

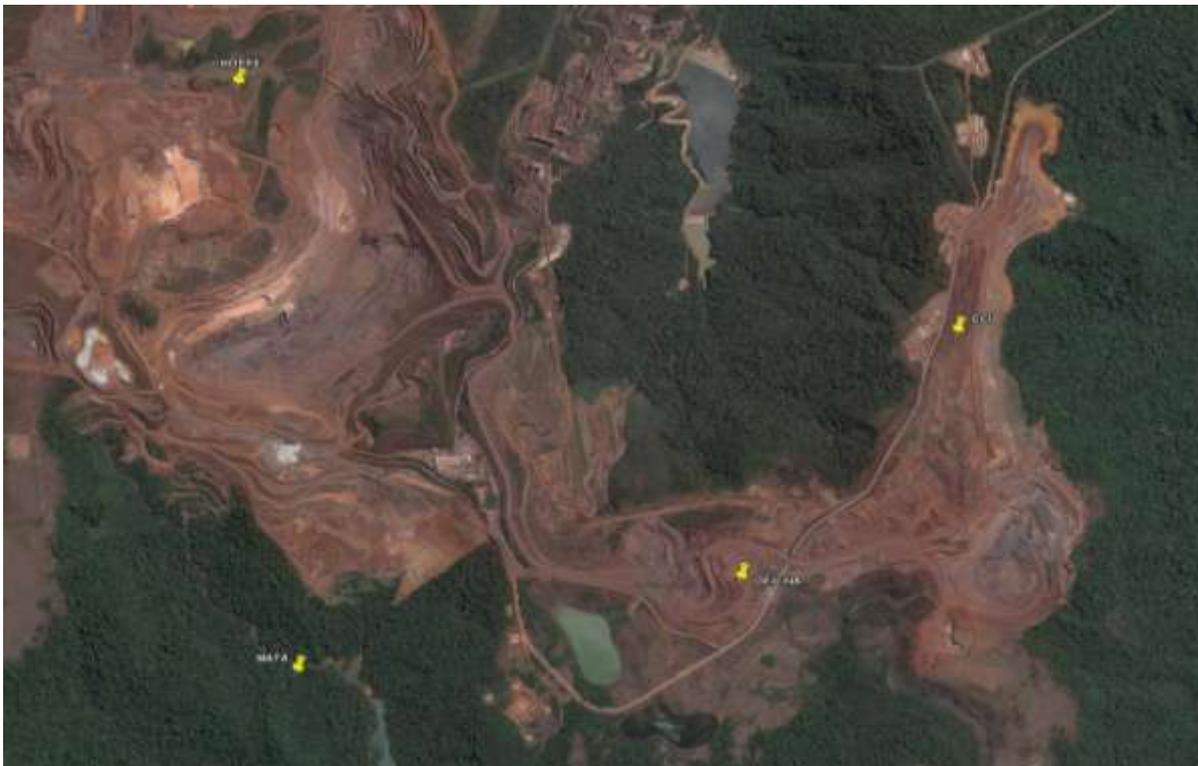


Figura 3. Demarcações em amarelo, representam as áreas de estudos (imagem disponibilizada pelo Google Earth).

2.2.1 PRIMEIRA ÁREA DE ESTUDO (CCI)

A primeira área de estudo, com aproximadamente 13 ha, está situada sobre talude de aterro, com coordenadas projetadas no plano UTM E 596483 metros e N 9329588 metros, Zona 22M (Figura 4). O processo de revegetação teve início em novembro de 2004, sendo feito uma calagem com aplicação de 1500 kg.ha⁻¹ de calcário dolomítico, após a conformação topográfica e limpeza da área 45 dias antes do início dos plantios.



Figura 4. Vista panorâmica da área de estudo denominada de CCI em fevereiro de 2011, cerca de seis anos após o início do processo de revegetação (Fonte: Gonçalves, F.S.).

Antes do processo de semeadura e adubação inicial, foram aplicados diretamente sobre a superfície dos taludes micro-terraços espaçados 2 metros entre si, e fixados com estaca a cada 1,5 metro (Figura 5). Esta prática de bioengenharia é recomendada para taludes com inclinação maior que 45° ou para aqueles, que independentemente do grau de inclinação, possuem má qualidade de substrato. Estes micro-terraços auxiliam na fixação dos insumos e servem para proteger a superfície dos taludes contra a ação dos agentes erosivos, em específico da chuva, de forma a se evitar o carreamento de sedimentos e insumos (fertilizante, adubo orgânico, sementes etc.) aplicados sobre os mesmos.

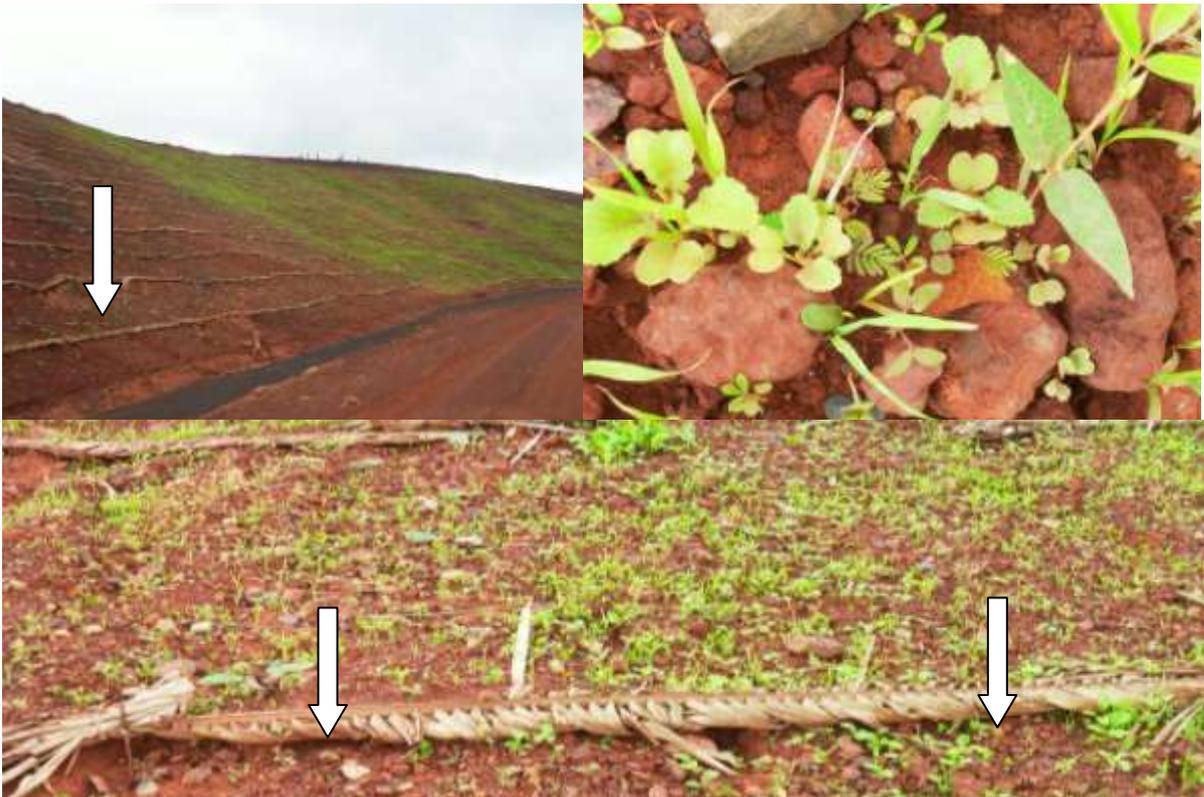


Figura 5. Disposição dos micro-terraços sobre os taludes de aterro e início do processo de germinação das espécies comerciais e nativas (Fonte: Gonçalves, F.S.).

O processo de plantio e adubação inicial foi realizado através do método de microcoveamento, que consiste na abertura de pequenas covas ou microcovas sobre toda a superfície de solo/substrato exposto de taludes, a uma profundidade variando de 3 a 5 cm, ligeiramente inclinados para dentro do talude. As microcovas estavam dispostas sobre o talude de forma desencontrada, ou seja, em quincôncio, espaçadas 0,15 cm a 0,20 cm entre as covas. Após a realização do microcoveamento a semeadura consistiu na colocação na microcoveta do coquetel de sementes misturado com o fosfato natural na proporção 400 kg.ha⁻¹, 300 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio e 1.500 kg/ha do adubo orgânico cama de galinha bem curtido, sendo essa mistura bem homogeneizada.

O coquetel de sementes utilizado consistiu de sementes forrageiras comerciais na proporção de 250 kg.ha⁻¹ (Tabela 1), complementado com 10 kg.ha⁻¹ de sementes do ecossistema regional (Tabela 2), visando à indução da sucessão natural das espécies vegetais locais e a formação de um novo substrato, garantindo a sustentabilidade da área e a sua integração à paisagem local. O processo de semeadura foi realizado no início do período chuvoso para se obter os melhores resultados, e para as sementes de espécies nativas, a semeadura foi realizada em covas separadas da semeadura do coquetel de sementes comerciais para evitar o abafamento das espécies nativas que possuem um ritmo de crescimento mais lento.

Tabela 1. Listagem das espécies comerciais utilizadas no processo inicial de revegetação de taludes de estéril (Fonte: VALE).

| Nome comum | Nome científico | Família | Densidade |
|-----------------|---------------------------------------|------------|-----------|
| Feijão-guandú | <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp. | Fabaceae | 30,0 |
| Crotalária | <i>Crotalaria spectabilis</i> Roth. | Fabaceae | 70,0 |
| Feijão-de-porco | <i>Canavalia ensiformis</i> DC. | Fabaceae | 40,0 |
| Calopogônio | <i>Calopogonium mucunoides</i> Desv. | Fabaceae | 40,0 |
| Estilosantes | <i>Stylosanthes capitata</i> Vog | Fabaceae | 30,0 |
| Estilosantes | <i>Stylosanthes macrocephala</i> M.B. | Fabaceae | 30,0 |
| Nabo-forrageiro | <i>Raphanus sativus</i> L. | Cruciferae | 40,0 |
| Aveia | <i>Avena strigosa</i> Schreb | Gramineae | 30,0 |

Tabela 2. Listagem das espécies nativas utilizadas na revegetação de taludes, sendo a sua utilização dependente da disponibilidade na época da revegetação (Fonte: VALE).

| Família | Nome Vulgar | Nome Científico |
|----------------|----------------------|--|
| Anacardiaceae | Tatapiririca | <i>Tapiriria guianensis</i> Aubl. |
| Clusiaceae | Lacre | <i>Vismia guianensis</i> Aubl. |
| Compositae | Vernonia | <i>Vernonia muricata</i> Dc. |
| Euphorbiaceae | Canudo de Pito | <i>Mabea fistulifera</i> Mart. |
| Fabaceae | Calopogônio | <i>Calopogonium mucunoides</i> Desv. |
| | Crotalária | <i>Crotalaria sp.</i> |
| | Mucuna da Canga | <i>Dioclea virgata</i> Rich. |
| | Mucuna flor | <i>Dioclea crenata</i> R.H.Maxwell |
| | Malicea trepadeira | <i>Mimosa sp.</i> |
| | Pata de vaca da | <i>Bauhinia pulchella</i> Benth. |
| | Rabo de camaleão | <i>Senna sp</i> |
| | Tachi | <i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel. |
| | Malicea dormideira 1 | <i>Mimosa sp.</i> |
| | Malicea dormideira 2 | <i>Mimosa sp.</i> |
| | Mimosa da Canga | <i>Mimosa acutistipula</i> (Mart.) Benth. |
| | Mimosa Espinhenta | <i>Mimosa sp.</i> |
| | Mimosa peluda | <i>Mimosa pellita</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. |
| | Mimosinha | <i>Mimosa somnians</i> Humb. & Bonpl. ex Willd |
| Malpighiaceae | Chuva de ouro | <i>Lophantera lactescens</i> Ducke. |
| | Murici | <i>Byrsonima basiloba</i> A. Juss. |
| | Murici da Canga | <i>Byrsonima spicata</i> (Cav.) DC. |
| Malvaceae | Malva | <i>Urena lobata</i> L. |
| | Malva falsa | <i>Walteria americana</i> L. |
| Marcgraviaceae | Rabo de arara | <i>Norantea goyasensis</i> Cambess. |
| Myrtaceae | Murta | <i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) Kuntze |
| | Vaúna | <i>Myrciaria deflexa</i> O. Berg. |
| Poaceae | Capim barba de bode | <i>Cyperus flavus</i> J. Presl & C. |
| | Capim da canga | <i>Sporobulus</i> |
| Urticaceae | Embaúba | <i>Cecropia sp.</i> |
| Solanaceae | Jurubeba | <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav. |

2.2.2 SEGUNDA ÁREA DE ESTUDO (OFICINA)

A segunda área de estudo, com aproximadamente 0.44 ha, está situada sobre talude de aterro com coordenadas projetadas no plano UTM E 594969 metros e N 9327929 metros, Zona 22M (Figura 6). O processo de revegetação teve início em novembro de 2007 (Figura 7), sendo as etapas de calagem e microcoveamento semelhantes à primeira área de estudo, diferenciando-se na quantidade de adubo e na quantidade sementes aplicadas e pela não utilização de micro-terraços. Nesta segunda área de estudo foram aplicados 280 kg.ha⁻¹ de sementes de espécies forrageiras comerciais (Tabela 1), 30 kg.ha⁻¹ sementes de espécies regionais (Tabela 2), 2000 kg.ha⁻¹ de adubo orgânico e 600 kg.ha⁻¹ de NPK 04:14:08.



Figura 6. Vista panorâmica da área de estudo denominada de Oficina (Fevereiro de 2011) (Fonte: Gonçalves, F.S.).



Figura 7. Área de estudo antes do processo de revegetação, com a conformação topográfica finalizada (Fonte: VALE).

2.2.3 TERCEIRA ÁREA DE ESTUDO (HOPPE)

A terceira área de estudo, com aproximadamente 0,72 ha, está situada sobre talude de aterro com coordenadas projetadas no plano UTM E 591590 metros e N 9331208 metros, Zona 22M (Figura 8). O processo de revegetação teve início em dezembro de 2008, utilizando-se no recobrimento do talude, um material denominado de *top soil*, que consiste na camada fértil que detém o horizonte orgânico do solo florestal, sendo um material de fundamental importância como adubo orgânico, substrato revitalizante (micro e macrofauna edáfica) e fonte de propágulos. O *top soil* utilizado foi obtido no processo de supressão de uma mata primária, localizada nas proximidades da área da mina de exploração de ferro (Figura 9). Este foi basculado em outubro de 2008 e espalhado em dezembro de 2008 sobre o talude, com uma espessura média de 20 centímetros. Nesta área de estudo não foi utilizado nenhum trato cultural como calagem, adubação, aplicação de micro-terraços e coquetel de sementes comerciais e/ou nativas, sendo a vegetação presente na área, originária do banco de propágulos contido no mesmo.



Figura 8. Vista panorâmica da área de estudo denominada de Hoppe (fevereiro de 2011) (Fonte: Gonçalves, F.S.).



Figura 9. *Top soil* (solo orgânico) extraído em área de floresta ombrófila, após processo de supressão de vegetação (Fonte: VALE).

2.2.4 QUARTA ÁREA DE ESTUDO (MATA)

A quarta área de estudo, é a área controle e está localizada no interior da mata primária (Floresta ombrófila) sobre associações de cambissolo, próxima à mina de extração de minério de ferro, com coordenadas projetadas no plano UTM E 591957 metros e N 9327257 metros, Zona 22M (Figura 10). As parcelas que compõem esta área de estudo estão afastadas cerca de 50 metros da borda da mata, para evitar o efeito da borda e possíveis intervenções antrópicas.



Figura 10. Vista panorâmica da área de estudo denominada de Mata em fevereiro de 2011 (Fonte: Gonçalves, F.S.).

2.2.5 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS ÁREAS DE ESTUDOS

De acordo com as características intrínsecas a cada área de estudo, o Quadro 1 apresenta um resumo das principais características.

Quadro 1. Áreas de Estudos e as características principais dos processos de revegetação.

| Áreas | Ano Implantação | Técnica Utilizada | Coquetel Semente Nativa | Coquetel Semente Forrageira | Adubação |
|---------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|----------|
| CCI | nov/04 | Semeadura direta | sim | sim | sim |
| Oficina | nov/07 | Semeadura direta | sim | sim | sim |
| Hoppe | dez/08 | Top soil | não | não | não |
| Mata | s/n | s/n | s/n | s/n | s/n |

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG.** 2000. 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil - Geotecnia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BELL, L. C. Rehabilitation of disturbed land. In: Mulligan, D. R. (ed.) **Environmental management in Australian minerals and energy industries. Principles and practices.** Sydney, University of New South Wales Press, p. 227-261, 1996.

CHAER, G. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; de FARIA, S. M.; Boddey, R. M. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. **Tree Physiology**, v. 31, p. 139-149, 2011.

DIAS, L.E. & GRIFFITH, J.J. Conceituação e Caracterização de Áreas Degradadas. In: Dias, L.E. & Mello, J.W.V. (eds.). **Recuperação de Áreas Degradadas.** Univ. Federal de Viçosa, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 251p. (il.), 1998.

FARIA, S. M.; DIEDHIU, A. G.; de LIMA, H. C.; RIBEIRO, R. D.; GALIANA, A.; CASTILHO, A.F.; HENRIQUES, J. C. Evaluating the nodulation status of leguminous species from the Amazonian forest of Brazil. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 3119-3127, 2010.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. da; FARIA, S. M. de. **Revegetação de solos degradados.** Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1992. 8p. (EMBRAPA-CNPAB. Comunicado Técnico, 9).

FRANCO, A.A. & de FARIA, S.M. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biological Biochemistry**, v. 29, p. 897-903, 1997.

FRANCO, A.A.; CAMPOS NETO, D.; CUNHA, C. DE O.; CAMPELLO, E.F.C; MONTEIRO, E.M. DA S.; SANTOS, C.J.F. ; FONTES, A.M.; FARIA, S.M. DE. **Revegetação de solos degradados. In: Workshop Sobre Recuperação de Áreas Degradadas**, 1., 1990, Itaguaí. Anais...Itaguaí: UFRRJ/Departamento de Ciências Ambientais, 133-157, 1991.

KÖPPEN, W. Climatologia. **Ed. Fundo de Cultura Econômica**, Buenos Aires, México, p. 478, 1948.

KUMSSA, D. B.; VAN AARDE, R.J.; WASSENAAR, T.D. The regeneration of soil microarthropod assemblages in a rehabilitating coastal dune forest at Richards Bay, South Africa. **African Journal of Ecology**, v. 42, p. 346–354, 2004.

MACHADO, R. L. **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, RJ**. 2007. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Curso de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MUELLER-DOMBOIS, D. & ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York, J. Wiley & Sons. p.547, 1974.

PETERSEN, S.L.; ROUNDY, B.A.; BRYANT, R.M. Revegetation methods for high-elevation roadsides at Bryce Canyon National Park, Utah. **Restoration Ecology**, v. 12, n. 2, p. 248-257, 2004.

RIBEIRO, A.I.; LONGO, R.M.; FILHO, A.T.; MELO, W.J. Diagnóstico de uma área compactada por atividade minerária, na floresta amazônica, empregando métodos geoestatísticos à variável resistência mecânica à penetração do solo1. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 1, 2006.

RIBEIRO, R.J.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; AZEVEDO, C.P. Estudos fitossociológico nas regiões de Carajás e Marabá – Para, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 29, n. 2, p. 207-222, 1999.

ROKICH, D.P.; DIXON, K.W.; SIVASITHAMPARAM, K.; MENEY, K.A. Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. **Restoration Ecology**, v. 8, n. 2, p. 196-208, 2000.

RUIVO, M.L.P. **Vegetação e características do solo como indicadores de reabilitação de áreas minerada na Amazônia Oriental**. Viçosa,: UFV, 1998. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

TACEY, W. H. & GLOSSOP, B. L. Assessment of topsoil handling techniques for rehabilitation of sites mined for bauxite within the Jarrah forest of western Australia. **The Journal of Applied Ecology**, v. 17, n. 1, p. 195-201, 1980.

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA ARBÓREO-ARBUSTIVA EM ÁREAS REVEGETADAS, PÓS MINERAÇÃO DE FERRO

Resumo: (Caracterização da estrutura arbórea-arbustiva em áreas revegetadas, pós mineração de ferro). A revegetação é uma técnica empregada para a recomposição de ecossistemas degradados, desprovidos dos meios naturais de regeneração biótica. As técnicas empregadas no processo de revegetação de taludes em área de mineração de ferro, utilizando-se da semeadura direta e uso de *top soil* (camada orgânica), proporcionaram comunidades arbóreas distintas. Foi realizado o levantamento florístico e fitossociológico em três áreas revegetadas, e em uma área controle com vegetação de floresta ombrofila densa, Carajás-PA. Foi quantificada nestas áreas a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel, com o objetivo de se verificar o fechamento do dossel. Os resultados evidenciaram baixos valores de equabilidade e do índice de diversidade Shannon para as áreas revegetadas; (CCI, Pielou=0,65 e Shannon=1,9); (Oficina, Pielou=0,66 e Shannon=2,17); (Hoppe, Pielou=0,65 e Shannon=2,150), já a área Mata apresentou uma alta equabilidade (Pielou=0,88) e alta diversidade (Shannon=3,84). A similaridade florística entre as áreas foi inferior a 20% pelo índice de similaridade de Jaccard. As medições de radiação contribuíram para caracterizar a dinâmica do dossel e avaliar o desenvolvimento da vegetação. Os resultados obtidos podem auxiliar na compreensão dos processos ecológicos envolvidos na revegetação de áreas mineradas a céu aberto, pois é possível gerar a cronologia de todas as etapas, já que o próprio substrato se encontra em estágio de estruturação.

Palavras-chave: florística, diversidade, riqueza

Abstract: (Characterization of the structure tree and shrubs in areas revegetated, after iron ore). Revegetation is a technique used for the recovery of degraded ecosystems, lack of natural regeneration biotic. The techniques employed in the process of revegetation of slopes in the mining of iron, using the no-tillage and use of top soil (organic layer) gave distinct tree communities. Data were collected in three floristic and phytosociological revegetated areas, and in a control area with dense rain forest vegetation, Carajás-Pa. Was quantified in these areas, the photosynthetically active radiation absorbed by the canopy, in order to verify the closure of the canopy. The results show that low values of evenness and Shannon diversity index for the revegetated areas; (ICC = 0.65 and Shannon evenness = 1.9), (Workshop, Shannon evenness = 0.66 and = 2.17) ; (Hoppe, Shannon evenness = 0.65 and = 2.150), whereas the forest area had a high evenness (Pielou = 0.88) and high diversity (Shannon = 3.84). The floristic similarity between areas was less than 20% by Jaccard similarity index. Measurements of radiation contributed to characterize the canopy dynamics and evaluate the development of vegetation. The results may help to understand the ecological processes involved in the revegetation of mined areas in the open, it is possible to generate the timing of all stages, since the substrate is in the structuring stage.

Key words: Floristic, diversity, richness

1. INTRODUÇÃO

As áreas operacionais da Vale no mundo abrangem aproximadamente 3.668 km², dos quais 3.467 km² destas áreas estão inseridas em Hotspots ou Áreas Wilderness, que constituem regiões de alta diversidade biológica avaliadas internacionalmente como importantes para a conservação da biodiversidade (VALE, 2010).

Considerando todos os empreendimentos sob responsabilidade da Vale, a área total impactada pela empresa foi de 103km² no período de 2008 a 2010. No mesmo período, foram iniciadas atividades para recuperação de aproximadamente 70km², entre os quais estão inseridas áreas em recuperação permanente (72,57%) e áreas em recuperação provisória (27,43) (VALE, 2010).

A formação vegetal que sofreu maior interferência das operações da Vale em 2010 (supressão da vegetação) foi a Floresta Amazônica. As áreas impactadas neste bioma estão relacionadas a empreendimentos em implantação e em operação (expansão das unidades), especialmente o Projeto Salobo, o Projeto Paragominas e o Complexo Industrial e Portuário de Ponta da Madeira) (VALE, 2010).

Dentro deste contexto de recuperação de áreas impactadas, a revegetação é uma técnica empregada para a recomposição de ecossistemas degradados, desprovidos dos meios naturais de regeneração biótica (ZEPPELINI *et al.*, 2009). As técnicas de revegetação são baseadas em princípios naturais (sucessão) e diferem pelas espécies utilizadas no processo de revegetação do ecossistema. Na recuperação são empregadas espécies preexistentes de forma a dar condições para que o ecossistema adquira características próximas às originais (FRANCO *et al.*, 1992; RODRIGUES & GANDOLFI, 2004).

A revegetação de áreas mineradas é exigida durante os processos de licenciamentos ambientais (Decreto 97.632/1989), tendo o minerador a obrigação de implantar o plano de recuperação de área degradada (PRAD) pela atividade de mineração aprovado pelo órgão ambiental competente, que contempla o uso futuro da área de influência da mina, após o fechamento da mesma (SOUZA, 2002).

Contudo a recuperação das áreas mineradas depende de vários fatores como o preparo do solo, através de obras de engenharia, com a confecção de cortes, aterros, curvas de nível, até a conformação do aspecto do relevo final (YOUNG, 2000; VIDAL, 2001), favorecendo assim o plantio e a manutenção da cobertura vegetal, até que estas se apresentem potencialmente capazes de evoluir naturalmente dentro dos princípios da restauração ecológica, sem a necessidade de interferência humana (KUMSSA *et al.*, 2004; ANDRÉ & MATEOS, 2006).

Pesquisadores apontam a importância dos estudos abordando a cronossequência dos processos de revegetação em áreas pós-mineração, pois é possível documentar toda a história. Outra razão para o estudo em sítios de mineração repassa a mensagem que, além de avaliar a teoria ecológica de sucessão, estes estudos tem uma grande importância na prática (WALKER & DEL-MORAL, 2003) relatando a peculiaridade em locais pós mineração (FROUZ *et al.*, 2001; PRACH *et al.*, 2001). A dificuldade em selecionar espécies capazes revegetar estas áreas é um dos principais obstáculos, juntamente com a falta de solo na superfície, a deficiência nutricional e a alta declividade (MUNSHOWER, 1994).

Espécies selecionadas para os trabalhos de recuperação devem possuir características como tolerância à seca, sistema radicular profundo, crescimento vigoroso, disponibilidade de sementes, facilidade na propagação, sobrevivência em condições de baixa fertilidade e

eficácia na cobertura do solo (KAGEYAMA & GANDARA, 2004). Em muitas situações, todas essas características não serão encontradas em uma só espécie.

No entanto, para o processo de revegetação deve-se selecionar aquelas que possuam o maior conjunto de características desejáveis, utilizando-as preferencialmente consorciadas, visando uma maior variabilidade gênica, facilitando os processos ecológicos (EINLOFT, 1996; ENGEL & PARROTA, 2003). Dentro deste contexto as práticas de recuperação deixam de ser uma mera aplicação dos princípios agrônômicos ou silviculturais de plantios de espécies perenes, para assumir a difícil tarefa da reconstrução das complexas interações dentro da comunidade, respeitando suas características intrínsecas e garantindo sua perpetuação e evolução no espaço e no tempo (RODRIGUES & GANDOLFI, 2004).

Portanto, no intuito de avaliar o sucesso do processo de revegetação é necessário adotar critérios mensuráveis para definir o grau de recuperação de uma determinada área, e para tanto, áreas circundantes não perturbadas podem dar uma indicação das condições naturais para comparação (ANDRE & MATEOS, 2006). Neste intuito de critério mensurável a relação existente entre a produção de matéria seca e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada ou absorvida tem sido amplamente usada para definir a eficiência de uso da radiação pelas espécies vegetais (SIVAKUMAR & VIRMANI, 1984; COSTA *et al.*, 1996), considerando que as plantas adequadamente sadias e supridas de água e nutrientes apresentam a fotossíntese líquida e a produção de fitomassa proporcionais à quantidade de RFA absorvida pelo dossel (MONTEITH, 1977).

O objetivo do presente estudo foi caracterizar e verificar a similaridade das formações vegetais resultantes dos processos de revegetação sobre taludes de estéril, com uma área não perturbada com presença de floresta ombrófila.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO EXISTENTES NAS ÁREAS DE ESTUDOS

Para caracterização da vegetação nas áreas de estudos foi realizado o levantamento florístico e fitossociológico (MUELLER-DOMBOIS & ELLEMBERG, 1974).

Em cada parcela, foram identificados e mensurados todos os indivíduos com altura superior a 1,5 m, não considerando o seu hábito arbóreo e/ou arbustivo.

As variáveis dendrométricas mensuradas foram altura e DAP (diâmetro à altura do peito) para as espécies arbóreas. Para os indivíduos arbustivos (vegetal variando de um a três metros, não apresentando divisão nítida entre copa e o tronco) foram medidas a altura e o diâmetro à altura do solo (DAS).

Os parâmetros fitossociológicos avaliados seguindo a metodologia proposta por Mueller-Dombois & ElleMBERG (1974) foram frequência, densidade, dominância, índice valor de importância (IVI) e índice valor de cobertura (IVC).

Frequência Relativa (Fri):

$$FRi=(FAi/\Sigma FA)*100$$

Onde: FAi é a frequência absoluta da espécie *i* e FA é o somatório das frequências absolutas de todas as espécies.

Densidade Relativa (Dri):

$$DRi=(ni/N)*100$$

Onde: ni é o número de indivíduos de uma dada espécie e N é o número total de indivíduos amostrados.

Dominância Relativa (DOi):

$$DORi=(ABi/ABT)*100$$

Onde: ABi é a área ocupada por todos os indivíduos de determinada espécie e ABT é a área total ocupada pelos indivíduos de todas as espécies.

Valor de Importância (VI):

$$VI=DRi+FRi+DORi$$

Onde: DRi é a densidade relativa da espécie i, FRi é a frequência relativa da espécie i e DORi é a dominância relativa da espécie i.

Valor de Cobertura (VC):

$$VC=DRi+DORi$$

Onde: DRi é a densidade relativa da espécie i e DORi é a dominância relativa da espécie i.

Foram determinados os índices de diversidade de Shannon e equabilidade (J') (PIELOU, 1975) para as quatro áreas de estudo. Estes parâmetros e índices foram calculados utilizando-se o programa FITOPAC 1 (SHEPHERD, 1996).

Índice de Shannon:

$$H=-\sum pi \ln pi \text{ sendo, } PI = ni/N$$

Onde: ni é o número de indivíduos amostrados da espécie i e N é o número total de indivíduos.

Índice de Pielou:

$$J= H'/\ln S$$

Onde: H é o índice de Shannon e S é o número de espécies.

2.2 SIMILARIDADE FLORÍSTICA

Para compararmos estas formações, foi utilizado o índice de similaridade de Jaccard (Cj), que expressa a semelhança entre ambientes, baseando-se no número de espécies comuns (MAGURRAN, 1988):

$$Cj = \frac{j}{a + b - j}$$

onde $j = \epsilon$ é o número de espécies comuns a duas áreas, $a = \epsilon$ é o número de espécies da área A e $b = \epsilon$ é o número de espécies da área B.

2.3 AVALIAÇÃO DO FECHAMENTO DO DOSSEL

Para avaliarmos o desenvolvimento das áreas de estudo utilizamos o recobrimento do dossel como variável. Através da radiação fotossinteticamente ativa (RFA, $\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$) que é interceptada e fica retida no dossel da vegetação é possível estimar o seu desenvolvimento.

As medições da radiação fotossinteticamente ativa são obtidas medindo-se a densidade de fluxo de fótons com auxílio de um sensor quântico modelo LI 190 SA (LICOR, Nebraska, USA) conectado a um medidor digital portátil modelo LI 250, (LICOR, Nebraska, USA).

As medições foram realizadas em julho de 2010 e julho de 2011, sendo em cada parcela tomada uma leitura da RFA incidente (RFA_{inc}) no topo do dossel e dez leituras ao nível do solo, obtendo-se um valor meio composto. A RFA interceptada pelo dossel foi calculada como a diferença entre ambas as medições, incidente e transmitida até o solo (NORMAN & ARKEBAUER, 1991), sendo expressa em termos de percentagem da RFA interceptada, ou seja (Equação 1) :

$$RFA_{Int} (\%) = 100 \times \frac{(RFA_{ID} - RFA_{NI})}{RFA_{ID}}$$

RFA_{Int} Radiação fotossinteticamente ativa interceptada

RFA_{NI} Radiação fotossinteticamente ativa não interceptada

RFA_{ID} Radiação fotossinteticamente ativa incidente no dossel

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram realizados os testes de homogeneidade (Cochran, 5%) e normalidade (Lilliefors, 5%), através do programa SAEG (versão 8.1), com os resultados obtidos de radiação fotossinteticamente ativa.

De posse dos resultados, foi realizado teste de média (Teste t de Bonferroni) dos dados que apresentaram distribuição normal e variância homogênea, através do programa SISVAR. Foi utilizado este teste de média devido à ausência de delineamento experimental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO

3.1.1 PRIMEIRA ÁREA DE ESTUDO (CCI)

A diversidade da área CCI, poderá ser alterada ao longo do tempo, pois através de observações realizadas “in loco” foi detectado o início do processo de regeneração, através do surgimento de espécies pioneiras que não foram semeadas. A maioria destas espécies não foi quantificada no levantamento florístico, pois apresentavam indivíduos jovens, e/ ou de hábito herbáceo. Estas espécies não quantificadas na sua maioria são representantes da família Melastomataceae, família que é altamente representativa e com alto grau de endemismo no Bioma Amazônico (BAUMGRATZ *et al.*, 2006, 2007; GOLDENBERG & AMORIM, 2006),

tendo como característica marcante a ocorrência em áreas abertas, clareiras, bordas de fragmentos e/ou em vegetação secundária (GENTRY, 1993; ANTONINI & NUNES-FREITAS, 2004).

Esta mudança na composição florística, que está ocorrendo na área CCI é crucial para o desenvolvimento de todo o ecossistema (FROUZ, 1997; SPEHN *et al.*, 2000; SOURKAVÁ *et al.*, 2005; FROUZ, 2008; ROUBÍCKOVÁ, 2012), e pode ser comprovada através do levantamento florístico realizado, encontrando-se um total de 450 indivíduos pertencentes a 19 espécies, distribuídos entre nove famílias (Tabela 3 e Tabela 4). Resultados semelhantes foram encontrados por Frouz *et al.*, (2008), estudando o processo de sucessão em locais pós mineração, o qual este encontrou mudanças súbitas e marcantes na composição da comunidade vegetal cerca de 23 anos após o início da sucessão.

Tabela 3. Florística e fitossociologia das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominada de CCI, em maio de 2010, Carajás-PA.

| Espécies | Nº.Ind ¹ | Dens.Re ² | Dom.Rel ³ | Freq.Re ⁴ | IVI ⁵ | IVC ⁶ |
|--|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| <i>Senna sylvestris</i> (Vell) I.& B. | 190 | 49.10 | 63.12 | 15.00 | 127.22 | 112.22 |
| <i>Cecropia ficifolia</i> C.C. Berg. | 8 | 2.07 | 18.18 | 10.00 | 30.25 | 20.25 |
| <i>Bauhinia unguolata</i> L. | 56 | 14.47 | 3.82 | 5.00 | 23.29 | 18.29 |
| <i>Bauhinia longicuspi</i> Benth. | 37 | 9.56 | 3.14 | 5.00 | 17.70 | 12.70 |
| <i>Bauhinia acreana</i> Harms | 28 | 7.24 | 3.52 | 5.00 | 15.76 | 10.76 |
| <i>Bellucia grossularioides</i> cf. | 25 | 6.46 | 1.17 | 5.00 | 12.63 | 7.63 |
| <i>Bauhinia</i> sp. | 18 | 4.65 | 0.92 | 5.00 | 10.57 | 5.57 |
| <i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose | 6 | 1.55 | 1.01 | 5.00 | 7.56 | 2.56 |
| <i>Vismia latifolia</i> (Aubl.) | 2 | 0.52 | 1.92 | 5.00 | 7.43 | 2.43 |
| <i>Cassia fastuosa</i> Willd. ex | 6 | 1.55 | 0.73 | 5.00 | 7.28 | 2.28 |
| <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume | 3 | 0.78 | 1.17 | 5.00 | 6.94 | 1.94 |
| <i>Piper</i> sp | 2 | 0.52 | 0.34 | 5.00 | 5.86 | 0.86 |
| <i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos | 1 | 0.26 | 0.59 | 5.00 | 5.85 | 0.85 |
| <i>Psidium guajava</i> L. | 2 | 0.52 | 0.17 | 5.00 | 5.69 | 0.69 |
| <i>Cecropia purpurascens</i> C.C.Berg. | 1 | 0.26 | 0.08 | 5.00 | 5.34 | 0.34 |
| <i>Senna latifolia</i> (G.F.W.Meyer) H.S.Irwin & Barneby | 1 | 0.26 | 0.06 | 5.00 | 5.32 | 0.32 |
| <i>Licania tormentosa</i> (Benth.) Fritsch | 1 | 0.26 | 0.05 | 5.00 | 5.31 | 0.31 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Número de espécies por família; ³ Densidade relativa; ⁴ Dominância relativa; ⁵ Frequência relativa; ⁶ Índice de valor de importância; ⁷ Índice de valor de cobertura

Tabela 4. Florística e fitossociologia das espécies arbustivas encontradas na área de estudo denominada de CCI, em maio de 2010, Carajás-PA.

| Espécie | Nº.Ind ¹ | Dens.Re ² | Dom.Rel ³ | Freq.Re ⁴ | IVI ⁵ | IVC ⁶ |
|---|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| <i>Mimosa acutistipula</i> (Mart.) Benth. | 62 | 98.41 | 99.91 | 75.00 | 273.32 | 198.32 |
| <i>Mimosa setosa</i> Benth. | 1 | 1.59 | 0.09 | 25.00 | 26.68 | 1.68 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Número de espécies por família; ³ Densidade relativa; ⁴ Dominância relativa; ⁵ Frequência relativa; ⁶ Índice de valor de importância; ⁷ Índice de valor de cobertura

De toda diversidade florística encontrada somente seis espécies dos gêneros *Cecropia*, *Bauhinia*, *Senna*, *Vismia* e *Mimosa* são oriundas do coquetel de sementes utilizados no processo de revegetação. Este resultado indica que as espécies inicialmente utilizadas saíram do sistema, criando condições favoráveis à colonização de espécies mais adaptadas, influenciando o desempenho das espécies e a composição da comunidade de plantas, mudando assim o ambiente (DEYN *et al.*, 2003; ROUBÍCKOVÁ *et al.*, 2009; WURST, 2004).

As espécies que apresentaram uma maior colonização foram as cinco espécies com maior valor de abundância, em ordem decrescente; *Senna sylvestris* (Fabaceae), *Mimosa acustitipula* (Fabaceae), *Bauhinia unguolata* (Fabaceae), *Bauhinia longicuspi* (Fabaceae), *Bauhinia acreana* (Fabaceae) e *Bellucia grossularioides* (Melastomataceae). A alta dominância destas espécies se caracteriza pela alta produção de sementes, atrelada às características de espécie pioneira. A espécie *Mimosa acustitipula* (Fabaceae), além da alta produção de sementes, apresenta como característica a capacidade de realizar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, fixando nitrogênio que retorna para o sistema através da ciclagem de nutrientes. Esta capacidade de algumas espécies pertencentes à família Fabaceae é amplamente estudada na área de biotecnologia, e espécies com tal capacidade são recomendadas em processos de recuperação de áreas degradadas, pela capacidade de crescimento em ambientes de baixa fertilidade (FARIA *et al.*, 2010).

As famílias Fabaceae, Melastomataceae e Urticaceae apresentaram os maiores valores de densidade, sendo as mais representativas entre as espécies arbóreas (Tabela 5). As espécies arbustivas foram representadas unicamente pela família Fabaceae (Tabela 6).

Tabela 5. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominado de CCI, Carajás-PA.

| Famílias | Nº.Ind ¹ | Nº.Spp ² | Dens.Re ³ | Dom.Rel ⁴ | Freq.Re ⁵ | IVI ⁶ | IVC ⁷ |
|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Fabaceae | 342 | 8 | 88.37 | 76.32 | 25.00 | 189.69 | 164.69 |
| Urticaceae | 9 | 2 | 2.33 | 18.27 | 16.67 | 37.26 | 20.59 |
| Melastomataceae | 25 | 1 | 6.46 | 1.17 | 8.33 | 15.97 | 7.63 |
| Clusiaceae | 2 | 1 | 0.52 | 1.92 | 8.33 | 10.77 | 2.43 |
| Ulmaceae | 3 | 1 | 0.78 | 1.17 | 8.33 | 10.27 | 1.94 |
| Piperaceae | 2 | 1 | 0.52 | 0.34 | 8.33 | 9.19 | 0.86 |
| Bignoniaceae | 1 | 1 | 0.26 | 0.59 | 8.33 | 9.18 | 0.85 |
| Myrtaceae | 2 | 1 | 0.52 | 0.17 | 8.33 | 9.02 | 0.69 |
| Crysobalanaceae | 1 | 1 | 0.26 | 0.05 | 8.33 | 8.65 | 0.31 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Número de espécies por família; ³ Densidade relativa; ⁴ Dominância relativa; ⁵ Frequência relativa; ⁶ Índice de valor de importância; ⁷ Índice de valor de cobertura

Tabela 6. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbustivas encontradas na área de estudo denominado de CCI, Carajás-PA.

| Família | Nº.Ind ¹ | Nº.Spp ² | Dens.Re ³ | Dom.Rel ⁴ | Freq.Re ⁵ | IVI ⁶ | IVC ⁷ |
|----------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Fabaceae | 63 | 2 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 300.00 | 200.00 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Número de espécies por família; ³ Densidade relativa; ⁴ Dominância relativa; ⁵ Frequência relativa; ⁶ Índice de valor de importância; ⁷ Índice de valor de cobertura

O índice de Shannon (H') encontrado foi de 1.9 e o de diversidade de Pielou foi de 0.65, indicando uma baixa diversidade de espécies, quando comparado a levantamentos fitossociológicos realizados na floresta amazônica na região de Carajás e Marabá (Pará), que apresentaram respectivamente índices de diversidade de 3,66 e 3,71 (RIBEIRO, 1999), ou quando comparado a levantamentos realizados nas fitofisionomias sobre Canga em Carajás (PA): Campo Rupestre Aberto (Shannon=3,03 e Pielou=0,77), Campo Rupestre Arbustivo (Shannon=2,37 e Pielou=0,78), Capão Florestal (Shannon=3,13 e Pielou=0,84) e Mata de Encosta (Shannon=3,47 e Pielou 0,87) (NUNES, 2009). Esta baixa diversidade é efeito provavelmente das condições adversas do substrato, além do pouco tempo de recuperação da área.

3.1.2 SEGUNDA ÁREA DE ESTUDO (OFICINA)

Na área de estudo Oficina, a vegetação formada é composta na sua maioria por indivíduos de *Mimosa setosa* com hábito arbustivo pertencentes às formações de campo rupestre. Grande parte destes indivíduos de *Mimosa setosa* (Fabaceae) estão sofrendo processos de queda e rachadura no ramo principal de formação, mas não se têm explicações conclusivas de quais seriam as causas. Porém, associamos o tombamento à ação dos ventos e/ou à instabilidade do talude, visto que notamos fissuras e movimentação de massa. Estas alterações que a espécie *Mimosa acustitipula* (Fabaceae) (espécie dominante) está sofrendo irão influenciar a sucessão vegetal, que é determinada principalmente pelas condições abióticas do local, o pool de espécies e pela competição interespecífica (PRACH *et al.*, 2001).

Entretanto, além da alta abundância de indivíduos de *Mimosa setosa* o levantamento florístico revelou um total de 240 indivíduos, dentre 27 espécies (Tabela 7) distribuídas em nove famílias (Tabela 8).

Tabela 7. Florística e fitossociologia das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominada de Oficina, em maio de 2010, Carajás-PA.

| Espécies | Nº.Ind ¹ | Dens.Re ² | Dom.Rel ³ | Freq.Re ⁴ | IVI ⁵ | IVC ⁶ |
|--|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| <i>Cecropia distaquia</i> Huber. | 7 | 12.73 | 17.82 | 10.71 | 41.27 | 30.55 |
| <i>Cecropia ficifolia</i> C.C. Berg. | 7 | 12.73 | 14.21 | 7.14 | 34.08 | 26.94 |
| <i>Spondias mombin</i> L. | 5 | 9.09 | 15.01 | 7.14 | 31.25 | 24.10 |
| <i>Cytharexylum myriantrum</i> Chamiaó | 7 | 12.73 | 11.89 | 3.57 | 28.19 | 24.62 |
| <i>Schizolobium amazonicum</i> Ducke | 1 | 1.82 | 13.96 | 3.57 | 19.35 | 15.78 |
| <i>Gazuma umifolia</i> Lam | 2 | 3.64 | 8.87 | 3.57 | 16.08 | 12.51 |
| <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) Macbr. | 3 | 5.45 | 6.89 | 3.57 | 15.92 | 12.35 |
| <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Mart. | 3 | 5.45 | 2.22 | 7.14 | 14.82 | 7.68 |
| <i>Inga cylindrica</i> (Vell.) Mart. | 3 | 5.45 | 1.32 | 7.14 | 13.92 | 6.77 |
| <i>Inga sinamomia</i> cf. | 2 | 3.64 | 0.90 | 7.14 | 11.68 | 4.53 |
| <i>Cenostigma tocaninum</i> Ducke | 2 | 3.64 | 0.79 | 7.14 | 11.57 | 4.43 |
| <i>Bauhinia</i> sp1 | 3 | 5.45 | 0.99 | 3.57 | 10.02 | 6.45 |

| | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|
| <i>Cecropia purpurascens</i> C.C.Berg | 2 | 3.64 | 1.21 | 3.57 | 8.42 | 4.85 |
| <i>Bauhinia</i> sp. | 2 | 3.64 | 0.64 | 3.57 | 7.85 | 4.28 |
| <i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) | 1 | 1.82 | 1.02 | 3.57 | 6.41 | 2.84 |
| <i>Bauhinia unguolata</i> L. | 1 | 1.82 | 0.80 | 3.57 | 6.19 | 2.62 |
| <i>Mabea fistula</i> cf | 1 | 1.82 | 0.61 | 3.57 | 6.00 | 2.42 |
| <i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) A. Robyns | 1 | 1.82 | 0.39 | 3.57 | 5.78 | 2.21 |
| <i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd. | 1 | 1.82 | 0.26 | 3.57 | 5.65 | 2.07 |
| <i>Handroanthusertifolius</i> cf | 1 | 1.82 | 0.18 | 3.57 | 5.57 | 2.00 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Densidade relativa; ³ Dominância relativa; ⁴ Frequência relativa; ⁵ Índice de valor de importância; ⁶ Índice de valor de cobertura

Tabela 8. Florística e fitossociologia das espécies arbustivas encontradas área de estudo denominada de Oficina, em maio de 2010, Carajás-PA.

| Espécies | Nº.Ind ¹ | Dens.Re ² | Dom.Rel ³ | Freq.Re ⁴ | IVI ⁵ | IVC ⁶ |
|--|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| <i>Mimosa setosa</i> Benth | 84 | 45.41 | 52.48 | 20.00 | 117.89 | 97.89 |
| <i>Solanum crinitum</i> Lam | 57 | 30.81 | 35.82 | 20.00 | 86.63 | 66.63 |
| <i>Mimosa acustitipula</i> (Mart.) Benth. | 22 | 11.89 | 5.46 | 20.00 | 37.36 | 17.36 |
| <i>Solanum</i> sp1. | 18 | 9.73 | 5.56 | 20.00 | 35.29 | 15.29 |
| <i>Solanum rugosum</i> Dunal | 2 | 1.08 | 0.30 | 6.67 | 8.04 | 1.38 |
| <i>Mimosa sensitiva</i> L. | 1 | 0.54 | 0.24 | 6.67 | 7.45 | 0.78 |
| <i>Solanum</i> sp2. | 1 | 0.54 | 0.14 | 6.67 | 7.35 | 0.68 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Densidade relativa; ³ Dominância relativa; ⁴ Frequência relativa; ⁵ Índice de valor de importância; ⁶ Índice de valor de cobertura

De toda a riqueza encontrada através do levantamento florístico para a área de estudo, cerca de sete espécies pertencentes aos gêneros *Cecropia*, *Mimosa*, *Mabea* e *Solanum* são oriundas do coquetel de sementes utilizados no processo de revegetação.

Estas espécies (*Cecropia* sp., *Bauhinia* sp., *Mimosa* sp., *Mabea fistula*, *Mimosa acustitipula*, *Mimosa setosa* e *Solanum* sp.) que foram utilizadas na recomposição do talude e permaneceram na comunidade vegetal são caracterizadas como pioneiras por apresentarem uma alta produção de sementes de fácil dispersão (ROGRIGUES & GANDOLFI, 1996). As demais espécies componentes do coquetel utilizado na revegetação dos taludes saíram do sistema como a crotalária, pois são espécies de ciclo curto que desempenham o papel de incorporar biomassa ao sistema, favorecendo a entrada e o desenvolvimento de novas espécies (MIRANDA *et al.*, 1995).

O levantamento florístico revelou que as espécies *Mimosa setosa* (Fabaceae), *Solanum crinitum* (Solanaceae), *Mimosa acustitipula* (Fabaceae), *Solanum* sp1 (Solanaceae), *Cecropia distaquia* (Urticaceae) foram as cinco espécies mais abundantes, representando respectivamente 35%, 23,7%, 9,1%, 7,5% e 2,9% da abundância total.

As espécies arbóreas que apresentaram os maiores valores de IVI e IVC foram *Cecropia distaquia*, *Cecropia ficifolia* e *Spondias mombin*. Estes resultados estão amparados

no maior incremento em diâmetro e altura apresentado pelas espécies, quando comparadas com as demais espécies presentes na área. O desenvolvimento destas espécies é de fácil percepção, visto que estão dominando o dossel da comunidade formada.

As espécies arbustivas que apresentaram os maiores valores de IVI e IVC foram respectivamente *Mimosa setosa*, *Solanum crinitum*, *Mimosa acustitipula*. Índices que estão amparados pela alta abundância e incremento em DAS (diâmetro a altura do solo). As espécies *Mimosa setosa* e *Mimosa acustitipula* possuem a capacidade de realizar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, facilitando o seu desenvolvimento em áreas de baixa fertilidade (GONÇALVES *et al.*, 2007; UCHÔAS *et al.*, 2007). Esta capacidade associativa é extremamente importante no desenvolvimento destas espécies em seu ambiente natural, pois estas ocorrem sobre substrato de canga hematítica (AB' SABER, 1986), que se caracteriza pela baixa fertilidade.

Já a espécie *Solanum crinitum* apesar de não realizar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, teve altos valores de IVI e IVC, sendo justificado pela adaptabilidade às características da área de estudo, que por algum aspecto climático, físico e/ou químico se assemelha às características da sua área de ocorrência natural, sobre a canga hematítica (NUNES, 2009).

As famílias Fabaceae, com 126 indivíduos e 13 espécies, Solanaceae, com 78 indivíduos e 4 espécies e a família Urticaceae, com 16 indivíduos e 3 espécies, foram as mais representativas em abundância e riqueza de espécies arbóreas e arbustivas (Tabela 9 e Tabela 10). Estes resultados são corroborados por diversos autores, já que a família Fabaceae é a terceira maior família com flores dentre as famílias botânicas (LEWIS, 1987) e apresentam um grande número de espécies capazes de realizar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio. As famílias Solanaceae e Urticaceae apresentaram tais resultados, pois detêm espécies especializadas na colonização de áreas em processo inicial de revegetação, são espécies caracterizadas com pioneiras (ROGRIGUES & GANDOLFI, 1996).

Tabela 9. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominado de Oficina, Carajás-PA.

| Família | Nº.Ind ¹ | Nº.Spp ² | Dens.Re ³ | Dom.Rel ⁴ | Freq.Re ⁵ | IVI ⁶ | IVC ⁷ |
|---------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Urticaceae | 16 | 3 | 29.09 | 33.25 | 23.08 | 85.42 | 62.34 |
| Fabaceae | 19 | 10 | 34.55 | 27.58 | 23.08 | 85.20 | 62.12 |
| Anacardiaceae | 5 | 1 | 9.09 | 15.01 | 15.38 | 39.49 | 24.10 |
| Malvaceae | 6 | 3 | 10.91 | 11.48 | 15.38 | 37.78 | 22.39 |
| Verbenaceae | 7 | 1 | 12.73 | 11.89 | 7.69 | 32.31 | 24.62 |
| Euphorbiaceae | 1 | 1 | 1.82 | 0.61 | 7.69 | 10.12 | 2.42 |
| Bignoniaceae | 1 | 1 | 1.82 | 0.18 | 7.69 | 9.69 | 2.00 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Número de espécies por família; ³ Densidade relativa; ⁴ Dominância relativa; ⁵ Frequência relativa; ⁶ Índice de valor de importância; ⁷ Índice de valor de cobertura

Tabela 10. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbustivas encontradas na área de estudo denominado de Oficina, Carajás-PA.

| Família | Nº.Ind ¹ | Nº.Spp ² | Dens.Re ³ | Dom.Rel ⁴ | Freq.Re ⁵ | IVI ⁶ | IVC ⁷ |
|------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Fabaceae | 107 | 3 | 57.84 | 58.19 | 50.00 | 166.02 | 116.02 |
| Solanaceae | 78 | 4 | 42.16 | 41.81 | 50.00 | 133.98 | 83.98 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Número de espécies por família; ³ Densidade relativa; ⁴ Dominância relativa; ⁵ Frequência relativa; ⁶ Índice de valor de importância; ⁷ Índice de valor de cobertura

O índice de Shannon (H') encontrado foi igual a 2,17 e o índice de equabilidade ($J = H'/\ln(S)$) foi igual a 0,66. Índices os quais são semelhantes aos encontrados na área de estudo denominada de CCI, que denotou uma baixa diversidade quando comparadas as áreas (fitofisionomias) com vegetação nativa em Carajás-PA (RIBEIRO, 1999; NUNES, 2009).

3.1.3 TERCEIRA ÁREA DE ESTUDO (HOPPE)

Os resultados florísticos revelaram um total de 392 indivíduos dentre 27 espécies (Tabela 11) distribuídos entre 14 famílias (Tabela 12). A riqueza de espécies apresentada nesta área de estudo foi resultado direto da qualidade do substrato utilizado na recomposição superficial do talude. O substrato (camada orgânica) apresentou um rico espectro biológico, químico e físico, com um banco de sementes em potencial de desenvolvimento, auxiliando no recobrimento do solo e restauração do sistema (ROKICH *et al.* 2000).

A diversidade apresentada na área Hoppe, visualmente difere das demais áreas de estudos, sendo uma vegetação com o estrato superior denso e com uma coloração verde mais intensa. A vegetação presente na área Hoppe têm características semelhantes à vegetação formada em áreas adjacentes à área da mina, onde foi suprimida a vegetação arbórea (floresta ombrófila).

A vegetação formada a partir do banco de sementes contida no *top soil* utilizado no reflorestamento da área Hoppe, têm uma riqueza florística composta por cerca de 30 % de espécies de caráter arbustivo e herbáceo pertencentes à família Solanaceae, corroborando com trabalhos que citam a elevada dominância de espécies herbáceas no banco de florestas tropicais (GARWOOD, 1989; BAIDER *et al.*, 2001; ALVAREZ-AQUINO *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2006). Esta vegetação certamente irá ser substituída, pois as mudanças na vegetação durante a sucessão são cruciais para o desenvolvimento sucessional de outros organismos, incluindo a biota do solo (KAUFMANN, 2001; PIZL, 2001). Tal fato foi observado por Gisler (1995) que constatou a substituição das espécies anuais de forma de vida herbácea por arbustivas e depois lenhosas perenes, atingindo ao final de 2 anos uma riqueza de 63 espécies, considerando todas as formas de vida da comunidade vegetal.

Tabela 11. Florística e fitossociologia das espécies arbóreas encontradas área de estudo denominada de Hoppe, em maio de 2010, Carajás-PA.

| Espécies | Nº.Ind ¹ | Dens.Re ² | Dom.Rel ³ | Freq.Re ⁴ | IVI ⁵ | IVC ⁶ |
|--|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| <i>Cecropia ficifolia</i> C.C. Berg. | 133 | 49.26 | 65.05 | 7.14 | 121.46 | 114.31 |
| <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume | 26 | 9.63 | 5.83 | 7.14 | 22.60 | 15.46 |
| <i>Cecropia purpurascens</i> C.C. Berg. | 28 | 10.37 | 7.32 | 4.76 | 22.45 | 17.69 |
| <i>Lantana camara</i> L. | 9 | 3.33 | 11.18 | 7.14 | 21.66 | 14.51 |
| <i>Aparisthimum cordatum</i> (Juss.) Baill. | 13 | 4.81 | 0.90 | 7.14 | 12.85 | 5.71 |
| <i>Vismia latifolia</i> (Aubl.) Choisy | 12 | 4.44 | 0.65 | 7.14 | 12.24 | 5.10 |
| <i>Vismia sandwithii</i> Ewan | 5 | 1.85 | 0.27 | 7.14 | 9.26 | 2.12 |
| <i>Senna latifolia</i> (G.F.W.Meyer) H.S.Irwin & Barneby | 3 | 1.11 | 0.62 | 7.14 | 8.87 | 1.73 |

| | | | | | | |
|---|----|------|------|------|------|------|
| <i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax | 3 | 1.11 | 0.38 | 7.14 | 8.63 | 1.49 |
| <i>Rufa glandulosa</i> cf | 10 | 3.70 | 1.96 | 2.38 | 8.04 | 5.66 |
| <i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl. | 8 | 2.96 | 1.18 | 2.38 | 6.53 | 4.14 |
| <i>Rauwolfia paraense</i> Ducke | 2 | 0.74 | 0.61 | 4.76 | 6.12 | 1.35 |
| <i>Rollinia insignis</i> R.E.Fr. | 3 | 1.11 | 0.20 | 4.76 | 6.07 | 1.31 |
| <i>Acassia magjium</i> Willd. | 1 | 0.37 | 2.24 | 2.38 | 4.99 | 2.61 |
| <i>Croton cajucara</i> Benth. | 4 | 1.48 | 0.26 | 2.38 | 4.13 | 1.75 |
| <i>Cecropia obtusa</i> Trécul | 2 | 0.74 | 0.44 | 2.38 | 3.56 | 1.18 |
| <i>Byrsonima spicata</i> Nied. | 2 | 0.74 | 0.11 | 2.38 | 3.23 | 0.85 |
| <i>Stryphnodendron obovatum</i> Benth. | 1 | 0.37 | 0.35 | 2.38 | 3.10 | 0.72 |
| <i>Psidium guajava</i> L. | 1 | 0.37 | 0.15 | 2.38 | 2.90 | 0.52 |
| <i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam. | 1 | 0.37 | 0.14 | 2.38 | 2.89 | 0.51 |
| <i>Bellucia grossularioides</i> (Linnaeus) Triana | 1 | 0.37 | 0.07 | 2.38 | 2.82 | 0.44 |
| <i>Cecropia distaquia</i> Huber | 1 | 0.37 | 0.07 | 2.38 | 2.82 | 0.44 |
| <i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers. | 1 | 0.37 | 0.03 | 2.38 | 2.78 | 0.40 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Densidade relativa; ³ Dominância relativa; ⁴ Frequência relativa; ⁵ Índice de valor de importância; ⁶ Índice de valor de cobertura

Tabela 12. Florística e fitossociologia das espécies arbustivas encontradas área de estudo denominada de Hoppe, em maio de 2010, Carajás-PA.

| Espécies | Nº.Ind ¹ | Dens.Re ² | Dom.Rel ³ | Freq.Re ⁴ | IVI ⁵ | IVC ⁶ |
|------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| <i>Solanum rugosum</i> Dunal | 99 | 81.15 | 76.93 | 37.50 | 195.58 | 158.08 |
| <i>Solanum crinitum</i> Lam | 21 | 17.21 | 21.68 | 37.50 | 76.39 | 38.89 |
| <i>Solanum</i> sp4 | 1 | 0.82 | 1.08 | 12.50 | 14.40 | 1.90 |
| <i>Solanum</i> sp1 | 1 | 0.82 | 0.31 | 12.50 | 13.63 | 1.13 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Densidade relativa; ³ Dominância relativa; ⁴ Frequência relativa; ⁵ Índice de valor de importância; ⁶ Índice de valor de cobertura

A espécie *Cecropia ficifolia* (Urticaceae) apresentou uma abundância de 133 indivíduos, seguida pela espécie *Cecropia purpurascens* que apresentou uma abundância de 28 indivíduos. Estas duas espécies apresentaram as maiores abundâncias e foram responsáveis pelos maiores IVI e IVC. A espécie *Trema micrantha* foi a terceira espécie mais abundante, confirmando estudos que apontam comumente a sua presença no banco de sementes de florestas tropicais (BAIDER *et al.*, 2001; ALVAREZ-AQUINO *et al.*, 2005) e de áreas restauradas (SORREANO, 2002).

Em concordância com os resultados obtidos para as espécies arbóreas, as famílias mais representativas e com maiores índices de IVI e IVC foram Urticaceae, Ulmaceae, Verbenaceae, Euphorbiaceae e Clusiaceae (Tabela 13 e Tabela 14).

Tabela 13. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominado de Hoppe, Carajás-PA.

| Família | Nº.Ind ¹ | Nº.Spp ² | Dens.Re ³ | Dom.Rel ⁴ | Freq.Re ⁵ | IVI ⁶ | IVC ⁷ |
|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Urticaceae | 164 | 4 | 72.88 | 11.11 | 60.74 | 144.73 | 133.62 |
| Ulmaceae | 26 | 1 | 5.83 | 11.11 | 9.63 | 26.57 | 15.46 |
| Verbenaceae | 9 | 1 | 11.18 | 11.11 | 3.33 | 25.63 | 14.51 |
| Euphorbiaceae | 20 | 3 | 1.54 | 11.11 | 7.41 | 20.05 | 8.94 |
| Clusiaceae | 18 | 3 | 0.95 | 11.11 | 6.67 | 18.73 | 7.62 |
| Fabaceae | 5 | 3 | 3.20 | 11.11 | 1.85 | 16.17 | 5.06 |
| Rhamnaceae | 10 | 1 | 1.96 | 3.70 | 3.70 | 9.36 | 5.66 |
| Apocynaceae | 2 | 1 | 0.61 | 7.41 | 0.74 | 8.76 | 1.35 |
| Annonaceae | 3 | 1 | 0.20 | 7.41 | 1.11 | 8.72 | 1.31 |
| Rutaceae | 9 | 2 | 1.32 | 3.70 | 3.33 | 8.36 | 4.65 |
| Malpighiaceae | 2 | 1 | 0.11 | 3.70 | 0.74 | 4.55 | 0.85 |
| Myrtaceae | 1 | 1 | 0.15 | 3.70 | 0.37 | 4.22 | 0.52 |
| Melastomataceae | 1 | 1 | 0.07 | 3.70 | 0.37 | 4.15 | 0.44 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Número de espécies por família; ³ Densidade relativa; ⁴ Dominância relativa; ⁵ Frequência relativa; ⁶ Índice de valor de importância; ⁷ Índice de valor de cobertura

Tabela 14. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbustivas encontradas na área de estudo denominado de Hoppe, Carajás-PA.

| Família | Nº.Ind ¹ | Nº.Spp ² | Dens.Re ³ | Dom.Rel ⁴ | Freq.Re ⁵ | IVI ⁶ | IVC ⁷ |
|------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Solanaceae | 122 | 4 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 300.00 | 200.00 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Número de espécies por família; ³ Densidade relativa; ⁴ Dominância relativa; ⁵ Frequência relativa; ⁶ Índice de valor de importância; ⁷ Índice de valor de cobertura

O levantamento constatou a presença de um indivíduo de *Acacia mangium* (Fabaceae), que certamente é originário da dispersão de populações vizinhas à área de estudo, visto que esta espécie foi utilizada por certo tempo em programas de recuperação de áreas mineradas.

Os indivíduos arbustivos encontrados pertencem unicamente a família Solanaceae e ao gênero Solanum. Estas espécies arbustivas são responsáveis pela colonização inicial e cobertura, influenciando na estabilização do solo em medidas de recuperação de áreas de encostas (GONÇALVES *et al.*, 2003).

O índice de Shannon (H') encontrado foi de 2,15 e o índice de equabilidade ($J = H'/\ln(S)$) foi de 0,65, compatível com índices encontrados em projetos de revegetação de áreas degradadas.

Contudo, apesar dos índices de diversidade e equabilidade terem se mostrado baixos quando comparados com áreas com vegetação natural, a comunidade vegetal foi formada a partir do *top soil* utilizado como substrato na recomposição do talude com inclinação, mostrando a potencialidade desta técnica para áreas inclinadas, contrariando assim estudos que restringiram o uso da técnica a áreas planas (DAY & LUDEKE, 1986; OZÓRIO, 2000; MOREIRA, 2004).

3.1.4 QUARTA ÁREA DE ESTUDO (MATA)

O levantamento florístico revelou um total de 249 indivíduos distribuídos em 77 espécies (Tabela 15) e 29 famílias (Tabela 16). As famílias Fabaceae e Rutaceae foram as mais representativas com os maiores valores de IVI e IVC respectivamente.

A área de Mata (área controle) se caracteriza como uma floresta madura, estágio avançado de sucessão (estágio clímax), não apresentando dominância de uma única espécie. A influência da riqueza de espécies favoreceu o alto índice de equabilidade (índice Pielou igual a 0,88), pois não existe nenhuma espécie individualmente dominante (KIRWAN *et al.*, 2007).

Todas as análises fitossociológicas realizadas abordaram indivíduos arbóreos, pois não foi coletado e identificado nenhum indivíduo arbustivo.

O índice de Shannon (H') encontrado foi de 3,84 e o índice de equabilidade ($J = H'/\ln(S)$) foi de 0,88, corroborando com Ribeiro (1999) que encontrou uma diversidade de Shannon igual a 3,7 através do levantamento fitossociológico realizado em formações florestais arbóreas ocorrentes em Carajás-PA.

Tabela 15. Florística e fitossociologia das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominada de Mata, em maio de 2010, Carajás-PA.

| Espécies | Nº.Ind ¹ | Dens.Re ² | Dom.Rel ³ | Freq.Re ⁴ | IVI ⁵ | IVC ⁶ |
|---------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| <i>Neea oppositifolia</i> Ruiz & Pav. | 8 | 3.21 | 16.79 | 2.54 | 22.54 | 20.00 |
| <i>Protium paniculatum</i> Engl. | 3 | 1.20 | 15.64 | 1.69 | 18.54 | 16.85 |
| <i>Pouteria</i> sp. | 7 | 2.81 | 12.17 | 2.54 | 17.52 | 14.98 |
| <i>Cenostigma tocaninum</i> Ducke | 1 | 0.40 | 15.12 | 0.85 | 16.37 | 15.52 |
| <i>Metrodorea flavida</i> K.Krause | 12 | 4.82 | 8.47 | 2.54 | 15.83 | 13.29 |
| <i>indet. 4</i> | 18 | 7.23 | 0.74 | 2.54 | 10.51 | 7.97 |
| <i>Apeiba echinata</i> Gaertn. | 1 | 0.40 | 8.92 | 0.85 | 10.17 | 9.33 |
| <i>Pilocarpus grandis</i> cf. | 18 | 7.23 | 0.36 | 2.54 | 10.13 | 7.59 |
| <i>Inga</i> sp1 | 12 | 4.82 | 1.22 | 2.54 | 8.58 | 6.04 |
| <i>Guatteria</i> sp Cf | 13 | 5.22 | 0.19 | 2.54 | 7.95 | 5.41 |
| <i>Esembeckia grandiflora</i> Mart. | 13 | 5.22 | 1.62 | 0.85 | 7.68 | 6.84 |
| <i>Tabernaemontana angulata</i> Mart. | 12 | 4.82 | 0.25 | 2.54 | 7.61 | 5.07 |
| <i>Matayba arborescens</i> Radlk. | 5 | 2.01 | 1.16 | 2.54 | 5.71 | 3.17 |
| <i>Palicourea</i> sp1 | 7 | 2.81 | 0.18 | 2.54 | 5.53 | 2.99 |
| <i>Theobroma speciosum</i> Willd. | 6 | 2.41 | 1.42 | 1.69 | 5.53 | 3.83 |
| <i>Ocotea caudata</i> (Nees) Mez | 5 | 2.01 | 0.65 | 2.54 | 5.20 | 2.66 |
| <i>indet. 1</i> | 3 | 1.20 | 2.13 | 1.69 | 5.03 | 3.34 |
| <i>Leonia glycyarpa</i> Ruiz & Pav. | 2 | 0.80 | 2.48 | 1.69 | 4.98 | 3.29 |
| <i>Protium decandrum</i> March. | 5 | 2.01 | 0.24 | 2.54 | 4.80 | 2.25 |

| | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|
| <i>Piptadenia sp.</i> | 4 | 1.61 | 0.33 | 2.54 | 4.48 | 1.93 |
| <i>Inga rubiginosa</i> (Rich.) DC. | 4 | 1.61 | 0.13 | 2.54 | 4.28 | 1.73 |
| <i>Neoraputia paraensis</i> (Ducke) Emmerich | 5 | 2.01 | 0.50 | 1.69 | 4.20 | 2.51 |
| <i>Lecythis lúrida</i> (Miers) S.A. Mori | 2 | 0.80 | 1.46 | 1.69 | 3.96 | 2.27 |
| <i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) Berg. | 4 | 1.61 | 0.64 | 1.69 | 3.94 | 2.25 |
| <i>Aparisthium cordatum</i> (Juss.) Baill. | 3 | 1.20 | 1.61 | 0.85 | 3.67 | 2.82 |
| <i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão | 4 | 1.61 | 0.16 | 1.69 | 3.46 | 1.76 |
| <i>Eugenia sp2.</i> | 3 | 1.20 | 0.03 | 1.69 | 2.93 | 1.24 |
| <i>Cupania scrobiculata</i> H.B. & K. | 5 | 2.01 | 0.05 | 0.85 | 2.91 | 2.06 |
| <i>Virola michelii</i> Heckel | 2 | 0.80 | 0.17 | 1.69 | 2.67 | 0.98 |
| <i>Casearia grandiflora</i> Cambess. | 2 | 0.80 | 0.17 | 1.69 | 2.67 | 0.98 |
| <i>Inga sp2</i> | 2 | 0.80 | 0.11 | 1.69 | 2.61 | 0.91 |
| <i>Miconia longifolia</i> (Aubl.) DC. | 2 | 0.80 | 0.10 | 1.69 | 2.60 | 0.90 |
| <i>Memora sp. Cf.</i> | 4 | 1.61 | 0.02 | 0.85 | 2.48 | 1.63 |
| <i>Inga edulis</i> Mart. | 1 | 0.40 | 0.93 | 0.85 | 2.18 | 1.33 |
| <i>Palicourea sp.</i> | 3 | 1.20 | 0.02 | 0.85 | 2.07 | 1.22 |
| <i>Duguetia megalocarpa</i> Maas | 1 | 0.40 | 0.78 | 0.85 | 2.03 | 1.18 |
| <i>Myrcia floribunda</i> Miq. | 2 | 0.80 | 0.22 | 0.85 | 1.87 | 1.02 |
| <i>Maquira guianensis</i> Aubl. | 2 | 0.80 | 0.11 | 0.85 | 1.76 | 0.92 |
| <i>Couepia sp</i> | 2 | 0.80 | 0.08 | 0.85 | 1.73 | 0.88 |
| <i>Eugenia sp3.</i> | 2 | 0.80 | 0.05 | 0.85 | 1.70 | 0.86 |
| <i>Euterpe precatória</i> Mart. | 2 | 0.80 | 0.05 | 0.85 | 1.70 | 0.85 |
| <i>Ocotea nigrescens</i> A.Vicentini | 2 | 0.80 | 0.01 | 0.85 | 1.66 | 0.82 |
| <i>Trema micrantha</i> (L.) | 1 | 0.40 | 0.39 | 0.85 | 1.64 | 0.79 |
| <i>Ormosia sp. Cf</i> | 1 | 0.40 | 0.27 | 0.85 | 1.52 | 0.67 |
| <i>Lacistema sp</i> | 1 | 0.40 | 0.26 | 0.85 | 1.51 | 0.66 |
| <i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H.Wendl. | 1 | 0.40 | 0.24 | 0.85 | 1.49 | 0.64 |
| <i>Onychopetalum</i> | 1 | 0.40 | 0.15 | 0.85 | 1.40 | 0.55 |
| <i>Eugenia sp1.</i> | 1 | 0.40 | 0.14 | 0.85 | 1.39 | 0.54 |
| <i>Licania sp</i> | 1 | 0.40 | 0.12 | 0.85 | 1.37 | 0.53 |
| <i>indet. 3</i> | 1 | 0.40 | 0.10 | 0.85 | 1.35 | 0.50 |
| <i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec. | 1 | 0.40 | 0.10 | 0.85 | 1.34 | 0.50 |

| | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|
| <i>Trichilia schomburgkii</i> C.DC. | 1 | 0.40 | 0.09 | 0.85 | 1.34 | 0.49 |
| <i>Neea ovalifolia</i> Spruce | 1 | 0.40 | 0.08 | 0.85 | 1.33 | 0.48 |
| <i>Lecythis pisonis</i> Cambess. | 1 | 0.40 | 0.07 | 0.85 | 1.32 | 0.48 |
| <i>Eugenia sp</i> | 1 | 0.40 | 0.06 | 0.85 | 1.31 | 0.46 |
| <i>Anacardium giganteum</i> Engl. | 1 | 0.40 | 0.06 | 0.85 | 1.31 | 0.46 |
| <i>Ocotea minor</i> Vicentini | 1 | 0.40 | 0.04 | 0.85 | 1.29 | 0.45 |
| <i>Guatteria poeppigiana</i> Mart. | 1 | 0.40 | 0.04 | 0.85 | 1.29 | 0.44 |
| <i>Inga sp.</i> | 1 | 0.40 | 0.03 | 0.85 | 1.28 | 0.44 |
| <i>Cordia bicolor</i> A.DC. | 1 | 0.40 | 0.03 | 0.85 | 1.28 | 0.44 |
| <i>Casearia javitensis</i> Kunth | 1 | 0.40 | 0.03 | 0.85 | 1.28 | 0.44 |
| <i>Alibertia sp</i> | 1 | 0.40 | 0.03 | 0.85 | 1.28 | 0.43 |
| <i>Myrcia sp1</i> | 1 | 0.40 | 0.03 | 0.85 | 1.28 | 0.43 |
| <i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth | 1 | 0.40 | 0.02 | 0.85 | 1.27 | 0.43 |
| <i>Talisia sp</i> | 1 | 0.40 | 0.02 | 0.85 | 1.27 | 0.43 |
| <i>Patinoia paraense cf</i> | 1 | 0.40 | 0.02 | 0.85 | 1.26 | 0.42 |
| <i>Aniba guianensis</i> Aubl. | 1 | 0.40 | 0.01 | 0.85 | 1.26 | 0.42 |
| <i>Guarea sp</i> | 1 | 0.40 | 0.01 | 0.85 | 1.26 | 0.41 |
| <i>Pouteria sp2</i> | 1 | 0.40 | 0.01 | 0.85 | 1.26 | 0.41 |
| <i>Mouriri sp</i> | 1 | 0.40 | 0.01 | 0.85 | 1.26 | 0.41 |
| <i>Pouteria hispida</i> Eyma | 1 | 0.40 | 0.01 | 0.85 | 1.26 | 0.41 |
| <i>Swartzia racemosa</i> Benth | 1 | 0.40 | 0.01 | 0.85 | 1.25 | 0.41 |
| <i>Abarema jupunba</i> (Willd.) Britton & Killip | 1 | 0.40 | 0.01 | 0.85 | 1.25 | 0.41 |
| <i>indet. 2</i> | 1 | 0.40 | 0.00 | 0.85 | 1.25 | 0.40 |
| <i>Pleonotoma jasminifolia</i> Miers | 1 | 0.40 | 0.00 | 0.85 | 1.25 | 0.40 |
| <i>Uescinantheria efussa cf</i> | 1 | 0.40 | 0.00 | 0.85 | 1.25 | 0.40 |
| <i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. & Triana) | 1 | 0.40 | 0.00 | 0.85 | 1.25 | 0.40 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Densidade relativa; ³ Dominância relativa; ⁴ Frequência relativa; ⁵ Índice de valor de importância; ⁶ Índice de valor de cobertura

Tabela 16. Parâmetros fitossociológicos calculados à nível de família das espécies arbóreas encontradas na área de estudo denominado de Mata, Carajás-PA.

| Família | Nº.Ind ¹ | Nº.Spp ² | Dens.Re ³ | Dom.Rel ⁴ | Freq.Re ⁵ | IVI ⁶ | IVC ⁷ |
|---------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Fabaceae | 33 | 12 | 13.25 | 18.31 | 4.76 | 36.32 | 31.56 |
| Rutaceae | 48 | 4 | 19.28 | 10.94 | 4.76 | 34.98 | 30.22 |
| Nyctaginaceae | 9 | 2 | 3.61 | 16.86 | 4.76 | 25.24 | 20.48 |
| Bursaceae | 8 | 2 | 3.21 | 15.89 | 4.76 | 23.86 | 19.10 |

| | | | | | | | |
|------------------|----|---|-------|-------|------|-------|-------|
| Sapotaceae | 9 | 3 | 3.61 | 12.19 | 4.76 | 20.56 | 15.80 |
| Myrtaceae | 28 | 7 | 11.24 | 1.28 | 4.76 | 17.28 | 12.52 |
| Malvaceae | 7 | 2 | 2.81 | 10.35 | 3.17 | 16.33 | 13.16 |
| Annonaceae | 16 | 4 | 6.43 | 1.15 | 4.76 | 12.34 | 7.58 |
| Sapindaceae | 11 | 3 | 4.42 | 1.24 | 4.76 | 10.42 | 5.66 |
| Apocynaceae | 12 | 1 | 4.82 | 0.25 | 4.76 | 9.83 | 5.07 |
| Rubiaceae | 11 | 3 | 4.42 | 0.23 | 4.76 | 9.40 | 4.64 |
| Lecythidaceae | 6 | 3 | 2.41 | 3.67 | 3.17 | 9.25 | 6.08 |
| Lauraceae | 9 | 4 | 3.61 | 0.72 | 4.76 | 9.10 | 4.34 |
| Violaceae | 2 | 1 | 0.80 | 2.48 | 3.17 | 6.46 | 3.29 |
| Moraceae | 6 | 2 | 2.41 | 0.76 | 3.17 | 6.34 | 3.17 |
| Melastomataceae | 3 | 2 | 1.20 | 0.11 | 4.76 | 6.08 | 1.31 |
| Bignoniaceae | 5 | 2 | 2.01 | 0.03 | 3.17 | 5.21 | 2.04 |
| Meliaceae | 3 | 3 | 1.20 | 0.49 | 3.17 | 4.87 | 1.69 |
| Euphorbiaceae | 4 | 2 | 1.61 | 1.63 | 1.59 | 4.82 | 3.24 |
| Flacourtiaceae | 3 | 2 | 1.20 | 0.21 | 3.17 | 4.59 | 1.41 |
| Chrysobalanaceae | 3 | 2 | 1.20 | 0.20 | 3.17 | 4.58 | 1.41 |
| Myristicaceae | 2 | 1 | 0.80 | 0.17 | 3.17 | 4.15 | 0.98 |
| Anarcadiaceae | 2 | 2 | 0.80 | 0.08 | 3.17 | 4.06 | 0.89 |
| Arecaceae | 3 | 2 | 1.20 | 0.29 | 1.59 | 3.08 | 1.49 |
| Verbenaceae | 2 | 2 | 0.80 | 0.10 | 1.59 | 2.49 | 0.91 |
| Lacistemataceae | 1 | 1 | 0.40 | 0.26 | 1.59 | 2.25 | 0.66 |
| Humiriaceae | 1 | 1 | 0.40 | 0.10 | 1.59 | 2.08 | 0.50 |
| Boraginaceae | 1 | 1 | 0.40 | 0.03 | 1.59 | 2.02 | 0.44 |
| Clusiaceae | 1 | 1 | 0.40 | 0.00 | 1.59 | 1.99 | 0.40 |

¹ Número total de indivíduos mensurados; ² Número de espécies por família; ³ Densidade relativa; ⁴ Dominância relativa; ⁵ Frequência relativa; ⁶ Índice de valor de importância; ⁷ Índice de valor de cobertura

3.2 SIMILARIDADE FLORÍSTICA

Os resultados obtidos através do índice de diversidade de Jaccard, comparando-se as áreas revegetadas com a área controle (Mata), foram extremamente baixos (Tabela 17). Os resultados denotam que florísticamente menos de 3% são similares. Este resultado evidencia também uma baixa riqueza nas áreas revegetadas, resultado que não estimula a diversidade funcional do solo (BARTELT-RYSER *et al.*, 2005; LORANGER-MERCIRIS *et al.*, 2006; ZAK *et al.*, 2003).

Tabela 17. Valores de Similaridade de Jaccard (%) entre as áreas revegetadas, Carajás-PA.

| Formações Vegetais | Mata | Oficina | Hoppe |
|--------------------|------|---------|-------|
| Mata | -- | -- | -- |
| Oficina | 1.4 | -- | -- |
| Hoppe | 2.7 | 11.6 | -- |
| CCI | 1.5 | 14.2 | 20 |

Este resultado certamente é influenciado pela estabilidade ecológica apresentada pela área Mata, que detém uma vegetação caracterizada como clímax, enquanto que as áreas revegetadas independentemente da florística estão classificadas dentro do estágio inicial.

A maior correlação ficou evidenciada entre a área Hoppe e CCI com exatamente 20% de correlação, estando o restante das áreas com uma similaridade inferior a 10%.

A baixa similaridade encontrada entre a área Hoppe que utilizou como substrato *top soil* oriundo de área com floresta ombrófila e a área Mata pode ser explicado pelo fato que, o banco de sementes de florestas tropicais possui menor riqueza que a comunidade adulta da floresta madura e apresenta uma baixa similaridade florística com os indivíduos adultos desta comunidade (CAMPOS & SOUZA 2003). O possível estabelecimento de espécies que não estão no banco de sementes que possam favorecer a similaridade florística entre as áreas, irá depender da paisagem local com capacidade de fornecimento de propágulos (HOOPER *et al.*, 2004; RODRIGUES *et al.*, 2006).

3.3 AVALIAÇÃO DO FECHAMENTO DO DOSSEL

Os resultados obtidos através do teste T de Bonferroni a uma probabilidade de 5% (Tabela 18), mostraram uma pequena variação das médias durante os períodos analisados, porém apesar da variação apresentada, a porcentagem de radiação absorvida foi superior a 75% em todas as áreas. Esta porcentagem mínima apresentada indica que as espécies que estão compondo a comunidade vegetal das áreas revegetadas associada às condições de cada sítio, estão se desenvolvendo sustentavelmente.

Tabela 18. Percentual de radiação fotossinteticamente ativa (IRFA) interceptada pelo dossel nas áreas de estudos, em Carajás-PA.

| Áreas de estudo | (% IRFA interceptada) | |
|-----------------|-----------------------|--------------|
| | Período 2010 | Período 2011 |
| CCI | 88.67 b | 89.00 ab |
| Hoppe | 91.00 ab | 86.50 ab |
| Oficina | 87.50 b | 77.33 b |
| Mata | 99.17 a | 93.67 a |
| cv (%) | 5.5 | 7.8 |

Variáveis seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo Teste T Bonferroni a probabilidade a 5%.

Na primeira avaliação, realizada no ano de 2010, os valores de IRFA interceptada foram semelhantes para as áreas Hoppe, Oficina e Mata, sendo o menor percentual observado na área CCI. Os valores registrados para a avaliação de 2011 foram, em geral, um pouco menores, sendo que os valores observados para as áreas CCI, Hoppe e Mata semelhantes, com o menor valor encontrado na área Oficina. A área CCI manteve a média de IRFA dentre os períodos analisados, possivelmente influenciados pela estrutura do dossel da comunidade arbórea que apresenta dominância de espécies com folhas ou folíolos grandes (*Senna silvestre* e *Bauhinia* sp.). Estes resultados podem ser utilizados ao longo do tempo para documentar a variação na estrutura do dossel (RICH *et al.*, 1993).

Observando as porcentagens de radiação interceptada em 2010 e 2011 para a área Oficina encontrou-se um decréscimo no nível de absorção. Este decréscimo possivelmente está relacionado com a arquitetura das espécies dominantes (*Mimosa acustitipula* e *Mimosa*

setosa) que possui pequenos folíolos, fato encontrado por Fernandes (1998) estudando sítios com dominância de *Anadenanthera peregrina* e *Piptadenia gonoacantha*.

A área Hoppe, apesar do menor tempo de revegetação em comparação às áreas revegetadas CCI e Oficina, apresentou índices de absorção de RFA semelhante ou superior às mesmas. Este fato pode estar relacionado com a composição florística que apresenta espécies de folhas largas, conseqüentemente um alto índice de área foliar, relação descrita por Pezzopane (2001) de que a transmissividade do dossel de uma floresta está intimamente ligada ao IAF (índice de área foliar), uma vez que este determina a massa vegetal que irá interceptar, absorvendo ou refletindo a radiação solar incidente.

A área de Mata apresentou os resultados esperados, devido à estabilidade da vegetação presente, segundo Pezzopane (2001), que relata que a radiação solar que passa através do dossel da floresta é reduzida à medida que aumenta a densidade do dossel.

Estes resultados indicam uma elevada eficiência para este atributo na aferição do recobrimento da vegetação, o que é uma importante etapa do processo de recuperação, pois partindo-se do pressuposto que o fechamento do dossel contribui para o menor impacto das chuvas sobre o solo, diminuindo os processos erosivos, contribuindo efetivamente para o aumento da umidade do solo, formando assim um microclima (CABRAL, 1996) favorável a outros organismos que auxiliam na ciclagem de nutrientes e na instauração dos processos de sucessão florestal.

4. CONCLUSÃO

- A técnica de revegetação utilizando o coquetel de sementes forrageiras aliada a semeadura de espécies nativas mostrou-se eficiente para a instauração da cobertura florestal, já a partir de 3 anos de implantação (Oficina).
- A utilização de coquetel de sementes de espécies forrageiras e nativas atua como facilitadora do processo sucessional, observado a partir de 6 anos de implantação (CCI).
- O aumento na dose de sementes e adubos utilizados na área Oficina promoveu um aumento no número de espécies estabelecidas.
- A aplicação de *top soil* mostrou-se uma excelente alternativa de recuperação, pois em tempo menor, apresentou resultados comparáveis em diversidade e cobertura vegetal em relação às outras áreas revegetadas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB' SABER, A.N. **Geomorfologia da região**. IN: ALMEIDA JR. (Org). Carajás: Desafio político, ecologia e desenvolvimento. São Paulo: Brasiliense; Brasília: CNPQ, 88-124, 1986.
- ALVAREZ-AQUINO, C.; WILLIAMS-LINERA, G.; NEWTON, A.C. Disturbance effects on the seed bank of Mexican Cloud Forest Fragments. **Biotropica**, v. 37, n. 3, p. 337-342, 2005.
- ANDRE'S P. & MATEOS E. Soil mesofaunal responses to post-mining restoration treatments. **Applied Soil Ecology**, v. 33, p. 67-78, 2006.
- ANTONINI, R. D.; NUNES-FREITAS A. F. Estrutura populacional e distribuição espacial de *Miconia prasina* D.C. (Melastomataceae) em duas áreas de Floresta Atlântica na Ilha Grande, RJ, Sudeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, V. 18, n. 3, p. 671-676, 2004.
- BAIDER, C.; TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. The soil seed bank during Atlantic Forest regeneration in Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, n. 1, p. 35-44, 2001.
- BARTELT-RYSER J.; JOSHI J.; SCHMID B.; BRANDL H.; BALSER T. Soil feedbacks of plant diversity on soil microbial communities and subsequent plant growth. **Perspect Plant Ecology Evolution Systematics**, v. 7, p.27-49, 2005.
- BAUMGRATZ, J. F. A.; SOUZA, M. L. D. R.; CARRAÇA, D. C.; ABBAS, B. A. Melastomataceae na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, Rio de Janeiro, Brasil: aspectos florísticos e taxonômicos. **Rodriguésia**, v. 57, n. 3, p. 591-646, 2006.
- BAUMGRATZ, J. F. A.; SOUZA, M. L. D. R.; TAVARES, R. A. M. Melastomataceae na Reserva Ecológica de Macaé de Cima, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil. I - Tribos Bertolonieae, Merianieae e Microlicieae. **Rodriguésia**, V. 58, n. 4, p. 797-822, 2007.
- CABRAL, O.M.R., McWILLIAN, A.L.C., ROBERTS, J.M. **In-canopy microclimate of Amazonian forest and estimates of transpiration**. In: Gash, J.H.C *et al.*, Amazonian deforestation and climate. New York: John Wiley e Sons, 207-220 p., 1996.
- CAMPOS, J.B. & SOUZA, M.C. Potencial for natural forest regeneration from seed bank in an Upper Paraná River Floodplain, Brazil. **Brasilian Archives of Biology and Technology** , v.46, n. 4, p. 625-639, 2003.
- COSTA, L. C.; MORISON, J. I. L.; DENNETT, M. D. Carbon balance of growing faba bean and its effect on crop growth: experimental and modeling approaches. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, p. 11-17, 1996.
- DAY, A.D. & LUDEKE, K.L. Revegetation of coal mine soil forest litter. **Journal of Arid Environments**, v. 11, p. 229-233, 1986.

DEYN, G.B.; RAAIJMAKERS, C.E.; ZOOMER, H.R. Soil invertebrate fauna enhance grassland succession and diversity, **Nature**, v. 422, p. 711-713, 2003.

EINLOFT, R. **Crescimento de gramíneas e leguminosas em substrato rico em manganês proveniente de área de empréstimo**. 1996, 67 p. Viçosa, MG: UFV Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

ENGEL, V. L. & PARROTA, J. A.. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais, p.01. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.de; MORAES, L.F.D.de; ENGEL, V.L. & GANDARA, F.B. (Eds.) **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais-FEPAF, S.P. p. 340, 2003.

FERNANDES, H.A.C. **Dinâmica e distribuição de espécies arbóreas em uma floresta secundária no domínio da Mata Atlântica**. 1998, p. 145. Viçosa, MG: UFV. (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

FARIA, S. M. ; DIEDHIU, A. G. ; de Lima, H. C. ; Ribeiro, R. D. ; GALIANA, A. ; Castilho, A. F. ; HENRIQUES, J. C. . Evaluating the nodulation status of leguminous species from the Amazonian forest of Brazil. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 3119-3127, 2010.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. da; FARIA, S. M. de. **Revegetação de solos degradados**. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, (EMBRAPA-CNPAB. Comunicado Técnico, 9) p.8, 1992.

FROUZ J.; PRACH K.; PIZL V.; HANEL L.; STARY J.; TAJOVSKY K.; MATERNA J.; BALIK V.; KALCIK J.; REHOUNKOVA K. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, p. 109–121, 2008.

FROUZ, J.; KEPLIN, B.; PIZL, V.; TAJOVSKY, K.; STARY, J.; LUKESOVA, J.A.; NOVAKOVA, A.; BALIK, V.; HANEL, L.; MATERNA, J.; DUKER, C.; CHALUPSKY, J.; RUSEK, J.; HEINKELE, T. Soil biota and upper soil layers development in two contrasting post-mining chronosequences, **Ecological Engineering**, v.17, p. 275–284, 2001.

FROUZ, J. The effect of vegetation patterns on oviposition habitat preference: a driving mechanism in terrestrial chironomid (Diptera: Chironomidae) succession? **Researches on Population Ecology**. v. 39, p. 207-213, 1997.

GARWOOD, N. C. **Tropical Soil Seed Banks: a Review**. In: LECK, M. A.; PARKER, T. V.; SIMPSON, R. L. eds. Ecology of soil seed banks. New York: Academic Press, p. 49- 210, 1989.

GENTRY, A. H. A field guide to the families and genera of woody plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru) with supplementary notes of herbaceous taxa. **Conservation International**, Washington. 1993.

GISLER, C. V. T. **Uso da serapilheira na recomposição da cobertura vegetal em áreas mineradas de bauxita**, MG. 1995. 146p. Dissertação (Mestrado em Biologia)- Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GOLDENBERG, R. AMORIM, A. M. *Physeterostemon* (Melastomataceae): a new genus and two new species from the Bahian Atlantic Forest, Brazil. **Taxon**, Viena, v. 55, n. 4, p. 965-972, 2006.

GONÇALVES, J.L. DE M.; NOGUEIRA-JR, L.R.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (org.) **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fundação de estudos e pesquisas agrícolas florestais – FEPAF, p. 111 – 163, 2003.

GONÇALVES, F.S. ; LASTE, K.C.D ; UCHÔAS, E.S ; BORGES, W.L. ; de FARIA, S. M. **Especificidade hospedeira de estirpes de rizóbio dentro da família Leguminosae**. In: XVII Jornada de Iniciação Científica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. Anais do evento. Seropédica : UFRRJ, 2007.

HOOPER, E.R.; LEGENDRE, P.; CONDIT, R. Factors affecting community composition of forest regeneration in deforested, abandoned land in Panamá. **Ecology**, v. 85, n. 12, p. 3313-3326, 2004.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F.B. **Restauração e conservação de ecossistemas tropicais**. In: **Métodos de estudo em biologia da conservação: manejo da vida silvestre**. Cullen Jr., Rudran, R.; Valladares-Pádua, C. (orgs.) Editora UFPR; Fundação o Boticário. Curitiba/PR. 2004.

KAUFMANN, R. Invertebrate succession on an alpine glacier foreland, **Ecology**, n. 82, p. 2261–2278, 2001.

KIRWAN, L.; SCHER, A.; SEBASTI, T.M.; FINN, J.A.; COLLINS, R.P.; PORQUEDDU, C.; HELGADOTTIR, A.; BAADSHAUG, O.H.; BROPHY, C.; CORAN, C.; DALMANNSD, T.S.; DELGADO, I.; ELGERSMA, A.; FOTHERGILL, M.; FRANKOW-LINDBERG, B.E.; GOLINSKI, P.; GRIEU, P.; GUSTAVSSON, A.M.; GLIND, M.; HUGUENIN-ELIE, O.; ILIADIS, C.; RGENSEN, M.; KADZIULIENE, Z.; KARYOTIS, T.; LUNNAN, T.; MALENGIER, M.; MALTONI, S.; MEYER, V.; NYFELER, D.; NYKANEN- KURKI, P.; PARENTE, J.; SMIT, H.J.; THUMM, U.; CONNOLLY, J. Evenness drives consistent diversity effects in intensive grassland systems across 28 European sites. **Journal of Ecology**, v. 95, p. 530–539, 2007.

KUMSSA, D.B.; VAN AARDE, R.J.; WASSENAAR, T.D. The regeneration of soil microarthropod assemblages in a rehabilitating coastal dune forest at Richards Bay, South Africa. **African Journal of Ecology**, v. 42, p. 346–354, 2004.

LEWIS, G.P. Legumes of Bahia. **Royal Botanic Gardens**, Kew.p. 396, 1987.

LORANGER-MERCIRIS, G.; BARTHES, L.; GASTINE, A.; LEADLEY, P. Rapid effects of plant species diversity and identity on soil microbial communities in experimental grassland ecosystems. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 2336–2343, 2006.

MAGURRAN, A. E. **Ecological Diversity and Its Measurement**. University Press, Cambridge, p. 179, 1988.

MIRANDA, C. H. B.; MACEDO, M. C. M.; ZANELA, C. **Produção e conteúdo mineral de *Brachiaria decumbens*, *Calopogonium muconoides* e *Centrosema acutifolium* cultivadas em diferentes densidades de plantas em consorciação**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.102-104, 1995.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Proceedings of the Royal Society of London**, London, v. 281, p. 277-294, 1977.

MOREIRA, P. R. **Manejo de solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG**. 2004. 139p. Dissertação (Doutorado em Biologia)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

MUELLER-DOMBOIS, D. & ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York, J. Wiley & Sons. p. 547, 1974.

MUNSHOWER, F.F. **Practical handbook of disturbed land revegetation**. New York: CRC Press. p. 265, 1994.

NORMAN, J.M.; ARKEBAUER, T.J. Predicting canopy light-use efficiency from leaf characteristics. In: HANKS, J., RITCHIE, J.T. **Modeling plant and soil systems**. Madison: American Society of Agronomy, Inc., p. 125-144, 1991.

NUNES, J.A. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, FLONA de Carajás-PA**. 2009. 112 p. Dissertação (Mestrado em Botânica)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OZÓRIO, T. F. **Potencial do uso da serrapilheira em áreas degradadas pela mineração de ferro**. 2000. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PEZZOPANE, J.E.M. **Caracterização microclimática, ecofisiológica e fitossociológica em uma floresta estacional semidecidual secundária, em Viçosa, MG**. (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, p. 255, 2001.

PIELOU, E. C. **Ecological diversity**. New York: John Wiley & Sons, p. 165, 1975.

PIZL, V. Earthworm succession in afforested colliery spoil heaps in the Sokolov region, Czech Republic, **Restoration Ecological**, v. 9, p. 359–364, 2001.

PRACH, K.; PYSEK, P.; BASTL, M.; Spontaneous vegetation succession in human-disturbed habitats: a pattern across seres, **Applied Veg Science**, v. 4, p. 83–88, 2001.

RIBEIRO, R.J.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; AZEVEDO, C.P. Estudos fitossociológico nas regiões de Carajás e Marabá – Para, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 29, n. 2, p. 207-222, 1999.

RICK, P. M., CLARK, D. B., CLARK, D. A., Oberbauer, S. F. Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 65, p. 107-127, 1993.

RODRIGUES, R.R. & GANDOLFI, S. Recomposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.2, n.1, p.4-15, 1996.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R.R. & LEITÃO-FILHO, H.DE F. (Eds.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp. p. 320, 2004.

RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; GANDOLFI, S. (Eds.). **High diversity forest restoration in degraded areas: methods and projects in Brazil**. New York: Nova Science Publishers, 2006.

ROKICH, D.P.; DIXON, K.W.; SIVASITHAMPARAM, K.; MENEY, K.A. Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. **Restoration Ecology**, v. 8, n. 2, p. 196-208, 2000.

ROUBCKOVÁ A.; MUDRÁK. O.; FROUZ J. The effect of belowground herbivory by wireworms (Coleoptera: Elateridae) on performance of *Calamagrostis epigejos* (L) Roth in post-mining sites. **European Journal of Soil Biology**, v. 50, 2012.

ROUBCKOVÁ A.; MUDRÁK. O.; FROUZ J. Effect of earthworm on growth of late succession plant species in postmining sites under laboratory and field conditions, **Biology and Fertility of Soils**, v. 45, p. 769-774, 2009.

SIVAKUMAR, M. V. K.; VIRMANI, S. M. Crop productivity in relation to interception of photosynthetically active radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 31, p. 131-141, 1984.

SHEPHERD, G. J. **Fitopac 1, manual do usuário**. Campinas: UNICAMP, p. 96, 1996.

SPEHN, E.M.; JOSHI, J.; SCHMID, R.; ALPHEI, J.; KÖRNER, J. Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems, **Plant and Soil**, v. 224, p. 217-230, 2000.

SORREANO, M.C.M. **Avaliação de aspectos da dinâmica de florestas restauradas, com diferentes idades**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 145, 2002.

SOUZA, P. A. de; VENTURIN, N.; GRIFFITH, J.J.; MARTINS, S.V. Avaliação do banco de sementes contido na serapilheira de um fragmento florestal visando a recuperação de áreas degradadas. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 56-67, 2006.

SOUZA, M. G. (2002) **Fechamento de Mina: Aspectos Legais**. Artigo publicado na revista IBRAM. Arquivo Digital, consultado no endereço: <http://www.brasilminingsite.com.br/artigos/artigo.php?cod=31&typ=1>

SOURKOVÁ, M.; FROUZ, J.; SANTRUCKOVÁ, H. Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic), **Geoderma**, v. 124, p. 203-214, 2005.

UCHÔAS, E.S ; de FARIA, S. M. . **Estirpes de rizóbio de alta eficiência na fixação biológica de nitrogênio para espécies com potencial uso na recuperação em áreas mineradas**. In: XVII Jornada de Iniciação Científica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007, Seropédica. Anais do evento. Seropédica : UFRRJ, 2007.

VALE, Relatório de sustentabilidade VALE 2010, Arquivo digital consultado no endereço: <http://www.vale.com/pt-br/sustentabilidade/relatorio-de-sustentabilidade/Documents/2010/Relat%C3%B3rio%20de%20Sustentabilidade%202010-%20PDF.pdf>

VIDAL, M. **Revegetação de área degradada pela mineração de caulim na zona da mata, em Minas Gerais: Um Estudo de Caso**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 81. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa.

WALKER, L. & DEL MORAL, R. Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

WURST, S. **Effects of earthworms on plant and herbivore performance**, Dissertation. Technischen Universität Darmstadt, 2004.

YOUNG, T.P. Restoration Ecology and conservation biology. **Biological Conservation**, v. 92, p. 73-83, 2000.

ZAK, D.R.; HOLMES, W.E.; WHITE, D.C.; PEACOCK, A.D.; TILMAN, D. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? **Ecology**, v. 84, p.2042–2052, 2003.

ZEPPELINI, D.; BELLINI, B.C.; CREÃO-DUARTE, A.J; HERNÁNDEZ, M.I.M.; Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. **Biodivers Conservation**, v. 18, p.1161–1170, 2009.

CAPÍTULO II

QUALIDADE DA SERRAPILHEIRA, FERTILIDADE DO SOLO E ESTRUTURA DA FAUNA DO SOLO COMO INDICADORES DA QUALIDADE DE SÍTIOS REVEGETADOS PÓS-MINERAÇÃO DE FERRO

Resumo: (Qualidade da serrapilheira, fertilidade e estrutura da comunidade de fauna do solo como indicadores da qualidade de sítios revegetados pós-mineração de ferro). A utilização de indicadores biológicos é amplamente recomendada para avaliar a recuperação de áreas perturbadas. Os componentes estruturais e a composição química da serrapilheira depositada é resultado do estabelecimento da comunidade vegetal, ao mesmo tempo em que tem influência direta na comunidade de organismos decompositores, que por sua vez, controlam o processo de decomposição e ciclagem de nutrientes. A qualidade da serrapilheira através da análise multivariada PCA agrupou as áreas Hoppe e Mata em função do Ca e N presente nas frações galhos e folhas, em contraste com as áreas CCI e Oficina, que foram agrupadas em função da lignina, celulose e P presentes nas frações galho e folha da serrapilheira depositada. Para a fauna edáfica, as avaliações mostraram uma maior abundância no primeiro ano de avaliação (2010), sendo o grupo Collembola representado com mais de 60% da abundância total na primeira avaliação, contudo no segundo ano de avaliação este grupo foi abundante somente para área Mata. A qualidade e estoque de serrapilheira foram diretamente influenciados pelas técnicas de revegetação adotadas, e na avaliação da qualidade dos sítios através da fauna do solo as ordens Collembola e Formicidae se mostraram eficientes indicadores ambientais.

Palavras-chave: lignina, celulose, Collembola, Formicidae

Abstract: (Quality of litter and community structure of soil fauna as indicators of the quality of sites revegetated post-mining of iron). The use of biological indicators is widely recommended to monitor the recovery of disturbed areas. The structural and chemical composition of the litter is placed result of the establishment of a plant community at the same time has a direct influence on the community of decomposing organisms, which in turn control the decomposition process and nutrient cycles. The quality of the litter through multivariate analysis divided the areas PCA Hoppe and Mata a function of P and N present in the fractions branches and leaves, in contrast to the areas ICC and Workshop were grouped according to lignin, cellulose and P present in the fractions branch and leaf litter deposited. For the soil fauna, the ratings showed a greater abundance in the first year of assessment (2010), and the Collembola group represented over 60% of total abundance in the first assessment, but in the second year of the study this group was abundant only area Mata. The quality and stock of litter were directly influenced by revegetation techniques adopted, and assessing the quality of sites by soil fauna order Collembola and Formicidae were efficient environmental indicators.

Keywords: Lignin, cellulose, Collembola, ants

1. INTRODUÇÃO

Estudos que utilizam uma abordagem complexa, tratando um amplo espectro de organismos do solo são metodologicamente difíceis e, portanto muito escassos (DUNGER, 1991; TOPP *et al.*, 2001). Geralmente os resultados são obtidos através de longos períodos de avaliações, e em ambientes de mineração a variabilidade do substrato aliado à alta variabilidade das condições ambientais, bem como as diferentes tecnologias de recuperação se reproduz numa grande heterogeneidade no desenvolvimento da biota do solo, dificultando a interpretação dos resultados.

Partindo deste princípio, estudos relacionando variáveis abióticas com variáveis bióticas são utilizados para subsidiar e/ou fornecer diretrizes que auxiliam na recuperação e revegetação de áreas pós-minerada, contudo é necessária uma abordagem complexa quando se trata da biota do solo, porque os grupos individuais podem refletir as mudanças sucessionais de maneiras diferentes (FROUZ, 2007).

A fauna do solo é um indicador biótico altamente sensível às alterações ambientais, que reflete as perturbações, alterando a sua composição e abundância (COLE *et al.*, 2004). A macrofauna do solo desempenha as funções de fragmentação, agregação e mistura de materiais orgânicos que são responsáveis pela modificação física e distribuição espacial da matéria orgânica do solo (LAVELLE *et al.*, 1997, CORREIA, 2002).

Alterações na macrofauna podem ser influenciadas por muitos fatores, dentre os quais a cobertura vegetal é a mais importante (ROSCHER *et al.*, 2004). Vegetação não só fornece a maior parte do material orgânico que entra no solo, mas também, indiretamente, determina a composição da fauna do solo (LAVELLE *et al.*, 1997). Tipicamente, a vegetação produz uma grande quantidade de serrapilheira de fácil decomposição que suporta uma maior abundância da macrofauna, contudo vegetação que produz uma serrapilheira de difícil decomposição suporta uma baixa densidade de macrofauna, porém com uma alta densidade da mesofauna do solo (CALDERON *et al.*, 2000.; STEENWERTH *et al.*, 2003). Este padrão é geralmente encontrado em locais de pós-mineração (FROUZ *et al.*, 2001). Moreira (2010), estudando a fauna do solo como bioindicador na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Trombetas-PA, concluiu que o padrão de estruturação e diversidade das comunidades da fauna do solo variou ao longo do tempo, sendo que as áreas que apresentaram um maior desenvolvimento vegetal associado à maior deposição de serrapilheira continham comunidades de fauna do solo mais estruturada e diversas.

Laste (2011), realizando o monitoramento de uma encosta revegetada com leguminosas após 17 anos em região de Mata Atlântica, concluiu que as espécies leguminosas contribuíram efetivamente para recolonização da fauna do solo no ambiente degradado, mostrando assim a importância da diversidade vegetal na manutenção de uma fauna do solo equilibrada.

Dentro deste contexto, a qualidade da serrapilheira aportada pode também atuar como indicador da saúde e funcionamento do sistema, pois as características morfológicas, físicas e químicas influenciam diretamente na taxa de decomposição e como consequência na liberação de nutrientes para o sistema (CARDINALE *et al.*, 2002).

Vários estudos relatam a importância do conhecimento da composição química da serrapilheira no processo de decomposição (ADAIR *et al.*, 2008; CUSACK *et al.*, 2009), focando principalmente elementos como N, P, Ca, concentrações de lignina, relação lignina/N e relação C/N, como reguladores das taxas de decomposição e ciclagem de nutrientes (PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2000; QUESTED *et al.*, 2002).

A composição química da serrapilheira aportada influencia efetivamente a fertilidade dos substratos em ambientes degradados, principalmente ambientes que estão sendo reestruturados sobre rejeitos de lavra de mineração. De acordo Anderson (1988), cerca de 90% da produção primária líquida anual é aportada ao solo como serrapilheira, favorecendo a continuidade do processo de ciclagem e disponibilização dos nutrientes para os vegetais.

As áreas em processo de recuperação apresentam geralmente uma baixa fertilidade do solo e/ou substrato, se este último for rejeito de mineração. A melhoria da fertilidade inicialmente é estimulada com a realocação de solo superficial (top soil), como em trabalhos desenvolvidos por Parrota & Knowles (2003), que adicionaram solo superficial em áreas pós-mineradas em Porto de Trombetas, visando à melhoria da qualidade do substrato com o aumento da fertilidade. O aumento da fertilidade pode ser promovido também através da aplicação de adubação, prática amplamente utilizada em cultivos agrícolas, mas que aumenta os custos para recuperação de áreas degradadas. No entanto esta fertilidade induzida pode apresentar benefícios antes desconhecidos, como alguns estudos mostraram que a adição de P tem um efeito positivo sobre taxas de decomposição (HOBBIE & VITOUSEK, 2000), enquanto que outros mostraram pouco ou nenhum efeito (McGRODDY *et al.*, 2004; PASTOR *et al.*, 1987).

Partindo destas premissas mais estudos desses processos em condições variáveis são, portanto, urgentes e necessários para melhor entender os fatores que afetam o desenvolvimento da biota do solo na pós-mineração.

Neste estudo tivemos como objetivo avaliar a fertilidade do substrato e a qualidade e estoque de serrapilheira das áreas de estudos, avaliando em conjunto a fauna do solo, visando obter subsídios capazes de indicar qual sítio está caminhando para um ambiente equilibrado e autosustentável.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ESTOQUE E QUALIDADE QUÍMICA DA SERRAPILHEIRA

Para avaliação do estoque da serrapilheira e da sua qualidade química foi utilizado um quadrante com uma área de 0,25 m² (0,5 m x 0,5 m) amostrando dois pontos dentro de cada parcela (Figura 11), onde toda serrapilheira existente dentro do quadrante foi coletada e armazenada (ARATO *et al.*, 2003; GARCIA *et al.*, 2005). A amostragem foi realizada em duas épocas, sendo a primeira em fevereiro de 2010 e a segunda em fevereiro de 2011.



Figura 11. Quadrante utilizado para demarcar a área de coleta de serrapilheira.

A serrapilheira coletada foi seca em estufa a 65⁰C e posteriormente triada em frações de galhos, folhas, materiais reprodutivos e refugo (material particulado de difícil identificação) (Figura 12). Após a triagem as frações foram pesadas para determinação do estoque de serrapilheira e os resultados expressos em Ton.ha⁻¹ ano e/ou Kg. ha⁻¹ ano.



Figura 12. Material triado em galhos, folhas, material reprodutivo e refugo (material particulado de difícil distinção).

Para avaliação da qualidade química da serrapilheira foram utilizadas as frações de galho e folhas, seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (1999), obtendo-se os teores de Ca (g.Kg⁻¹) e K (g.Kg⁻¹) através da espectrofotometria de absorção atômica, Mg (g.Kg⁻¹) através de fotometria de chama, P (g.Kg⁻¹) através de espectrofotometria UV/Visível e N (%) das frações de galhos e folhas (frações representativas).

Foram realizadas análises de fibra detergente ácido, para determinação das percentagens de lignina, celulose e cinzas presentes nas frações de galhos e folhas na serrapilheira coletada (Van SOEST, 1967; SILVA, 1990).

2.2 FERTILIDADE DO SOLO

Foi realizado dois tipos de amostragens, sendo a primeira amostragem realizada a uma profundidade de 0cm-2,5cm, sendo coletados três pontos por quadrante utilizado para coleta de serrapilheira, formando uma amostra composta. A segunda amostragem foi realizada a profundidades de 0cm-5cm e 5cm-15 cm, coletando dez pontos simples para formação de uma amostra composta por parcela.

A primeira amostragem ocorreu a profundidade de 0cm-2,5cm para verificar as disponibilidade de nutrientes dentro da faixa de ocorrência da maioria das raízes finas (adventícias), que são responsáveis pela maior parte da absorção dos nutrientes de baixa mobilidade no solo.

A segunda amostragem realizada dentro da área total das parcelas a profundidade de 0cm-5cm e 5cm-15 cm, foi realizada para verificar o padrão de distribuição dos nutrientes ao longo da profundidade dos substratos.

Para ambas as amostragens foram determinados os valores de pH, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, carbono orgânico e matéria orgânica, segundo metodologia utilizada pela Embrapa em análises de rotina (EMBRAPA, 1997).

As amostragens à profundidade de 0cm-2,5cm ocorreram em duas épocas, fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011. A amostragem as profundidades de 0cm-5cm e 5cm-15 cm ocorreu em fevereiro de 2011.

2.3 MONITORAMENTO DA FAUNA EDÁFICA

A amostragem da fauna do solo ocorreu utilizando-se armadilhas de queda (MOLDENKE, 1994), sendo utilizadas 2 armadilhas por parcela. Este tipo de armadilha é utilizada para a captura dos invertebrados edáficos que colonizam a serrapilheira e a camada superficial do solo, sendo composta por invertebrados saprófagos, predadores, herbívoros, micrófagos e onívoros. As armadilhas foram compostas por recipientes plásticos cilíndricos com 9 cm de diâmetro e 11 cm de altura, onde a borda ficou no nível do solo, com 200 mL de solução de formol a 4% . Estas armadilhas permaneceram no campo por um período de sete dias (Figura 13).



Figura 13. Armadilhas instaladas, permanecendo por um período de 7dias até o momento da retirada.

A fauna do solo foi avaliada sob lupa em nível de ordem, classe ou família, de acordo com Gallo et al., (1988) e Dindal (1990). Foram estimados o número de indivíduos.armadilha-1.dia-1 (ind.arm-1.d-1) total e de cada grupo taxonômico e os respectivos erros padrão. Os estimadores da diversidade da comunidade da fauna edáfica utilizados foram a riqueza total, a riqueza média, o índice de diversidade de Shannon e o de equabilidade de Pielou.

As amostragens foram realizadas em dois anos consecutivos, sendo a primeira em fevereiro de 2010 e a segunda em fevereiro de 2011.

2.3.1 ÍNDICE DE MUDANÇA DA FAUNA DO SOLO

Foi calculado o índice de mudança para as duas amostragens realizadas, adotando-se a área Mata como a área sem manejo, objetivando-se verificar a alteração dos grupos de fauna das áreas revegetadas, com relação à área controle “Mata” (Tabela 19). Este índice demonstra as alterações dos grupos da fauna, em função do manejo ou intervenção adotados, utilizando a relação entre abundância de cada grupo em uma área manejada entre uma área referência (WARDLE & PARKINSON, 1991; WARDLE, 1995; CORREIA *et al.*, 2003). O Índice é calculado pela seguinte fórmula:

$$V=(2aR/(aR+aM))-1$$

Onde: aR é a abundância do grupo na área manejada (área revegetada) e aM é a abundância do grupo na área não manejada (área controle “Mata”).

Tabela 19. Categorias de inibição e estimulação dos grupos da fauna de solo em resposta ao processo de intervenção, com base no índice V (modificado de WARDLE, 1995; CORREIA *et al.*, 2003).

| Categorias | Índice |
|----------------------|---------------------|
| Inibição extrema | $V < -0.67$ |
| Inibição moderada | $-0.33 > V > -0.67$ |
| Inibição leve | $-0.05 > V > -0.33$ |
| Sem alteração | $-0.05 > V > 0.05$ |
| Estimulação leve | $0.05 < V < 0.33$ |
| Estimulação moderada | $0.33 < V < 0.67$ |
| Extrema estimulação | $V > 0.67$ |

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos de estoque de serrapilheira, qualidade química da serrapilheira e fertilidade do solo, foram submetidos aos testes de homogeneidade (Cochran, 5%) e normalidade (Lilliefors, 5%), através do programa Saeg (versão 8.1).

De posse dos resultados e em razão da exigibilidade de delineamento experimental, foram realizados a análise de variância e o teste de média (Teste T Bonferroni) dos dados que apresentaram distribuição normal e variância homogênea, através do programa SISVAR.

Os dados que não apresentaram distribuição normal e variância homogênea, foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (KRUSKAL & WALLIS, 1952) através do programa Saeg (versão 8.1).

Foi realizada a análise de componentes principais (PCA- BiPlot), utilizando os dados de qualidade química da serrapilheira, visando reconhecer as variáveis explicativas para cada área de estudo, através do programa R (R Development Core Team, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ESTOQUE E QUALIDADE QUÍMICA DA SERRAPILHEIRA

3.1.1 ESTOQUE DE SERRAPILHEIRA

Durante os dois anos (2010 a 2011) de avaliações “in loco”, observou-se nos sítios revegetados o desenvolvimento dos plantios, principalmente em altura e diâmetro dos indivíduos presentes, mesmo com a baixa estrutura e fertilidade do solo. Observou-se o aparecimento de novas espécies, o que contribuiu para uma maior diversidade florística e como consequência uma maior riqueza de material depositado (serrapilheira).

O aumento na composição florística certamente influenciou o processo de ciclagem de nutrientes, favorecendo a sucessão vegetal sobre um substrato instável, sem estrutura física e de baixa disponibilidade nutricional, pois independentemente do tipo de vegetação, a produção de serrapilheira representa o primeiro estágio de transferência de energia e nutrientes da vegetação para o solo (OLSON, 1963).

O material vegetal (folhas, galhos, material reprodutivo, etc) depositado sobre o solo apresentou diferenças fenotípicas, entre as áreas de estudos.

O estoque de serrapilheira durante os períodos analisados não se mantiveram constantes, provavelmente o crescimento da vegetação (HORNER-DEVINE *et al.*, 2004; BARDGETT, 2005), e/ou a qualidade química de serrapilheira (BARDGETT, 2005; ORWIN *et al.*, 2006; BERG & SMALLA, 2009), depositada influenciaram no estoque final de serrapilheira.

A área denominada de CCI, juntamente com a área denominada de Oficina apresentaram uma serrapilheira de características semelhantes, composta basicamente de folíolos e galhos de indivíduos de *Mimosa acutitipula*.

A área denominada de Hoppe apresentou uma serrapilheira composta em maior porcentagem por folhas de indivíduos pertencentes à família Solanaceae e folhas de indivíduos de *Cecropia ficifolia*.

Esta característica da serrapilheira apresentada pelas áreas estão diretamente ligadas com as técnicas empregadas.

A serrapilheira da área denominada de Mata apresentou uma composição altamente heterogênea e distinta em comparação às áreas de estudos, resultado da alta diversidade florística apresentada (floresta ombrófila densa “sem interferência antrópica”).

Todas as áreas apresentaram um estoque de serrapilheira superior a 3 ton.ha⁻¹ no primeiro ano de avaliação (2010), sendo a área Hoppe detentora de um estoque médio de 3,4 ton.ha⁻¹, diferindo estatisticamente pelo teste T Bonferroni (5%) das outras áreas, bem como da área de Mata que apresentou com um estoque médio de 6,26 ton.ha⁻¹. As áreas Oficina, com um estoque médio de 4,1 ton.ha⁻¹ e CCI com um estoque de 5,2 ton.ha⁻¹ não diferiram estatisticamente entre si pelo teste T Bonferroni (Figura 14).

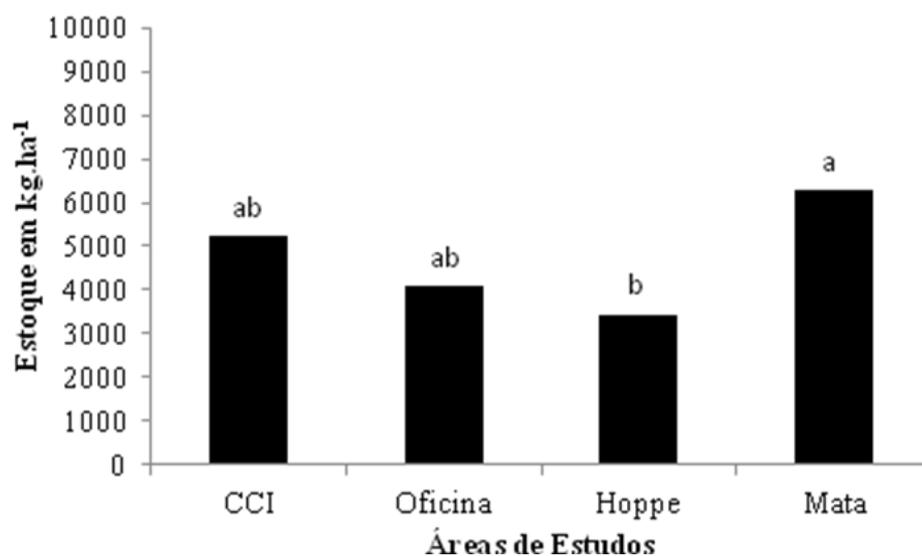


Figura 14. Estimativa do estoque de serrapilheira em kg.ha⁻¹, das áreas revegetadas e área controle (Mata) para ano de 2010. Variáveis seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo Teste T Bonferroni a probabilidade a 5%.

Na segunda avaliação realizada de estoque de serrapilheira (2011), as áreas revegetadas não apresentaram diferenças estatísticas entre as mesmas, mas diferiram da área Mata (área controle). As áreas apresentaram um estoque crescente, sendo a área CCI com 3,5 ton.ha⁻¹, seguido pela área Oficina com 4,3 ton.ha⁻¹ e pela área *Top Soil* com 5,2 ton.ha⁻¹, já a área Mata deteve um estoque de 9 ton.ha⁻¹ (Figura 15).

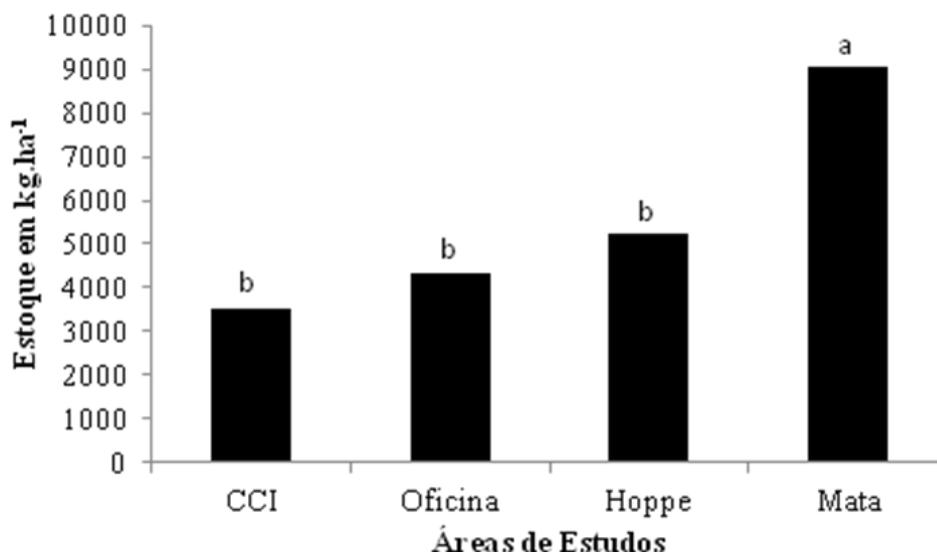


Figura 15. Estimativa do estoque de serrapilheira em kg.ha⁻¹ das áreas revegetadas e área controle (Mata) para ano de 2011. Variáveis seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo Teste T Bonferroni a probabilidade a 5%.

O aumento no estoque de serrapilheira encontrado para área Hoppe dentre os períodos analisados, pode ter sido influenciado pelo substrato utilizado na formação do talude, já que este apresenta um espectro químico e biológico diferenciado (MOREIRA, 2004; VIANI *et al.*, 2006) em comparação com os taludes formados a partir de material da pilha estéril, o que favorece o aumento da riqueza vegetal, resultando em um aumento na produtividade acima e abaixo do solo (TILMAN *et al.*, 2001; HE *et al.*, 2005; MOMMER *et al.*, 2010).

O aumento no estoque da área Hoppe pode estar relacionado também com as características químicas da serrapilheira, como conteúdo de nutrientes, e/ou a presença de compostos recalcitrantes capazes de afetar a taxa de decomposição favorecendo o seu acúmulo (LAGANIERE *et al.*, 2010).

A área CCI apresentou um decréscimo no acúmulo de serrapilheira, durante o período analisado, provavelmente a composição florística fornece uma serrapilheira de decomposição mais rápida (GARTNER & CARDON, 2004; ALBERS *et al.*, 2004; JONARD *et al.*, 2008), ou os fatores ambientais, como precipitação, temperatura, radiação solar (VANCE & CHAPIN, 2001), não foram favoráveis ao desenvolvimento vegetal, favorecendo o aporte de serrapilheira do material mais maduro.

A área Oficina manteve o estoque de serrapilheira praticamente inalterado durante os períodos analisados, certamente a composição florística associada aos decompositores da cadeia alimentar como bactérias heterotróficas, fungos e fauna do solo (LAMARCHE *et al.*, 2004; LAGANIÈRE *et al.*, 2009) estão interagindo de forma a manter o estoque de serrapilheira. Geralmente a diminuição no estoque de serrapilheira se dá com o processo de decomposição que é regulado pelo nível de nutrientes e carbono disponível (BERG, 2000).

A área Mata, que apresentou 6,26 ton.ha⁻¹ no primeiro ano de avaliação (2010) e 9 ton.ha⁻¹ de material depositado no segundo ano de avaliação, corroborando com estudos realizados em uma floresta de terra firme em Tucuruí-PA que apresentou cerca de 6,7 ton.ha⁻¹ (SILVA, 1984) e com estudos em Capitão Poço-PA que apresentou 8 ton.ha⁻¹ (DANTAS, 1986) e com Martius *et al.*, (2004) que encontrou cerca de 9,5 ton.ha⁻¹.

Quando correlacionamos os valores das áreas revegetadas durante os períodos analisados, com áreas em recuperação pela formação de capoeira denotamos que o estoque apresentado por estas áreas é baixo, já que Mesquita *et al.*, (1998) encontraram numa área de capoeira em Manaus-AM com três anos de recuperação um estoque com cerca de 6,9 ton.ha⁻¹. Os estoques de serrapilheira das áreas revegetadas também foram inferiores ao encontrados por Moreira (2010) avaliando áreas revegetadas sobre estéril e rejeito de bauxita, contudo nas áreas avaliadas pelo autor utilizou-se técnicas diferentes de revegetação, onde foi adotado o sistema de plantio de mudas de leguminosas inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio, o que provavelmente facilitou o aumento no estoque.

Todas as diferenças entre os estoques de serrapilheira para as áreas durante os períodos analisados pode ser em função da variabilidade espacial, pois foi realizado o teste de T de Bonferroni comparando às áreas entre os períodos e não foi encontrada diferença estatística.

3.1.2 QUALIDADE DA SERRAPILHEIRA

As análises da qualidade química da serrapilheira, abordando o componente estrutural lignina, não apresentou diferença estatística entre as áreas e entre os períodos analisados. A variável celulose apresentou diferença estatística entre as áreas e entre os períodos analisados. A variável celulose diferiu estatisticamente somente no período de 2011, e no período de 2010 não apresentou diferença estatística entre as áreas de estudos. (Tabela 20).

Tabela 20. Composição estrutural (Lignina, Celulose e Cinzas) da fração galho presente na serrapilheira coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011, Carajás-PA.

| Áreas de Estudos | Fração Galho (2010) | | |
|------------------|---------------------|--------------|------------|
| | Lignina (%) | Celulose (%) | Cinzas (%) |
| CCI | 1,32 a | 1,47 a | 0,66 a |
| Hoppe | 1,29 a | 1,26 b | 1,22 a |
| Oficina | 1,4 a | 1,34 ab | 0,74 a |
| Mata | 1,35 a | 1,37 ab | 0,75 a |

| Áreas de Estudos | Fração Galho (2011) | | |
|------------------|---------------------|--------------|------------|
| | Lignina (%) | Celulose (%) | Cinzas (%) |
| CCI | 1,39 a | 28,33 A | 0,65 b |
| Hoppe | 1,27 a | 19,33 B | 1,13 a |
| Oficina | 1,43 a | 19,66 B | 0,89 ab |
| Mata | 1,43 a | 23,33 AB | 0,74 ab |

Valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (5%). Valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste T Bonferroni.

As relações entre os componentes estruturais da fração galho apresentaram flutuações dentre os períodos analisados, relacionando as áreas, contudo quando se observar as áreas entre os períodos a distribuição permanece equivalente. As áreas CCI e Mata apresentaram na sua composição maiores concentrações de celulose. Já a área Oficina apresentou maiores concentrações de lignina, enquanto que a área Hoppe apresentou uma maior homogeneidade nas concentrações de celulose e lignina e apresentando os maiores valores de cinza entre as áreas de estudos. (Figura 16).

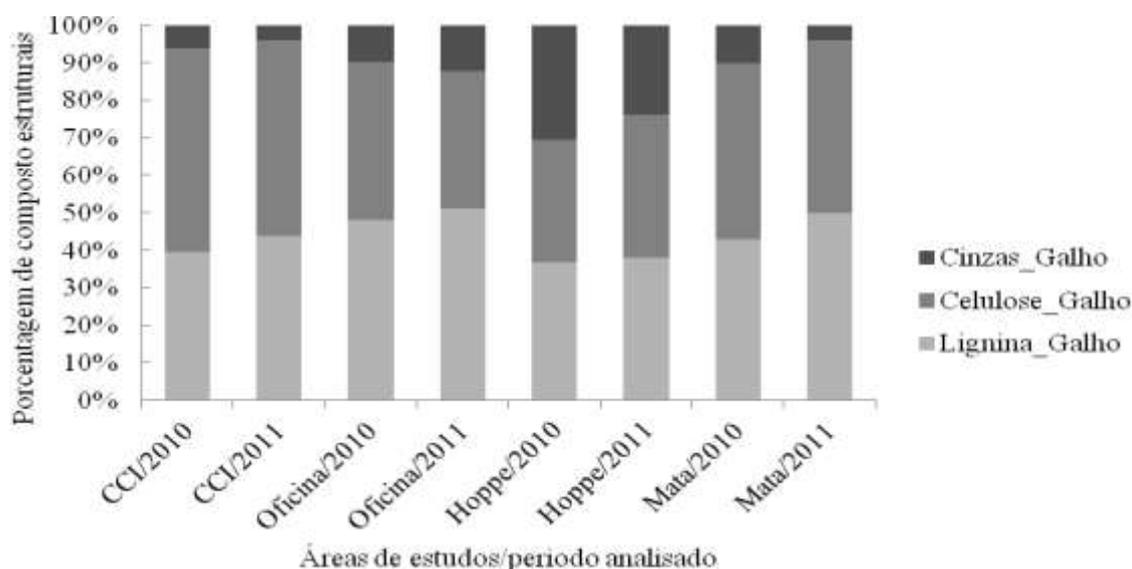


Figura 16. Valores em percentuais da composição química da fração galho presente na serrapilheira (lignina; celulose; cinzas), das áreas de estudos durante os períodos analisados.

Na análise dos componentes estruturais da fração folha revelou que no período de 2010 e 2011 as variáveis lignina e cinzas não diferiram estatisticamente entre as áreas de

estudos, contudo a variável celulose apresentou diferenças estatísticas entre as áreas de estudos (Tabela 21).

Tabela 21. Composição estrutural (Lignina, Celulose e Cinzas) da fração folha presente na serrapilheira coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011, Carajás-PA.

| Áreas de Estudos | Fração Folha (2010) | | |
|---------------------|---------------------|--------------|------------|
| | Lignina (%) | Celulose (%) | Cinzas (%) |
| CCI | 27 A | 1,26 ab | 0,86 a |
| Hoppe | 19,66 A | 1,11 b | 1,13 a |
| Oficina | 27 A | 1,25 ab | 0,86 a |
| Mata | 21 A | 1,33 a | 1,1 a |
| Fração Folha (2011) | | | |
| CCI | 1,39 a | 1,46 a | 1,07 a |
| Hoppe | 1,23 a | 1,31 b | 1,45 a |
| Oficina | 1,46 a | 1,31 ab | 1,07 a |
| Mata | 1,46 a | 1,38 ab | 1,14 a |

Valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (5%). Valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste T Bonferroni.

As concentrações em porcentagem dos componentes estruturais da fração folha não seguiu o padrão identificado para a fração galho, pois a variável lignina apresentou as maiores concentrações entre as áreas de estudos, e a variável cinzas apresentou elevadas concentrações, com valores expressivos para a área Hoppe. (Figura 17).

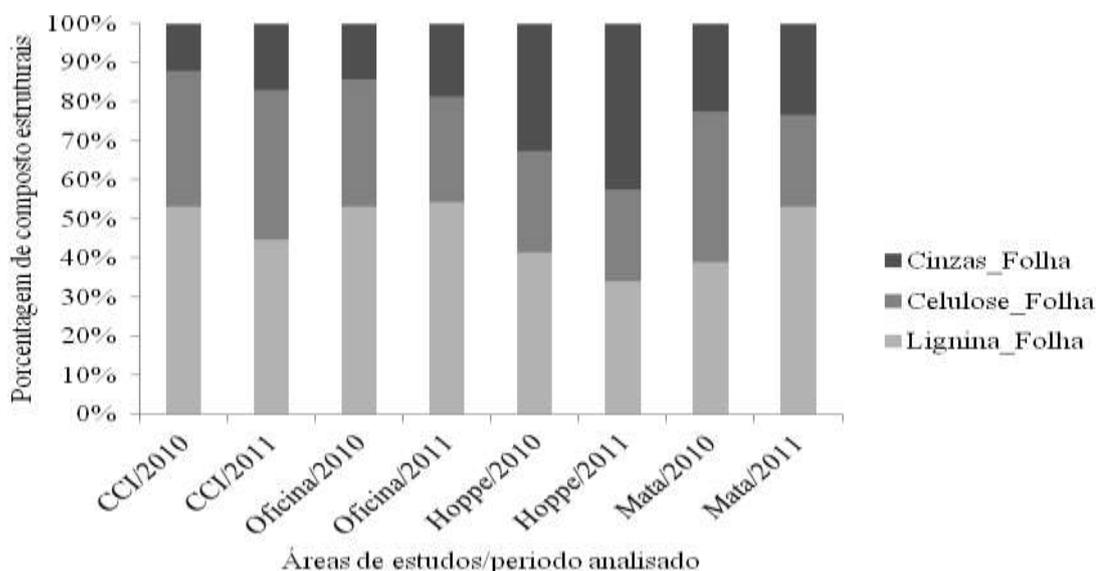


Figura 17. Valores em percentuais da composição química da fração folha presente na serrapilheira (lignina; celulose; cinzas), das áreas de estudos durante os períodos analisados.

A composição química da fração galhos (período 2010) não apresentou diferenças estatísticas para as variáveis Ca, K, Mg e N, já a variável P diferiu estatisticamente entre as

áreas de estudos (Tabela 22). Em 2011 a composição química da fração galhos não diferiu estatisticamente entre as áreas de estudos, observando as variáveis Ca, K e N, mas apresentou diferenças estatísticas entre as áreas para as variáveis Mg e P.

Tabela 22. Composição química (Ca, K, Mg, N e P) da fração galho presente na serrapilheira coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro 2011, Carajás-PA.

| Áreas de Estudos | Fração Galho (2010) | | | | |
|---------------------|---------------------|----------|-----------|--------|----------|
| | Ca (g/Kg) | K (g/Kg) | Mg (g/Kg) | N (%) | P (g/Kg) |
| CCI | 0,91 a | 1 A | 0,56 a | 0,34 a | 0,2 ab |
| Hoppe | 1,15 a | 1 A | 0,32 a | 0,33 a | 0,14 ab |
| Oficina | 0,92 a | 1,66 A | 0,5 a | 0,4 a | 0,28 a |
| Mata | 1,27 a | 1,33 A | 0,33 a | 0,4 a | 0,14 b |
| Fração Galho (2011) | | | | | |
| CCI | 0,99 a | 1,33 A | 0,62 a | 0,34 a | 1 A |
| Hoppe | 1,08 a | 2,66 A | 0,29 b | 0,33 a | 1 A |
| Oficina | 0,94 a | 1,33 A | 0,45 ab | 0,43 a | 1 A |
| Mata | 1,16 a | 1 A | 0,35 ab | 0,38 a | 0 B |

Valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (5%). Valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste T Bonferroni.

A composição química da fração folhas coletada em 2010, não diferiu estatisticamente entre as áreas de estudos observando as variáveis K, Mg, N e P, contudo as variáveis Ca e P apresentaram diferenças estatísticas entre as áreas (Tabela 23). Na coleta realizada em 2011, a análise química da fração folhas, não apresentou diferenças estatísticas entre as áreas de estudos para as variáveis analisadas.

Tabela 23. Composição química (Ca, K, Mg, N e P) da fração folha presente na serrapilheira coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro 2011.

| Áreas de Estudos | Fração Folha (2010) | | | | |
|---------------------|---------------------|----------|-----------|--------|----------|
| | Ca (g/Kg) | K (g/Kg) | Mg (g/Kg) | N (%) | P (g/Kg) |
| CCI | 1,02 b | 0,33 a | 0,59 a | 0,45 a | 0,27 ab |
| Hoppe | 1,3 a | 0,4 a | 0,53 a | 0,51 a | 0,21 ab |
| Oficina | 1,05 ab | 0,46 a | 0,59 a | 0,5 a | 0,33 a |
| Mata | 1,17 ab | 0,55 a | 0,38 a | 0,49 a | 0,18 b |
| Fração Folha (2011) | | | | | |
| CCI | 9 A | 0,39 a | 2,66 A | 1,66 A | 1 A |
| Hoppe | 12,66 A | 0,5 a | 1 A | 1,33 A | 1 A |
| Oficina | 7,66 A | 0,34 a | 1,66 A | 2 A | 1 A |
| Mata | 15 A | 0,36 a | 1,33 A | 2 A | 1 A |

Valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (5%). Valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste T Bonferroni.

A partir destes resultados utilizamos a análise multivariada PCA a fim de verificar a relação entre a qualidade da serrapilheira e as áreas de estudos. Os resultados obtidos a partir dos dados do ano de 2010 explicaram 37,13% no eixo horizontal e 19,14% no eixo vertical da variação total (Figura 18).

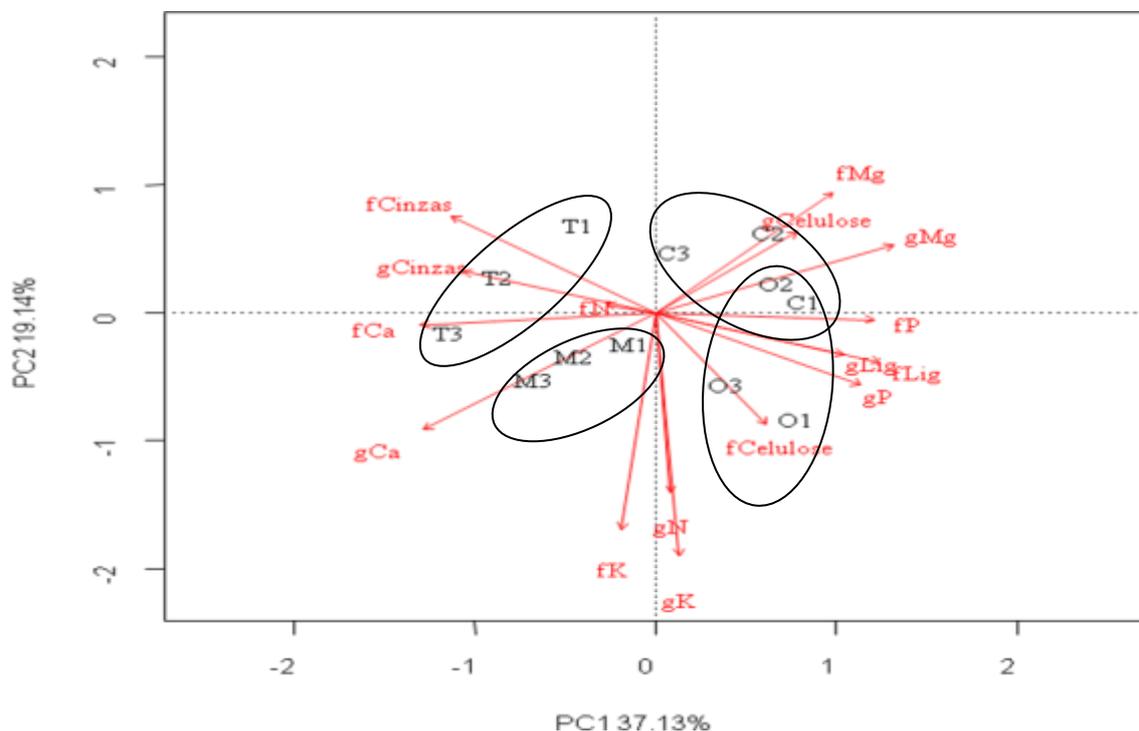


Figura 18. Análise multivariada dos componentes principais (PCA-Biplot), usando scores da análise química da fração galho e fração folha, como explicativas para as áreas de estudos. As variáveis iniciadas com a letra “G” representa a fração “Galho” e as variáveis iniciadas com a letra “F” representa a fração “Folha”. Dados coletados em fevereiro de 2010. As iniciais C representam a área CCI, as iniciais O representam a área Oficina, as iniciais T representam a área Hoppe e as iniciais M representam a área Mata.

As áreas ficaram distintamente agrupadas, estando o Hoppe e a Mata alocadas na faixa negativa do eixo horizontal, e a Oficina, juntamente com o CCI ficaram alocados na faixa positiva do eixo horizontal.

Os resultados demonstram que a qualidade da serrapilheira da área Hoppe é semelhante a da Mata, sendo as variáveis Cálcio (fração galho e folha), Nitrogênio (fração folha) e cinzas (fração galho e folha) explicativas da semelhança entre as áreas.

A explicação da proximidade entre as áreas certamente está relacionada com diversidade florística entre as mesmas, que é variável, visto que o tempo de recuperação da área Hoppe é irrisório, em relação à cronologia da Mata. Contudo a vegetação presente na área Hoppe poderia ser semelhante a Mata, se ambas estivessem no mesmo estágio sucessional.

As áreas CCI e Oficina, quando comparadas com a área controle (Mata), apresentam atributos químicos diferentes capazes de explicar os agrupamentos, porém estas áreas demonstram ter entre si uma serrapilheira com uma qualidade química semelhante, como celulose (fração galho e folha), N (fração galho e folha), Mg (fração galho e folha), lignina

(fração galho e folha) e fósforo (fração galho e folha). Certamente a composição química da serrapilheira foi influenciada pela diversidade vegetal, visto que o processo de recuperação das duas áreas utilizou da mesma técnica de recuperação, inclusive coquetéis de sementes semelhantes, contudo esta composição pode ter sido influenciada pela sazonalidade, idade da folha (SOBRADO & MEDINA 1980; MARIN & MEDINA 1981), luz disponível (DRECHSEL & ZECH 1991), lixiviação (WARING & SCHLESINGER 1985; MARSCHNER 1986) e o tipo de substrato (VITOUSEK & STANFORD 1986; THOMPSON *et al.* 1992).

A avaliação multivariada pelo método dos componentes principais (PCA-Biplot) para o ano 2011 explicou no Eixo horizontal (PC1) 42,2% e no eixo vertical (PC2) 24,1% da variação total (Figura 19).

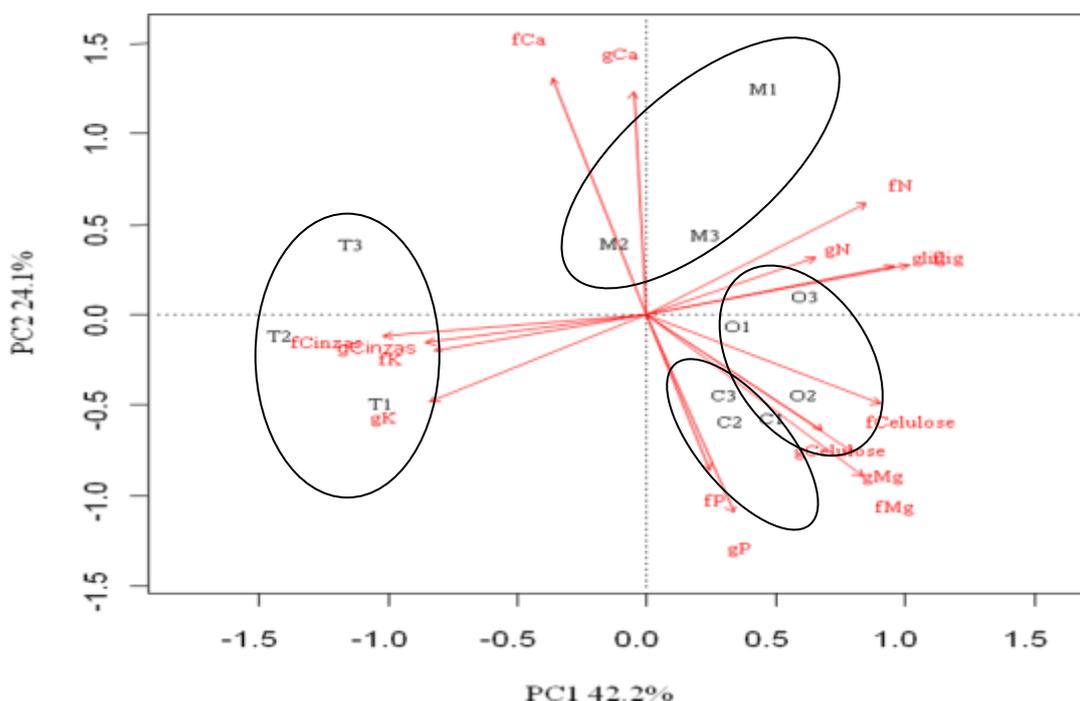


Figura 19. Análise multivariada dos componentes principais (PCA-Biplot), usando scores da análise química da fração galho e fração folha, como explicativas para as áreas de estudos. As variáveis iniciadas com a letra “G” representa a fração “Galho” e as variáveis iniciadas com a letra “F” representa a fração “Folha”. Dados coletados em fevereiro de 2011. As iniciais C representam a área CCI, as iniciais O representam a área Oficina, as iniciais T representam a área Hoppe e as iniciais M representam a área Mata.

Comparando-se a análise dos componentes principais (PCA-Biplot) para o ano 2010 e ano 2011, observamos uma leve alteração na posição das áreas, porém identificamos um agrupamento forte entre as áreas CCI e Oficina, já as áreas Mata e Hoppe, observamos um agrupamento dissipado.

As variáveis químicas explicativas para o agrupamento das áreas de estudos permaneceram as mesmas, durante os períodos analisados, porém apresentaram uma pequena rotação nos eixos.

As áreas Mata e Hoppe foram agrupadas em função dos elementos Ca e N presentes nas frações galho e folha. Estes elementos apresentaram as maiores concentrações para estas

áreas de estudos dentre as áreas avaliadas. Boerges *et al* (2005) encontraram altas concentrações de N nas folhas a medida que aumenta o processo sucessional, confirmando os resultados aqui apresentados para área Mata, contudo para área Hoppe por estar no início do processo de revegetação é impossível adotar os mesmos conceitos, conforme Reich *et al.*, (1995) que não encontrou diferença estatísticas em gradientes sucessionais na floresta amazônica.

A variável responsiva Ca favorece a decomposição mais rápida do folheto quando presente em altas concentrações (SILVER & MIYA, 2001), contudo a decomposição é influenciada pela umidade no solo, resultado do fechamento do dossel (BORKEN & BEESE, 2006). Em concordância, a área Mata e Hoppe apresentaram os maiores valores de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (Cap. 1), portanto apresentam um dossel mais fechado em relação às demais áreas de estudos. A estrutura formada pelo dossel auxilia na manutenção da umidade, favorecendo a lixiviação física de compostos solúveis e a atividade microbiana (CLEVELAND *et al.*, 2004; GUO *et al.*, 2006, HOBBIIE *et al.*, 2010).

Apesar de estudos citarem que elevadas concentração de Ca e N não favorecem o acúmulo de serrapilheira, encontramos os maiores estoques para as Hoppe e Mata, por isso é presumido que possivelmente compostos recalcitrantes estejam retardando o processo de decomposição, favorecendo o acúmulo (PICCOLO *et al.*, 1999).

As áreas Oficina e CCI tiveram a lignina, celulose, Mg e P como as variáveis responsivas pelos agrupamentos. Dentre esses fatores, a lignina, é um dos componentes estruturais principais da serrapilheira e muitas das vezes apontado como o fator limitante da decomposição (McCLAUGHERTY & BERG, 1987; OSONO & TAKEDA, 2004), sendo que a liberação gradativa dos elementos presentes na serrapilheira ocorre através da ação da ligninase, presente nos microorganismos lignina-degradantes (BERG & McCLAUGHERTY, 2008).

Altos teores de frações de lignina são encontrados para a maioria dos tipos de serrapilheira nos estágios iniciais de decomposição (OSONO & TAKEDA, 2005), corroborando com as presentes áreas de estudos.

A variável P, como explicativa para as áreas CCI e Oficina, pode estar correlacionada com o tempo de revegetação, pois segundo Boeger *et al* (2005) estudando nutrientes foliares de espécies arbóreas em diferentes estágios de sucessão, constatou-se o aumento da concentração deste elemento ao longo da sucessão. A importância deste elemento é altamente abordada em trabalhos sobre a regulação da atividade microbiana no processo de ciclagem de nutrientes (GHOLZ *et al.*, 2000; HÄTTENSCHWILER *et al.*, 2005; PRATA & MIYA, 2001; XU & HIRATA, 2005), pois o P é um dos fatores limitantes em alguns ecossistemas tropicais, e sua disponibilidade através da decomposição do substrato não é simples (McGRODDY *et al.*, 2004). As altas concentrações de P nas espécies que estão compondo a comunidade vegetal das áreas CCI e Oficina estará influenciando na fertilidade do substrato, pois a decomposição é um grande componente do ciclo do P, representando cerca de 90% do P absorvido pelas plantas (CHAPIN *et al.*, 2002). Segundo Kwabiah *et al.*, (2001) o teor de P é determinante, e importante na decomposição e liberação de nutrientes, dentre os outros elementos constituintes da serrapilheira.

Possivelmente os teores de lignina e celulose foram as variáveis responsivas para as áreas CCI e Oficina, em resposta a maior densidade de indivíduos de *Mimosa acutitipula* (Fabaceae) pertencentes a fitofisionomia de campos rupestres. O local de ocorrência natural desta espécie tem como características a baixa espessura de solo (altos teores de Al e Fe), que favorece a degradação da serrapilheira pela ação climática, e, por conseguinte, a maior lixiviação dos nutrientes. Estas características apresentadas no local de ocorrência destas

espécies fizeram com que estes indivíduos desenvolvessem uma serrapilheira com teores elevados destes componentes estruturais (lignina e celulose), a fim de evitar a decomposição acelerada, e perda de nutrientes por lixiviação ou volatilização.

A variável Mg como responsiva para o agrupamento das áreas CCI e Oficina, indica que as áreas estão no processo inicial de sucessão, já que a medida que o processo de sucessão ocorre a concentração deste elemento tende a diminuir (BOEGER, *et al.*, 2005).

3.2 FERTILIDADE DO SOLO

Os resultados encontrados nas análises de fertilidade dos substratos não apresentaram um padrão claro de distribuição (Tabela 24). Como exemplo temos o elemento potássio, que na área de Mata (prof. 0cm-2,5cm) apresentou 13,67 mg/dm³ (fevereiro de 2010), e em fevereiro de 2011 a análise de fertilidade realizada na mesma profundidade de 0 cm a 2,5 cm apresentou 117 mg/dm³, significando uma grande heterogeneidade espacial dos elementos químicos no solo, resultado da mobilidade, volatilização, solubilização e lixiviação, processos os quais a maioria dos elementos químicos irão sofrer durante as fases da ciclagem de nutrientes.

Tabela 24. Atributos químicos do substrato das áreas de estudo para as profundidades 0 a 2,5 cm em fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011 e 0 a 15 cm em fevereiro em 2011, Carajás-PA.

| | | fev/10 | | | | | | | | |
|----------|---------|------------------|--------------------------|--------|--|------------------|------------------|------|------|------|
| 0-2,5 cm | Áreas | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | M.O |
| | | H ₂ O | -- mg/dm ³ -- | | ----- Cmol _c /dm ³ ----- | | | | | |
| | CCI | 4,6 | 3,21 | 43,66 | 0,87 | 0,44 | 0,51 | 4,51 | 1,43 | 2,34 |
| | Hoppe | 4,6 | 2,53 | 57,83 | 1,55 | 0,52 | 0,41 | 5,16 | 2,22 | 2,94 |
| | Oficina | 5,8 | 7,46 | 33,00 | 1,42 | 0,46 | 0,00 | 1,86 | 1,97 | 1,21 |
| | Mata | 5,5 | 9,00 | 13,67 | 0,54 | 0,26 | 0,00 | 1,50 | 0,83 | 0,38 |
| | | fev/11 | | | | | | | | |
| 0-2,5 cm | Áreas | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | M.O |
| | | H ₂ O | -- mg/dm ³ -- | | ----- Cmol _c /dm ³ ----- | | | | | |
| | CCI | 5,06 | 10,32 | 89,83 | 1,26 | 1,91 | 0,10 | 6,48 | 3,40 | 4,33 |
| | Hoppe | 5,42 | 0,83 | 107,17 | 3,52 | 0,95 | 0,03 | 3,63 | 4,74 | 3,27 |
| | Oficina | 4,79 | 18,08 | 50,83 | 1,51 | 0,83 | 0,05 | 4,22 | 2,47 | 2,15 |
| | Mata | 4,52 | 1,32 | 117,00 | 4,68 | 1,00 | 0,36 | 8,32 | 5,98 | 7,57 |
| | | fev/11 | | | | | | | | |
| 0-15 cm | Áreas | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | M.O |
| | | H ₂ O | -- mg/dm ³ -- | | ----- Cmol _c /dm ³ ----- | | | | | |
| | CCI | 4,64 | 5,27 | 17,33 | 0,37 | 0,65 | 0,26 | 2,20 | 1,06 | 0,79 |
| | Hoppe | 5,11 | 1,00 | 60,33 | 2,41 | 0,56 | 0,07 | 4,07 | 3,12 | 2,41 |
| | Oficina | 5,23 | 16,67 | 27,33 | 1,33 | 0,54 | 0,00 | 2,67 | 1,94 | 1,10 |
| | Mata | 4,37 | 1,00 | 57,67 | 1,11 | 0,36 | 1,30 | 6,40 | 1,61 | 2,76 |

Os valores de pH em água variaram de 4,3 a 5,8, valores típicos dos solos brasileiros, caracterizando que os substratos estão caminhando para valores encontrados para a maioria dos solos.

Os valores de fósforo foram baixos, concentração típica para os solos brasileiros, sendo que os maiores valores foram encontrados nas áreas CCI e Oficina, certamente resultado do processo de adubação de plantio que foi realizado antes do processo de revegetação. A baixa disponibilidade de fósforo dentre outros nutrientes no substrato, induz a seleção de espécies que necessita de baixos níveis nutricionais e sistemas eficientes para absorver e utilizar os nutrientes em pequena quantidade no substrato. As espécies secundárias podem reciclar nutrientes em maior quantidade do que as espécies primárias e algumas plantas podem restaurar o P e o K nas camadas mais superficiais do solo (KELLMAN, 1969). Isto explicaria porque algumas espécies que foram utilizadas na revegetação das áreas saíram do sistema e outras se estabeleceram sobre os substratos inférteis.

A variabilidade encontrada nas análises realizadas durante os períodos analisados (2010 e 2011) são facilmente encontrados em substratos florestais dependendo da topografia existente (AIDAR *et al.*, 2001; BOTREL *et al.*, 2002). A variação apresentada para alguns elementos (P, K e M.O) na profundidade 0 cm - 2,5 cm dentre os períodos analisados, pode estar correlacionada a amostragem e/ou análise laboratorial.

A fertilidade do solo das áreas de estudos apresentou resultados que foram semelhantes para os elementos P, K, Ca e Mg encontrados por Nunes (2009), avaliando a relação solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre Canga (Carajás-PA). Contudo os valores pH (H₂O) foram maiores e o valores de H+Al e M.O. foram menores nas análises realizadas por Nunes (2009).

A baixa concentração de matéria orgânica (M.O.) evidencia que a serrapilheira aportada pela vegetação está sofrendo o processo de decomposição, e os elementos estão sendo disponibilizados através da ciclagem de nutrientes.

A disponibilização dos nutrientes através da ciclagem de nutrientes provavelmente está sendo favorecida pelos baixos valores de alumínio (Al⁺³), pois altas concentrações deste elemento afetam a disponibilização de alguns nutrientes, atuando também no crescimento e desenvolvimento de raiz das espécies vegetais (AUSTRHEIM *et al.*, 2005; GEGOUT *et al.*, 2003).

De uma forma geral os resultados da fertilidade solo das áreas revegetadas denotam que, apesar do baixo tempo de revegetação sobre substrato completamente alterado, a fertilidade está compatível com valores encontrados por autores avaliando áreas em processo de recuperação. O aumento da fertilidade do solo das áreas revegetadas é altamente necessário, pois ambientes de baixa fertilidade restringem o desenvolvimento de algumas espécies florestais arbóreas (AIDAR *et al.*, 2001). Espera-se que o aumento no tempo de revegetação das áreas de estudos poderá facilitar o aparecimento e a dominância de espécies de maior porte (COOMES & GRUBB, 2000).

3.3 MONITORAMENTO DA FAUNA EDÁFICA

A utilização da fauna do solo como indicador do processo de recuperação ambiental foi amplamente necessário e útil para interpretarmos os resultados deste trabalho, visto que os organismos do solo compreendem um grande número de espécies, que desempenham um papel central em várias funções do ecossistema, funcionando como uma força motriz na ciclagem de nutrientes através da fragmentação e ingestão de compostos presentes na

serrapilheira, favorecendo a mineralização do resíduo vegetal (HOFFER *et al.*, 2001; LAVELLE *et al.*, 2001; BARROS *et al.*, 2004; HUHTA, 2007; YANG *et al.*, 2007).

As avaliações realizadas utilizando a fauna do solo no período de 2010 não apresentaram diferença estatística entre as áreas revegetadas, observando-se a variável abundância (indivíduos.armadilha.dia⁻¹), contudo estas diferiram estatisticamente da Mata. Enquanto que as áreas revegetadas apresentavam cerca de 25 (Hoppe), 32 (CCI) e 36 (Oficina) indivíduos capturados por armadilha por dia, na área Mata foram capturados cerca de 83 indivíduos ind.arm.dia⁻¹. No segundo ano de avaliações (2011) as áreas não diferiram estatisticamente entre si, e apresentaram uma redução no número de indivíduos capturados, menos a área CCI que apresentou um aumento no número de indivíduos capturados por dia quando comparados às avaliações em 2010.

Esta diminuição na abundância de indivíduos capturados por armadilha dia, pode ter sido influenciada por fatores climáticos (ANDERSON, 2009) (apesar dos períodos de coletas serem os mesmos). Porém tais flutuações entre períodos de coletas é fato ocorrente em estudos correlacionando a fauna do solo em ambientes em processo de recuperação (MOREIRA, 2010; LASTE, 2011).

A riqueza média da fauna apresentou diferença estatística entre as áreas de estudos para o primeiro ano de avaliação (2010), sendo que para o segundo ano (2011) não foi constatada diferença estatística entre as áreas de estudos. Em valores absolutos a área Oficina apresentou uma riqueza superior à área de Mata, durante os períodos analisados, contudo diferiu estatisticamente somente no primeiro ano de avaliação (Tabela 25).

Tabela 25. Índices encontrados para fauna do solo coletada em fevereiro de 2010 e fevereiro de 2011, nas áreas de estudos, Carajás-PA.

| Áreas | Ind.arm.dia ⁻¹ | Riqueza total | Riqueza média | Pielou |
|---------|---------------------------|---------------|---------------|--------|
| CCI | 32,90 ± 0,95 b | 18 | 13,67 b | 0,67 |
| Hoppe | 25,81 ± 9,07 b | 14 | 11,33 b | 0,37 |
| Oficina | 36,62 ± 9,39 b | 25 | 19,33 a | 0,67 |
| Mata | 83,81 ± 3,42 a | 24 | 16,67 ab | 0,40 |
| CCI | 42.23 ± 18,66 a | 24 | 16,00 a | 0,29 |
| Hoppe | 7.023 ± 2,22 a | 17 | 12,33 a | 0,63 |
| Oficina | 12.40 ± 1,31 a | 23 | 15,67 a | 0,59 |
| Mata | 20.59 ± 2,23 a | 19 | 13,00 a | 0,44 |

Valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste T Bonferroni a probabilidade de 5%.

O índice de equabilidade (Pielou) se manteve na mesma proporção para área Mata entre os períodos analisados. Este resultado foi influenciado pela alta abundância da subordem Poduromorpha, da ordem Collembola como indicadores da qualidade do solo, pois são altamente influenciados por distúrbios ambientais (PONGE *et al.*, 2003; CUTZ-POOL *et al.*, 2007). As demais áreas de estudos apresentaram flutuações nos índices durante os períodos analisados, sendo a área CCI altamente influenciada em 2011 pela alta abundância do grupo Formicidae, acarretando na diminuição dos índices. A área Hoppe em 2010 apresentou baixos índices influenciados pela alta abundância do grupo Entomobryomorpha, já a área Oficina manteve um padrão de índices durante os períodos analisados.

Os resultados das análises estatísticas dos nove grupos de fauna mais abundantes e o grupo denominados de “outros” (Araneae, Auchenorrhyncha, Blattodea, Chilopoda, Diplopoda, Diplura, Diptera, Heteroptera, Isopoda, Isoptera, Larva Lepidoptera, Larva Formicidae, Oligochaeta, Orthoptera, Pseudoscorpionida, Symphyla, Thysanoptera) apontaram que a maioria dos grupos não diferem estatisticamente entre as áreas, somente o grupo Poduromorpha apresentou diferença estatística entre as áreas de estudos para o ano de 2010. Os restante dos grupos não diferiram estatisticamente no período analisado (Tabela 26). A composição relativa dos grupos de fauna (Figura 20), indicou que o grupo Entomobryomorpha apresenta alta abundância nas áreas revegetadas, apesar de não apresentar diferir estatisticamente. Este grupo é utilizado frequentemente como indicador da qualidade ambiental (PONGE *et al.*, 2003).

Tabela 26. Abundância média, dos dez grupos de fauna mais representativos encontrados nas áreas de estudos (fevereiro/2010), Carajás-PA.

| | Áreas de Estudos | | | |
|------------------|------------------|---------|---------|---------|
| | CCI | Hoppe | Oficina | Mata |
| ACARI | 9,26 a | 0,00 a | 8,48 a | 3,07 a |
| COLEOPTERA | 2,97 a | 4,43 a | 5,37 a | 2,67 a |
| DIPTERA | 1,95 a | 1,38 a | 3,62 a | 1,42 a |
| ENTOMOBRYOMORPHA | 10,13 a | 76,20 a | 32,75 a | 10,40 a |
| FORMICIDAE | 29,67 a | 10,33 a | 20,00 a | 6,02 a |
| HYMENOPTERA | 2,03 A | 0,55 A | 3,56 A | 0,51 A |
| LARVA DIPTERA | 1,88 A | 1,48 A | 3,50 A | 0,31 A |
| PODUROMORPHA | 19,39 ab | 2,21 b | 8,09 ab | 66,92 a |
| SYMPHYPLEONA | 20,04 a | 0,09 a | 5,89 a | 6,99 a |
| OUTROS | 2,68 a | 3,32 a | 8,74 a | 1,62 a |

Valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não diferem significativamente entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (5%). Valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma linha não diferem significativamente entre si pelo teste T Bonferroni.

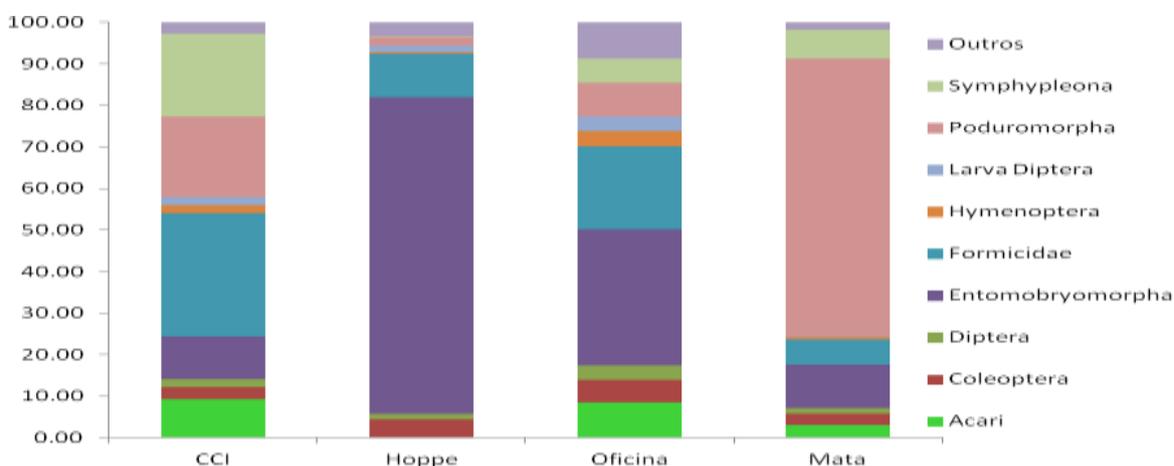


Figura 20. Composição relativa dos dez grupos de fauna do solo mais abundantes ocorrentes nas áreas de estudos em fevereiro de 2010, Carajás-PA.

No ano de 2011 somente os grupos Coleoptera e Formicidae apresentaram diferenças estatísticas entre as áreas de estudos, e não diferindo estatisticamente os demais grupos mais abundantes (Tabela 27). A composição relativa sofreu alteração quando comparada a 2010 (Figura 21), sendo o grupo formicidae altamente representativo nas áreas de estudos e diferindo estatisticamente.

Tabela 27. Abundância média, dos dez grupos de fauna mais representativos encontrados nas áreas de estudos (fevereiro/2011), Carajás-PA.

| | Áreas de Estudos | | | |
|------------------|------------------|----------|----------|---------|
| | CCI | Hoppe | Oficina | Mata |
| ACARI | 0,51 A | 1,02 A | 3,07 A | 0,69 A |
| COLEOPTERA | 1,75 ab | 11,19 b | 28,02 a | 7,98 ab |
| DIPTERA | 1,52 a | 2,03 a | 3,26 a | 1,73 a |
| ENTOMOBRYOMORPHA | 1,35 a | 5,42 a | 1,92 a | 3,82 a |
| FORMICIDAE | 79,59 a | 50,51 ab | 43,19 ab | 11,21 b |
| HYMENOPTERA | 0,73 a | 1,36 a | 3,45 a | 0,69 a |
| LARVA DIPTERA | 1,18 a | 14,24 a | 3,07 a | 3,12 a |
| PODUROMORPHA | 0,11 a | 0,00 a | 0,00 a | 66,24 a |
| SYMPHYPLEONA | 0,17 A | 0,00 A | 0,77 A | 0,92 A |
| OUTROS | 12,74 a | 14,24 a | 12,28 a | 3,58 a |

Valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não diferem significativamente entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (5%). Valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma linha não diferem significativamente entre si pelo teste T Bonferroni.

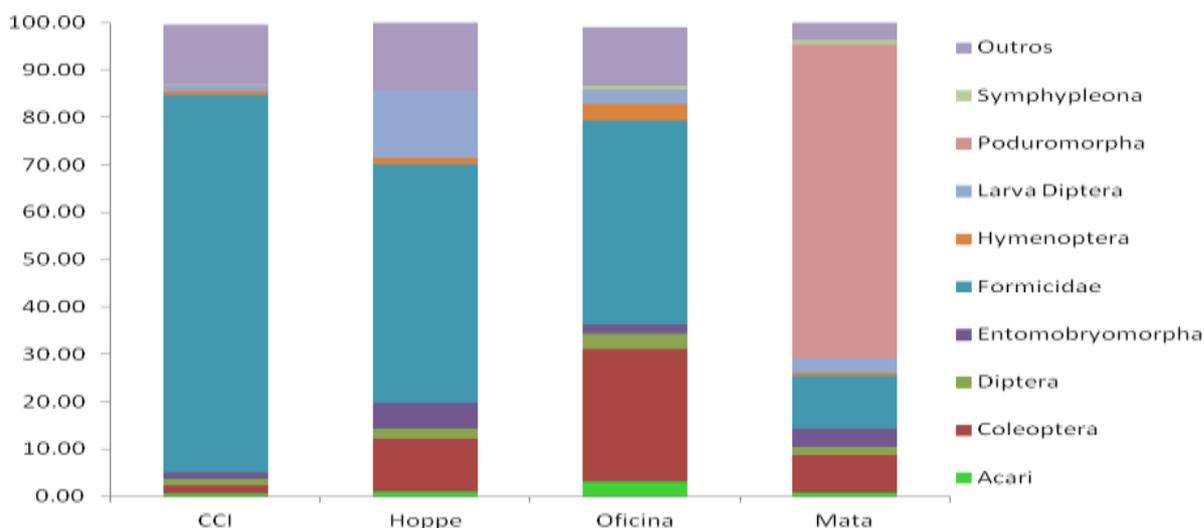


Figura 21. Riqueza dos dez grupos de fauna do solo mais abundantes ocorrentes nas áreas de estudos em fevereiro de 2011, Carajás-PA.

O grupo Formicidae apresentou altos índices de abundância dentre as áreas vegetadas e dentre os períodos analisados, sendo o mais representativo na coleta realizada em 2011. O grupo Formicidae é considerado por alguns pesquisadores como o grupo mais importante da

fauna em regiões tropicais, devido a sua diversidade e abundância (PELLENS & GARAY, 2000; SILVA & SILVESTRE, 2004; MOCO *et al.*, 2005).

Devido a instabilidade, e má conformação do substrato onde foram implantadas as áreas de estudos (áreas revegetadas), a alta abundância do grupo Formicidae desempenha papéis ecológicos importantes, auxiliando no crescimento da vegetação, realizando atividades de controle biológico de pragas, melhoria da aeração do solo, melhoria da infiltração de água no solo e incorporação de matéria orgânica (FOLGARAIT, 1998). Neste estudo não abordamos a identificação das espécies do grupo Formicidae que estão ocorrendo nas áreas, mas tal trabalho pode vir a ser executado em um futuro próximo, visto que as formigas são amplamente utilizadas como indicadores da qualidade e restauração ambiental (ANDERSEN & MAJER, 2004; GOLLAN *et al.*, 2011), o que irá subsidiar os trabalhos de avaliação dos processos de revegetação.

Espécies pertencentes ao grupo Acari contribuíram para que o grupo se destacou dentre os dez mais abundantes, principalmente nas áreas CCI e Oficina. Tal fato pode estar relacionado a atratividade deste grupo por serrapilheira com elevados teores de Ca na sua composição química, pois este elemento é um dos componentes estruturais do exoesqueleto (ADEJUYIGBE *et al.*, 2006), por isso as áreas CCI e Oficina apresentaram uma abundância maior deste grupo, pois a composição química serrapilheira é mais rica em Ca do que nas áreas Hoppe e Mata.

O Grupo Coleoptera esteve dentre os dez grupos mais abundantes nas áreas de estudos, uma explicação da alta abundância de indivíduos pertencentes ao grupo se correlaciona com o fato que estes são excepcionais degradadores de madeira (CARVALHO, 1996). As áreas CCI e Oficina apresentaram um elevado índice de tombamento de indivíduos pertencentes a espécie *Mimosa acustitipula* (observações in loco), portanto favorecendo, e aumentando a oferta de troncos de madeira para serem decompostos. A área Hoppe detém na composição do substrato utilizado na formação do talude, tronco de árvores como resíduo do processo de supressão de vegetação, e a área Mata disponibiliza troncos de árvores através do processo natural sucessão, onde as espécies após atingir a maturidade morrem oferecendo espaço aos indivíduos mais jovens. Portanto cada área fornece e favorece cada área com suas peculiaridades, o aparecimento de indivíduos do grupo Coleoptera.

A diversidade proporcionada pelos grupos Symphypleona, Poduromorpha, Entomobryomorpha, corresponde a respectivamente 78,5% e 84,3% da abundância total de indivíduos encontrados nas áreas Hoppe e Mata, já as áreas CCI e Oficina foram representadas por 49,5% e 46,7% da abundância total por estes grupos, respectivamente (amostragem fevereiro de 2010). A baixa abundância de Collembolas nas áreas CCI e Oficina pode estar correlacionada com a abundância de espécies leguminosas (PARTSCH *et al.*, 2006; EISENHAUER *et al.*, 2010)

Para a coleta realizada em fevereiro de 2011 estes valores não foram bem demarcados, sendo expressivos somente para a área Mata com 70,9% da abundância total. A área Hoppe apresentou uma diminuição na porcentagem de indivíduos pertencentes à ordem Collembola. Provavelmente tal fato está relacionado com o tempo de revegetação, já que a primeira avaliação ocorreu um ano após a adição do substrato (top soil) para revegetação do talude (Hoppe). No segundo ano de avaliação o substrato top soil, certamente começou a ser influenciado pelos fatores edafoclimáticos e como consequência houve a diminuição do grupo Collembola e aumento do grupo Formicidae.

O estudo destes grupos como indicadores biológicos são altamente recomendados, visto que são famílias sensíveis às interferências antrópicas, atuando como indicador da qualidade do solo (PONGE *et al.*, 2003; CUTZ-POOL *et al.*, 2007), porém a falta de

taxonomistas especializados prejudica os estudos que abordam espécies desta família (ZEPPELINI FILHO & BELLINI, 2004).

Estes grupos são altamente sensíveis também a outros fatores como alterações nas condições climáticas (sazonalidade), tipo de manejo do solo, histórico das áreas, condições químicas e microbiológicas do solo, além de outros efeitos, como maior quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (serrapilheira) (CASSAGNE *et al.*, 2006; SALAMON *et al.*, 2008), que proporcionam um ambiente mais ou menos favorável para a sobrevivência das famílias de colêmbolos (CHAUVAT *et al.*, 2003; PONGE *et al.*, 2003; CASSAGNE *et al.*, 2006; CUTZ-POOL *et al.*, 2007, SALAMON *et al.*, 2008).

O monitoramento da fauna indicou que as áreas CCI e Oficina possuem uma maior correlação quando comparadas com as áreas Hoppe e Mata (Figura 22), em fevereiro de 2010. Tal fato era esperado, pois a metodologia de conformação de talude e revegetação foram semelhantes para ambas (CCI e Oficina), portanto os resultados do processo da conformação de talude foram refletidos nas comunidades de invertebrados do solo (BARROS *et al.*, 2002, 2003; DECAENS *et al.*, 2004; CASSAGNE *et al.*, 2006; ROSSI & BLANCHART, 2005), juntamente com a diversidade vegetal e qualidade da serrapilheira produzida (MOCO *et al.*, 2005; ROSSI & BLANCHART, 2005; SILESHI & MAFONGOYA, 2006; WARDLE *et al.*, 2006).

Porem em 2011 a análise de similaridade de Cluster pela distancia euclidiana, apresentou mudança marcantes, ficando a área CCI distantes das áreas revegetadas, tanto quanto da área controle (Mata) (Figura 23). Provavelmente a vegetação influenciou esta dinâmica apresentada, onde vários fatores podem estar correlacionados, como a heterogeneidade espacial da camada de serrapilheira que proporciona pequenas diferenças de escala na composição da comunidade da fauna edáfica (VOHLAND & SCHROTH, 1999; LAVELLE *et al.*, 2003), ou outros fatores até o momento não identificados.

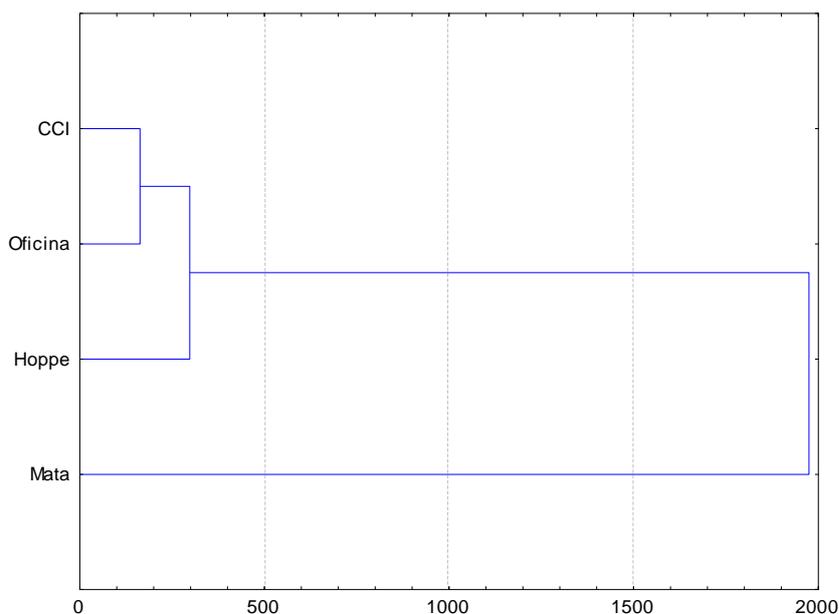


Figura 22. Distancia Euclidiana entre áreas de estudos, utilizando a análise multivariada de Cluster, utilizando os dados de abundância, índice de Shannon, número de indivíduos/armadilha. dia, índice de Pielou e riqueza dos dez grupos mais abundantes da fauna do solo (período 2010).

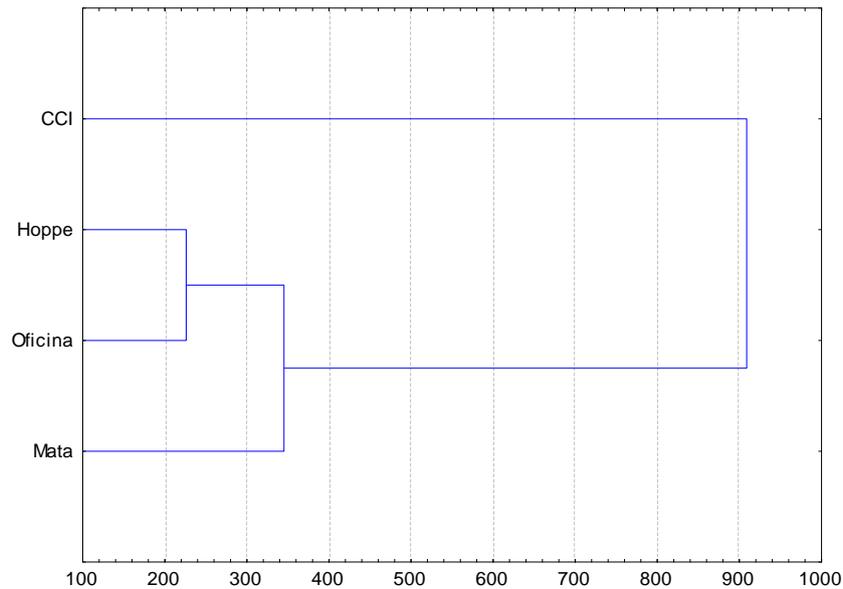


Figura 23. Distancia Euclidiana entre áreas de estudos, utilizando a análise multivariada de Cluster, utilizando os dados de abundância, índice de Shannon, número de indivíduos/armadilha. dia, índice de Pielou e riqueza dos dez grupos mais abundantes da fauna do solo (período 2011).

3.3.1 ÍNDICE DE MUDANÇA DA FAUNA DO SOLO

Os resultados do índice de mudança apontam que os grupos de fauna do solo das áreas revegetadas durante os períodos de avaliações estão sendo mais estimuladas e menos inibida. Contudo, no primeiro ano de avaliação foram encontrados 24 grupos ocorrendo na Mata e conjuntamente nas áreas revegetadas, porém no segundo ano de avaliação foram encontrados 19 de ampla ocorrência nas áreas de estudos.

Os grupos que ocorreram no primeiro ano de avaliação na Mata e não ocorreram no segundo ano foram respectivamente Blattodea, Chilopoda, Diplura, Larva de Coleoptera, Larva de Formicidae, Symphyla e Thysanoptera. No segundo ano de avaliação ocorreram grupos que não apareceram no primeiro ano de avaliação na área Mata, sendo respectivamente os grupos Isopoda e Oligochaeta.

Dentre os grupos citados acima somente os grupos Thysanoptera e Oligochaeta apresentaram a ocorrência de nenhum indivíduo dentre as áreas de estudos. Os demais grupos Blattodea, Chilopoda, Diplura, Larva de Coleoptera, Larva de Formicidae, Symphyla e Isopoda tiveram a abundância mínima de um indivíduo para no mínimo em uma das áreas revegetadas, e não estando entre os nove grupos mais abundantes.

Analisando individualmente a evolução das áreas de estudo a área CCI em 2010 apresentou 29,1% dos grupos de fauna estimulados, 66,6% inibidos e 4,1% sem alteração, já no ano de 2011 47,3% foram estimulados, 42,1% inibidos e 10,5% sem alteração.

Na área Hoppe no primeiro ano de avaliação 20,8% dos grupos sofreram certo grau de estimulação e 79,1% de inibição, contudo no segundo ano de avaliação 26,3% foram estimulados, 68,4% inibidos e 5,2% sem alteração.

Dentre as áreas revegetadas a área Oficina apresentou os maiores índices de estimulação dentre os períodos analisados, sendo que no primeiro ano 45,8% foram estimulados, 41,6% inibido e 12,5% sem alteração, no segundo ano foram 57,9% dos grupos estimulados e 42,1% inibidos (Tabela 28).

Tabela 28. Classificação dos grupos da fauna nas categorias inibição extrema (IE), inibição moderada (IM), inibição leve (IL), sem alteração (SA), estimulação leve (EL), estimulação moderada (EM) e estimulação extrema (EE) de acordo com a faixa de variação do índice de mudança calculado em relação a Mata, para os anos de 2010 e 2011.

| Grupos de fauna | Áreas/Período 2010 | | | Áreas/Período 2011 | | |
|-------------------|--------------------|-------|---------|--------------------|-------|---------|
| | CCI | HOPPE | OFICINA | CCI | HOPPE | OFICINA |
| Acari | EL | IE | EL | EL | IM | EM |
| Araneae | IM | IM | IL | EL | IM | IL |
| Auchenorrhyncha | IE | EE | EE | SA | EM | EL |
| Blattodea | EM | EL | EL | ----- | ----- | ----- |
| Chilopoda | IE | IE | SA | ----- | ----- | ----- |
| Coleoptera | IM | IL | IL | IM | IM | EM |
| Diplopoda | EM | IE | EE | SA | IE | EM |
| Diplura | IE | IE | IE | ----- | ----- | ----- |
| Diptera | IL | IM | EL | EL | IM | EL |
| Entomobryomorpha | IM | EM | EL | IL | IM | IM |
| Formicidae | EL | IL | EL | EE | EL | EM |
| Heteroptera | IL | EM | EM | EM | EE | EM |
| Hymenoptera | EL | IM | EM | EM | IL | EM |
| Isopoda | ----- | ----- | ----- | EE | IE | EE |
| Isoptera | IE | IE | IE | EM | IE | IE |
| Larva Coleoptera | IE | IM | IL | ----- | ----- | ----- |
| Larva Diptera | EM | EL | EM | IL | EL | IL |
| Larva Lepidoptera | IE | IE | EM | EL | SA | EE |
| Larva Formicidae | IE | IE | SA | ----- | ----- | ----- |
| Oligochaeta | ----- | ----- | ----- | IE | EM | EM |
| Orthoptera | IE | IL | IM | IM | IM | IL |
| Poduromorpha | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| Pseudoscorpionida | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| Symphyla | IE | IE | IE | ----- | ----- | ----- |
| Symphyleona | EL | IE | IM | IM | IE | IM |
| Thysanoptera | SA | IE | SA | ----- | ----- | ----- |

----- Grupo não ocorre na Área Mata

O índice de mudança da fauna contribuiu para indicar quais grupos poderão ser utilizados como indicadores da qualidade das áreas revegetadas. O grupo Formicidae durante os períodos analisados, manteve sempre determinado grau de estimulação, em decorrência do curto tempo de revegetação das áreas, mas segundo Moreira *et al* (2010) a abundância deste grupo poderá diminuir com o aumento do tempo de revegetação. Esta diminuição será influenciada também se as áreas estiverem apresentando condições ecológicas capazes de serem autosustentáveis, pois este grupo é utilizado como indicativo de áreas degradadas (SILVA & SILVESTRE, 2004).

A ordem Collembola constituída neste estudo pelos grupos Entomobryomorpha, Poduromorpha e Symphyleona, estiveram dentre os períodos analisados apresentando-se com graus de inibição, menos o grupo Entomobryomorpha que se apresentou estimulado no

primeiro ano de avaliação e inibido no segundo ano de avaliação. A ordem Collembola é altamente utilizada com indicador da qualidade ambiental (PONGE *et al.*, 2003), e certamente quando os grupos pertencentes a esta ordem estiverem apresentando graus de estimulação, as áreas do presente estudo estarão caminhando para estabilidade ecológica, por isso a importância deste trabalho na demarcação de parcelas permanentes em áreas revegetadas sobre taludes de estéril.

4. CONCLUSÃO

- As análises de fertilidade dos substratos das áreas revegetadas apesar do baixo tempo de revegetação apresentaram concentrações dos nutrientes semelhantes as encontradas no solo da Mata. A fertilidade das áreas CCI e Oficina certamente foram influenciados pela adubação e a área Hoppe apresentou fertilidade semelhante a Mata por ter como substrato o solo originário de uma região comum a Mata.
- O estoque de serrapilheira da Mata foi superior entre as demais áreas de estudos, já a área Hoppe teve um aumento no estoque durante os períodos analisados superando as áreas CCI e Oficina, mostrando a importância do substrato (top soil) como fornecedor de subsídios para formação de comunidade vegetal.
- Às áreas revegetadas CCI e Oficina apresentaram uma qualidade química da serrapilheira capaz de agrupar estas áreas entorno das concentrações de lignina, celulose, fósforo e magnésio, certamente influenciados pelas técnicas de revegetação adotada para as áreas. As áreas Hoppe e Mata apresentaram uma serrapilheira com qualidade semelhante em função das concentrações de Ca e N, certamente influenciada pelo substrato (top soil) utilizado na revegetação da área Hoppe.
- A ordem Collembola juntamente com o grupo Formicidae indicaram que as áreas revegetadas estão caminhando para uma maior estabilidade ecológica, porém às áreas de estudos apresentam características de áreas impactadas e em processo de recuperação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Projetos de revegetação, recuperação e/ou restauração em áreas de mineração devem ser documentados, gerando um histórico, pois as condições ambientais apresentadas vão da estruturação e formação do solo, à formação de uma vegetação ecologicamente funcional.

Neste estudo realizado não foi possível monitorar todas as etapas dos processos de revegetação, porque as áreas foram implantadas anteriormente ao Convênio entre a Embrapa Agrobiologia e a VALE.

A região do Complexo mineral de Carajás apresenta características fascinantes para a implantação de projetos de recuperação de áreas antropizadas. A região apresenta tipologias florestais muito singulares e complexas. Compreender as variáveis intrínsecas a cada tipologia, procurando reproduzi-las nas áreas degradadas, certamente irá apresentar resultados que apontará a mais adaptada do ponto de vista ecológico e funcional. Porém estas experimentações devem ser planejadas e delineadas adequadamente ao nível de parcelas permanentes, para que os resultados sejam interpretados corretamente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAIR, E.C.; PARTON, W.J.; DEL GROSSO, S.J.; SILVER, W.L.; HARMON, M.E.; HALL, S.A.; BURKES, I.C.; HART, S.C. Simple three-pool model accurately describes patterns of long-term litter decomposition in diverse climates. **Global Change Biology**, v. 14, p. 2636–2660, 2008.
- ADEJUYIGBE, C.O.; TIAN, G.; ADEOYE, G.O. Microcosmic study of soil microarthropod and earthworm interaction in litter decomposition and nutrient turnover. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 75, p. 47–55, 2006.
- AIDAR, M.P.M.; GODOY, J.R.L.; BERGMANN, J.; JOLY, C.A. Atlantic forest calcareous soil, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira-PETAR, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 4, p. 455-469, 2001.
- ALBERS, D.; MIGGE, S.; SCHAEFER, M.; SCHEU, S. Decomposition of beech leaves (*Fagus sylvatica*) and spruce needles (*Picea abies*) in pure and mixed stands of beech and spruce. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 36, n. 1, p. 155-164, 2004.
- ANDERSEN, A.N.; MAJER, J.D. Ants show the way down under: invertebrates as bioindicators in land management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, p. 291–298, 2004.
- ANDERSON, J.M. Why should we care about soil fauna? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.835-842, 2009.
- ANDERSON, J.M. Spatiotemporal effects of invertebrates on soil processes. *Biology and Fertility of Soils*, v. 6, p. 216-222, 1988.
- ANDERSSON, S.; NILSSON, S.I.; SAETRE, P. Leaching of DOC and DON in mor humus as affected by temperature and pH. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p.1–10, 2000.
- ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. de. Produção e decomposição de serrapilheira em um Sistema Agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.715-721, 2003.
- AUSTRHEIM, G.; EVJU, M.; MYSTERUD, A. Herb abundance and life-history traits in two contrasting alpine habitats in southern Norway. **Plant Ecology**, v. 179, p. 217-229, 2005.
- BARDGETT, R. **The biology of soil: a community and ecosystem approach**. Oxford University Press, Oxford. 2005.
- BARETTA, D.; FERREIRA, C.S.; SOUSA, J.P.; CARDOSO, E.J.B.N. Colêmbolos (hexapoda: collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, p. 2693-2699, 2008.

BARROS, E.; GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; MITJA, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. **Applied Soil Ecology**, v. 26, p.157–168, 2004.

BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E.C.M.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrisilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, v. 47, p. 273–280, 2003.

BARROS, E.; PASHANASI, B.; CONSTANTINO, R.; LAVELLE, P. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 338–347, 2002.

BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, v. 133, p. 13–22, 2000.

BERG, B.; McCLAUGHERTY, C.A. **Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration**, 2nd edn. Springer Verlag Heidelberg, Berlin. 2002.

BERG, G.; SMALLA, K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 68, p.1–13, 2009.

BLAIR, J.M. Nutrient release from decomposing foliar litter of three tree species with special reference to calcium, magnesium and potassium dynamics. **Plant Soil**, v. 110, p. 49 – 55, 1988.

BOEGER, M.R.T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C.R. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil, **Revista Brasileira de Botânica**. v.19, n. 1, p. 167-181, 2005.

BORKEN, W.; BEESE, F. Methane and nitrous oxide fluxes of soils in pure and mixed stands of European beech and Norway spruce. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 617–625, 2006.

BOTREL, R.T.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; RODRIGUES, L.A.; CURI, N. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 2, p. 195-213, 2002.

CALDERÓN, F.J.; JACKSON, L.E.; SCOW, K.M.; Microbial responses to simulated tillage in cultivated and uncultivated soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p.1547–59, 2000.

CARVALHO, A.G.; ROCHA, M.P.; SILVA, C.A.M.; LUNZ, A.M. Variação sazonal de Scolytidae (Coleoptera) numa comunidade de floresta natural de Seropédica, RJ. **Floresta e Ambiente** v.3, p. 9-14, 1996.

CASSAGNE, N.; GAUQUELIN, T.; BAL-SERIN, M.C.; GERS, C. Endemic Collembola, privileged bioindicators of forest management. **Pedobiologia (Jena)**, v. 50, p. 127–134, 2006.

CHAPIN, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. Springer-Verlag, New York, 2002.

CHAUVAT, M.; ZAITSEV, A.S. & WOLTERS, V. Successional changes of Collembola and soil microbiota during forest rotation. **Oecologia**, v. 137, p. 269-276, 2003.

CLEVELAND, C.C.; NEFF, J.C.; TOWNSEND, A.R.; HOOD, E. Composition, dynamics, and fate of leached dissolved organic matter in terrestrial ecosystems: results from a decomposition experiment. **Ecosystems**, v. 7, p. 275–285, 2004.

COLE, L.; DROMPH, K.M., BOAGLIO, V.; BARDGETT, R.D. Effect of density and species richness of soil mesofauna on nutrient mineralisation and plant growth. **Biology and Fertility of Soils** v. 39, p. 337-343, 2004.

COOMES, D.A. & GRUBB, P.J. Impacts of root competition in forests and woodlands: a theoretical framework and review of experiments. **Ecological Monographs**, v. 70, n. 2, p. 171-207, 2000.

CORREIA, M. E. F. **Relações entre a diversidade da fauna de solo e o processo de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 156), p. 33, 2002.

CORREIA, M.E.F.; REIS, L.L.; CAMPELLO, E.F.C.; FRANCO, A.A. **Populações de macrofauna do solo em agricultura itinerante na região de Mata Atlântica, RJ**. In: Workshop: O USO DA MACROFAUNA EDÁFICA NA AGRICULTURA DO SÉCULO XXI: A IMPORTANCIA DOS ENGENHEIROS DO SOLO. Anais... Londrina-PR: EMBRAPA SOJA, p. 200-220, 2003.

CUSACK, D.F.; CHOU, W.W.; YANG, W.H.; HARMON, M.E.; SILVER, W.L. The TLIDET Team. Controls on long-term root and leaf litter decomposition in neotropical forests. **Global Change Biol**, v. 15, p. 1339–1355, 2009.

CUTZ-POOL, L.Q.; PALACIOS-VARGAS, J.G.; CASTAÑOMENESES, G. & GARCÍA-CALDERÓN, N.E. Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, México. **Applied Soil Ecology**, v. 36, p. 46-52, 2007.

DANTAS, M. Produção de “litter” e seu conteúdo de nutrientes em floresta primária e capoeira da Amazônia Oriental. In: EMBRAPA/CPATU. **Pesquisas sobre utilização e conservação do solo na Amazônia Oriental**; relatório final do convênio EMBRAPA/CPATU-GTZ. Belém. p. 147-162, 1986.

DECAENS, T.; JIMENEZ, J.J.; BARROS, E.; CHAUVEL, A.; BLANCHART, E.; FRAGOSO, C.; LAVELLE, P. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 103, p. 301–312, 2004.

DINDAL, D. **Soil biology guide**. Ed. John Wiley and Sons. New York, p. 1348, 1990.

DRECHSEL, P. & ZECH, W. Foliar nutrient levels of broadleaved tropical trees: a tabular review. **Plant and Soil**, v. 131, p. 29-46, 1991.

DUNGER, W. **Arthropods in primary succession**. In: Proc. 4th ECE/XIII. Godollo: SIEEC, p. 696-702, 1991.

EISENHAUER, N.; SABAIS, A.C.W.; SCHONERT, F.; SCHEU, S. Soil arthropods beneficially rather than detrimentally impact plant performance in experimental grassland systems of different diversity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1418-1424, 2010.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de Métodos de Análise de Solos 2**. Ed.rev. e atual. Rio de Janeiro, p. 212, 1997.

FOLGARAIT, P.J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: the review. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, p. 1221–1244, 1998.

FROUZ, J.; KEPLIN, B.; PIZL, V.; TAJOVSKY, K.; STARY, J.; LUKESOVA, A.; NOVAKOVA, A.; BALIK, V.; HANEL, L.; MATERNA, J.; DUKER, Ch.; CHALUPSKY, J.; RUSEK, J.; HEINKELE, T. Soil biota and upper soil layers development in two contrasting post-mining chronosequences. **Ecological Engineering**, v.17, p. 275–284, 2001.

FROUZ, J.; Piz, V.; TAJOVSKY, K. The effect of earthworms and other saprophagous macrofauna on soil microstructure in reclaimed and un-reclaimed post-mining sites in Central Europe. **European Journal of Soil Biology**, v. 43, p. 184–189, 2007.

GALLO, D.; NAKANO, O.; NETO, S.S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C. de; FILHO, B.F.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D. **Manual de Entomologia Agrícola**. São Paulo: 2ª edição. Ed. Agronômica Ceres, 1988.

GARCIA, P.C.M.; MACEDO, M.O.; RESENDE, A.S.; CAMPELLO, E.F.C.; FRANDO, A.A. Estoque e distribuição da serrapilheira em diferentes Sistemas Florestais. **Revista Universidade Rural**, Série Ciência da Vida, UFRRJ, Seropédica, RJ, EDUR, v. 25, n. 1, p. 12-17, 2005.

GARTNER, T.B. & CARDON, Z.G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. **Oikos**, v. 104, n. 2, p. 230-246, 2004.

GÉGOUT, J.; HERVÉ, J.; HOULLIER, F.; PIERRAT, J. Prediction of forest soil nutrient status using vegetation. **Journal of Vegetation Science**, v. 14, p. 55-62, 2003.

GISLER, C. V. T. **Uso da serapilheira na recomposição da cobertura vegetal em áreas mineradas de bauxita**, MG. 1995. 146p. Dissertação (Mestrado em Biologia)- Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GHOLZ, H.L.; WEDIN, D.A.; SMITHERMAN, S.M. Long-term dynamics of pine and litter decomposition in contrasting environments: towards a global model of decomposition. **Global Change Biology**, v. 6, p. 751–765, 2000.

- GOLLAN, J.R.; BRUYN, L.L.; REID, N.; SMITH, D.; WILKIE, L. Can ants be used as ecological indicators of restoration progress in dynamic environments? A case study in a revegetated riparian zone. **Ecological Indicators**, v. 11, p. 1517–1525, 2011.
- GUO, L.B.; HALLIDAY, M.J.; GIFFORD, R.M. Fine root decomposition under grass and pine seedlings in controlled environmental conditions. **Applied Soil Ecology**, v. 33, p. 22–29, 2006.
- HÄTTENSCHWILER, S.; TIUNOV, A.V.; SCHEU, S. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 36, p. 191–218, 2005.
- HE, J.S.; WOLFE-BELLIN, K.S.; SCHMID, B.; BAZZAZ, F.A. Density may alter diversity–productivity relationships in experimental plant communities. **Basic and Applied Ecology**, v. 6, p. 505–517, 2005.
- HOBBIE, S.E. & VITOUSEK, P.M. Nutrient regulation of decomposition in Hawaiian montane forests: do the same nutrients limit production and decomposition? **Ecology**, v. 81, p. 1867–1877, 2000.
- HOBBIE, S.E.; OLEKSYN, J.; EISSENSTAT, D.M.; REICH, P.B. Fine root decomposition rates do not mirror those of leaf litter among temperate tree species. **Oecologia**, v. 162, p. 505–513. 2010.
- HOFFER, H.; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; MARTIUS, C.; FRANKLIN, E.; ROMBKE, J. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural Agroforest, **European Journal of Soil Biology**, v. 37, p. 229–235, 2001.
- HORNER-DEVINE, M.C.; CARNEY, K.M.; BOHANNAN, B.J.M. An ecological perspective on bacterial biodiversity. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 271, p. 113–122, 2004.
- HUHTA, V. The role of soil fauna in ecosystems: a historical review. **Pedobiologia (Jena)**, v. 50, p. 489–495, 2007.
- JONARD, M.; ANDRE, F.; PONETTE, Q. Tree species mediated effects on leaf litter dynamics in pure and mixed stands of oak and beech. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 38, n. 3, p. 528–538, 2008.
- KELLMAN, M.C. Some environmental components of shifting cultivation in upland Mindanao. **Journal of Tropical Geography**, v. 28, p. 40–56, 1969.
- KRUSKAL and WALLIS "Use of ranks in one-criterion variance analysis", **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952.

KWABIAH, A.B.; STOSKOPF, N.C.; VORONEY, R.P.; PALM, C.A. Nitrogen and phosphorus release from decomposing leaves under sub-humid tropical conditions. **Biotropica**, v. 33, p. 229–240, 2001.

LAGANIÈRE, J.; PARÉ, D.; BRADLEY, R.L. How does a tree species influence litter decomposition? Separating the relative contribution of litter quality, litter mixing, and forest floor conditions. **NRC Research Press Web**, 2010.

LAGANIERE, J.; PARE, D.; BRADLEY, R.L. Linking the abundance of aspen with soil faunal communities and rates of belowground processes within single stands of mixed aspen-black spruce. **Applied Soil Ecology**, v. 41, n. 1, p. 19-28, 2009.

LAMARCHE, J.; BRADLEY, R.L.; PARE, D.; LEGARE, S.; BERGERON, Y. Soil parent material may control forest floor properties more than stand type or stand age in mixedwood boreal forests. **Ecoscience**, v. 11, n. 2, p. 228-237, 2004.

LASTE, K.C.D. **Monitoramento de uma encosta reflorestada com leguminosas arboreas na Mata Atlantica apos 17 anos do plantio**. 2011, p.107. Dissertação (Mestrado em Ciencias Ambientais e Florestais), UFRRJ, Seropédica.

LAVELLE, P.; BARROS, E.; BLANCHART, E.; BROWN, G.; DESJARDINS, T.; MARIANI, L.; ROSSI, J.P. SOM management in the tropics: why feeding the soil macrofauna? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, p. 53–61, 2001.

LAVELLE, P.; BIGNELL, P.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O.W.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, France, v. 33, n. 4, 1997.

LAVELLE, P.; SENAPATI, B.; BARROS, E. **Soil Macrofauna**. In: Schroth G, Sinclair FL (eds) *Trees, crops and soil fertility*. CABI Publishing, Wallingford, p. 303–324, 2003.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London, Academic Press & Harcourt Brace & Company, Publishers, 1986.

MARIN, D. & MEDINA, E. Duracion foliar, contenido de nutrientes y esclerofilia en arboles de un bosque muy seco tropical. **Acta Cientifica Venezolana**, v. 32, p. 508-514. 1981.

MARTIUS, C.; HOFER, H.; GARCIA, M. V. B.; ROMBKE, J.; HANAGARTH, W. Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in Central Amazônia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. V. 68, p.137-154, 2004.

McCLAUGHERTY, C. & BERG, B. Cellulose, lignin, and nitrogen concentrations as rate regulating factors in late stage of forest litter decomposition. **Pedobiologia**, v. 30, p.101–112, 1987.

McGRODDY, M. E.; DAUFRESNE, T.; HEDIN, L. O. Scaling of C:N:P stoichiometry in forest ecosystems worldwide: Implications of terrestrial Redfield-type ratios, **Ecology**, v. 85, p. 2390–2401, 2004.

MESQUITA, R. de C. G.; WORKMAN, S. W.; NEELY, C. L. Slow litter decomposition in a cecropia-dominated secondary forest of central Amazônia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 2, p. 167-175, 1998.

MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CORREIA, M.E.F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 29, p. 555–564, 2005.

MOLDENKE, A.R. Arthropods. IN: **Soil Science Society of America. Methods of Soil Analysis**, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties - SSSA Book Series, nº 5, 1994.

MOMMER, L.; VAN RUIJVEN J.; de CALUWE H.; SMIT-TIEKSTRA, A.E.; WAGEMAKER, C.A.; OUBORG, N.J.; BÖGEMANN, G.M.; VAN DER WEERDEN, G.M.; BERENDSE, F.; de KROON, H. Unveiling below-ground species abundance in a biodiversity experiment: a test of vertical niche differentiation among grassland species. **Jornal Ecology**, v. 98, p. 1117–1127, 2010.

MOREIRA, P. R. **Manejo de solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG.** 2004. Dissertação (Doutorado em Biologia)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, p. 103, 2004.

MOREIRA, J.F. **Fauna do solo como bioindicador no processo de revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto de Trombetas-PA.** 2010, p. Tese (Doutorado em Ciências do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

NUNES, J.A. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, FLONA de Carajás – Pará, UFV,** p. 112, 2009. 2009. 112 p. Dissertação (Mestrado em Botânica)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLSON, J.S. Energy, storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v.44, p.322–331, 1963.

ORWIN, K.H.; WARDLE, D.A.; GREENFIELD, L.G. Ecological consequences of carbon substrate identity and diversity in a laboratory study. **Ecology**, v. 87, p. 580–593, 2006.

OSONO, T. & TAKEDA, H. Accumulation and release of nitrogen and phosphorus in relation to lignin decomposition in leaf litter of 14 tree species. **Ecological Research**, v. 19, p. 593–602, 2004.

OSONO, T. & TAKEDA, H. Decomposition of lignin, holocellulose, polyphenol and soluble carbohydrate in leaf litter of 14 tree species in a cool temperate forest. **Ecological Research**, v. 20, p.41–49, 2005.

PARROTA, J.A.; KNOWLES, O.H. **Restauração florestal em áreas de mineração de bauxita na Amazonia**. In: KAGEYAMA, P.Y. (org). Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu. FEPAF, p. 308-330, 2003.

PARTSCH, S.; MILCU, A.; SCHEU, S. Decomposers (Lumbricidae, Collembola) affect plant performance in model grasslands of different diversity. **Ecology**, v. 87, p. 2548-2558, 2006.

PASTOR, J.; STILLWELL, M.A.; TILMAN, D. Little bluestem litter dynamics in Minnesota old fields. **Oecologia**, v. 72, p. 327-30, 1987.

PEARSON, K. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. **Philosophical Magazine**. n. 2, v. 6, p. 559-572, 1901.

PELLENS, R. & GARAY, I. Edaphic macroarthropod communities in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* former hill maid (Myrtaceae) and *Acacia mangium* wild (Leguminosae) in Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 35, p. 77-89, 2000.

PÉREZ-HARGUINDEGUY N, D.S.; CORNELISSEN, J.H.C.; VENDRAMINI, F.; CABIDO, M.; CASTELLANOS, A. Chemistry and toughness predict leaf litter decomposition rates over a wide spectrum of functional types and taxa in central Argentina. **Plant Soil**, v. 218, p. 21-30, 2000.

PONGE, J.F.; GILLET, S.; DUBS, F.; FEDOROFF, E.; HAESE, L.; SOUSA, J.P. & LAVELLE, P. Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, p. 813-826, 2003.

QUESTED, H.M.; PRESS, M.C.; CALLAGHAN, T.V.; CORNELISSEN, J.H.C. The hemiparasitic angiosperm *Bartsia alpina* has the potential to accelerate decomposition in sub-arctic communities. **Oecologia**, v. 130, p. 88-95, 2002.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and Environment for statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing: Austria. ISBN 3-900051-07-0, <http://www.R-project.org>, 2011.

REICH, P.B.; ELLSWORTH, D.S.; UHL, C. Leaf carbon and nutrient assimilation and conservation in species of different successional status in an oligotrophic Amazonian forest. **Functional Ecology**, v. 9, p. 65-76, 1995.

ROSCHE, C.; SCHUMACHER, J.; BAADE, J.; WILCKE, W.; GLEIXNER, G.; WEISSER, W.W.; SCHMID, B.; SCHULZE, E.-D. The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. **Basic and Applied Ecology**, v. 5, p. 107-121, 2004.

ROSSI, J.P. & BLANCHART, E. Seasonal and land-use induced variations of soil macrofauna composition in the Western Ghats, southern India. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 1093-1104, 2005.

SAEG **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SALAMON, J.A.; SCHEU, S.; SCHAEFER, M. The Collembola community of pure and mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) of different age. **Pedobiologia (Jena)**, v. 51, p. 385–396, 2008.

SILESHI, G. & MAFONGOYA, P.L. Variation in macrofaunal communities under contrasting land use systems in eastern Zambia. **Applied Soil Ecology**, v. 33, p. 49–60, 2006.

SILVA, M.F.F. **Produção anual de serrapilheira e seu conteúdo mineralógico em mata tropical de terra firme, Tucuruí-PA**, Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Botânica, v. 1, p. 111-158, 1984.

SILVA, D.J. Análises de Alimentos. **Métodos Químicos e Biológicos**. 2ed. Viçosa, UFV, p. 165, 1990.

SILVA, R.R. & SILVESTRE, R. Riqueza da fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae) que habita as camadas superficiais do solo em Seara, Santa Catarina. **Papeis Avulsos Zoologia**, v. 44, p. 1–11, 2004.

SILVER, W.L. & MIYA, R.K. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. **Oecologia**, v. 129, p. 407–419, 2001.

SOBRADO, M.A.; MEDINA, E. General morphology, anatomical structure, and nutrient content of sclerophyllous leaves of the “bana” vegetation of Amazonas. **Oecologia**, v. 45, p. 341-345, 1980.

STEENWERTH, K.L.; JACKSON, L.E.; CALDERON, F.J. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, p. 489–500, 2003.

THOMPSON, J.; PROCTOR, J.; VIANA, V.; MILLIKEN, W.; RATTER, J.A.; SCOTT, D.A. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. I. Physical environment, forest structure and leaf chemistry. **Journal of Ecology**, v. 80, p. 689-703, 1992.

TILMAN, D.; REICH, P.B.; KNOPS, J.; WEDIN, D.; MIELKE, T.; LEHMAN, C. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. **Science**, v. 294, p. 843–845, 2001.

TOPP, W.; SIMON, M.; KAUTZ, G.; DWORSCHAK, U.; NICOLINI; PRUCKNER, S. Soil fauna of a reclaimed lignite open-cast mine of the Rhineland: improvement of soil quality by surface pattern. **Ecology Engineering**, v.17, p. 307-322, 2001.

VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forage. **Journal Animal Science**, v. 26, n.1 ,p.119-128, 1967.

VANCE, E.D. & CHAPIN, F.S. Substrate limitations to microbial activity in taiga forest floors. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, n. 2, p. 173-188, 2001.

VIANI, R.A.G.; NAVE, A.G.; RODRIGUES, R.R. Transference of seedlings and aloctone young individuals as ecological restoration methodology. In: Rodrigues, R.R.; Martins, S. V.; Gandolfi, S. (Eds.). **High diversity forest restoration: methods and projects in Brazil**. Nova Science Publishers, Nova York. p. 145-170, 2006.

VITOUSEK, P.M. & SANFORD Jr., R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 137-167, 1986.

VIVANCO, L. & AUSTIN, A.T. Tree species identity alters forest litter decomposition through long-term plant and soil interactions in Patagonia, Argentina. **Jornal Ecology**, v. 96, p.727-736, 2008.

VOHLAND, K. & SCHROTH, G. Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations Amazonian central in the affected by plant species and management. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 13, p.57-68, 1999.

WARDLE, D.A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practices. **Advances in Ecological Research**, v. 26, p. 105-182, 1995.

WARDLE, D.A.; PARKINSON, D. Analyses of co-ocurrence in fungal community. **Mycological Research**, v. 95, p. 504-507, 1991.

WARDLE, D.A.; YEATES, G.W.; BARKER, G.M.; KAREN, I.B; The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 1052-1062, 2006.

WARING, R.H. & SCHLISINGER, W.H. **Forest Ecosystems**. Concepts and management. Orlando, Academic Press, Inc. Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 1985.

XU, X.N. & HIRATA, E.J. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: N and P dynamics. **Plant Soil**, v. 273, p. 279-289, 2005.

YANG, X.; WARREN, M.; ZOU, X.; Fertilization responses of soil litter fauna and litter quantity, quality and turnover in low and high elevation forests if Puerto Rico. **Applied Soil Ecology**, v. 37, p. 63-71, 2007.

ZEPPELINI FILHO, D. & BELLINI, B.C. **Introdução ao estudo dos Collembola**. João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba, p. 82, 2004.