

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

AVALIAÇÃO DA HETEROGENEIDADE DAS FORMAS DE HÚMUS EM DISTINTAS ESCALAS
NUMA PAISAGEM FRAGMENTADA DE FLORESTA ATLÂNTICA DE TABULEIROS
SOORETAMA, ES

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Geografia

FELIPE DE NORONHA ANDRADE

ORIENTADORA
PROF^A. DR^A. IRENE GARAY

RIO DE JANEIRO
2006

Ficha Catalográfica

Noronha, Felipe

Avaliação da heterogeneidade das formas de húmus em distintas escalas numa paisagem fragmentada de Floresta Atlântica de Tabuleiros, Sooretama, ES. Rio de Janeiro: PPGG / UFRJ, 2006. 130p.

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006

1. Floresta Atlântica, formas de húmus, decomposição da matéria orgânica, solo, impacto das atividades antrópicas. I. Título

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

| | |
|--|---|
| 1.1 As florestas tropicais e suas perturbações | 1 |
| 1.2 A Floresta Atlântica e a sua fragmentação | 3 |
| 1.3 As formas de húmus e seu valor indicador | 6 |

2. OBJETIVOS

| | |
|---------------------------|----|
| 2.1 Objetivos gerais | 12 |
| 2.2 Objetivos específicos | 12 |

3. ÁREA DE ESTUDO

| | |
|--|----|
| 3.1 Aspectos gerais | |
| 3.1.1 Clima | 13 |
| 3.1.2 Geomorfologia | 15 |
| 3.1.3 Solos e formas de húmus | 18 |
| 3.1.4 Vegetação | 19 |
| 3.2 Caracterização da área de estudo: a paisagem | 20 |

4. MATERIAIS E MÉTODOS

| | |
|---|----|
| 4.1 Da escolha dos sítios de estudo | 25 |
| 4.2 Estudo comparado das formas de húmus | 27 |
| 4.2.1 Tratamento das camadas holorgânicas | 29 |
| 4.2.2 Tratamento dos horizontes hemiórgânicos | 30 |
| 4.3 Tratamento estatístico | 33 |

5. RESULTADOS: COMPARAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DE FLORESTA DO SÍTIO CONTROLE E AS ÁREAS DE MATA DOS FRAGMENTOS

| | |
|--|----|
| 5.1 Estoque de matéria orgânica nas camadas holorgânicas | 35 |
| 5.2 Carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L | 38 |
| 5.3 Características pedológicas dos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ | |
| 5.3.1 Características estruturais dos horizontes A _i e A ₁ | 39 |
| 5.3.2 Características texturais dos horizontes A _i e A ₁ | 41 |
| 5.3.3 Características químicas dos horizontes A _i e A ₁ | |
| A) Análise das concentrações de nutrientes na fração fina | 43 |
| B) Análise das concentrações de nutrientes na fração agregada | 47 |

| | |
|--|-----|
| C) Análise das concentrações totais nos horizontes A _i e A ₁ | 50 |
| D) Análise do estoque de C, N, P e nutrientes no horizonte A _i | 54 |
| E) Análise do estoque de C, N, P e nutrientes no horizonte A ₁ | 58 |
| F) Análise dos estoques totais nos horizontes A _i e A ₁ | 61 |
| 5.4 Biomassa e distribuição vertical de raízes finas no perfil húmico | 65 |
| 5.5 Relação entre os parâmetros húmicos | 67 |
| 6. RESULTADOS: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS TRILHAS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DAS FORMAS DE HÚMUS NO INTERIOR DOS FRAGMENTOS | |
| 6.1 Estoque de matéria orgânica nas camadas holorgânicas | 72 |
| 6.2 Carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L | 75 |
| 6.3 Características pedológicas dos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ | |
| 6.3.1 Características estruturais dos horizontes A _i e A ₁ | 76 |
| 6.3.2 Características texturais dos horizontes A _i e A ₁ | 79 |
| 6.3.3 Características químicas dos horizontes A _i e A ₁ | |
| A) Análise das concentrações de nutrientes na fração fina | 83 |
| B) Análise das concentrações de nutrientes na fração agregada | 87 |
| C) Análise das concentrações totais nos horizontes A _i e A ₁ | 90 |
| D) Análise do estoque de C, N, P e nutrientes no horizonte A _i | 94 |
| E) Análise do estoque de C, N, P e nutrientes no horizonte A ₁ | 98 |
| F) Análise dos estoques totais nos horizontes A _i e A ₁ | 101 |
| 6.4 Biomassa e distribuição vertical de raízes finas no perfil húmico | 106 |
| 7. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO | |
| 7.1 Modificações nas características das formas de húmus entre fragmentos | 109 |
| 7.2 Modificações nas características das formas de húmus no interior dos fragmentos | 120 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 124 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Esquema ilustrativo das interações entre os fatores que ameaçam a biodiversidade das florestas tropicais. | 2 |
| Figura 1.2. Esquema ilustrativo de um perfil húmico tipo. | 9 |
| Figura 1.3a e b. (a): Esquema ilustrativo do escopo conceitual do trabalho. (b): Esquema ilustrativo do escopo espacial do trabalho. | 11 |
| Figura 3.1a e b. (a): Diagrama ombrotérmico de uma seqüência temporal de 26 anos. (b): Diagrama ombrotérmico do ano 2000. | 14 |
| Figura 3.2a e b. (a): Precipitação dos quatro meses antecedentes às coletas do verão. (b): Precipitação dos quatro meses antecedentes às coletas do inverno. | 14 |
| Figura 3.3. Diagrama esquemático das características geomorfológicas da costa do Estado do Espírito Santo. | 16 |
| Figura 3.4. Seqüência dos três principais domínios do relevo na região. | 17 |
| Figura 3.5. Distribuição em classes de área dos remanescentes florestais no município de Sooretama. | 21 |
| Figura 3.6. Mapa dos remanescentes florestais do município de Sooretama. | 22 |
| Figura 3.7. Fotografia da REBIO Sooretama e dos fragmentos estudados | 23 |
| Figura 4.1. Fotografia dos materiais utilizados para coleta e de exemplares de amostras das camadas holorgânicas e dos horizontes hemiórgânicos | 29 |
| Figura 5.1. Estoques totais de C, N, P e Ca^{2+} no horizonte A das áreas de mata dos sítios de estudo. | 64 |
| Figura 5.2. Distribuição da biomassa de raízes finas no perfil húmico das áreas de mata dos sítios de estudo. | 65 |
| Figura 5.3. Estoque total de raízes finas no perfil húmico das áreas de mata dos sítios de estudo. | 67 |
| Figura 5.4. Correlação entre as variações de carbono orgânico com nitrogênio, relação C/N e CTC nos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 . | 69 |
| Figura 5.5. Correlação entre as concentrações de Ca^{2+} e BT nos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 . | 70 |
| Figura 5.6. Correlação entre as variáveis %SB e pH nos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 . | 70 |
| Figura 5.7. Correlação entre as concentrações de carbono orgânico no horizonte A_i com o estoque de matéria orgânica e de galhos nas camadas holorgânicas. | 71 |
| Figura 5.8. Correlação entre o estoque de carbono no horizonte A_i com o estoque de raízes no horizonte A_i e A_1 . | 71 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.1. Estoques totais de C, N, P e Ca ²⁺ no horizonte A das áreas de mata e trilhas dos dois fragmentos. | 105 |
| Figura 6.2. Distribuição da biomassa de raízes finas no perfil húmico das áreas de mata e das trilhas dos fragmentos. | 107 |
| Figura 7.1. Estoque de matéria orgânica e estrutura das camadas holorgânicas na REBIO Sooretama. | 110 |
| Figura 7.2. Conteúdo de carbono, nitrogênio, bases trocáveis e porcentagem de saturação em bases na fração fina dos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ na REBIO Sooretama. | 112 |
| Figura 7.3. Estoque de matéria orgânica e estrutura das camadas holorgânicas no fragmento Pasto Novo. | 114 |
| Figura 7.4. Conteúdo de carbono, nitrogênio, bases trocáveis e porcentagem de saturação em bases na fração fina dos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ do fragmento Pasto Novo. | 115 |
| Figura 7.5. Estoque de matéria orgânica e estrutura das camadas holorgânicas no fragmento São Pedro e no fragmento Bionativa. | 117 |
| Figura 7.6. Conteúdo de carbono, nitrogênio, bases trocáveis e porcentagem de saturação em bases na fração fina dos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ do fragmento São Pedro e Bionativa. | 118 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 4.1. Localização geográfica e características das áreas de estudo. | 27 |
| Tabela 4.2. Síntese do protocolo de amostragem nas áreas de estudo. | 28 |
| Tabela 5.1. Estoque de matéria orgânica (t/ha) nas camadas holorgânicas das áreas de mata dos sítios de estudo. | 37 |
| Tabela 5.2. Conteúdo de carbono, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 38 |
| Tabela 5.3. Características estruturais dos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ das áreas de mata dos sítios de estudo. | 40 |
| Tabela 5.4. Granulometria dos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo, correspondente à fração fina e agregada. | 41 |
| Tabela 5.5. Classificação da textura das partículas da fração fina e agregada dos horizontes A _i e A ₁ . | 42 |
| Tabela 5.6. Classificação da textura do solo nos horizontes A _i e A ₁ . | 43 |

| | |
|---|----|
| Tabela 5.7. Características químicas da fração fina do horizonte hemiórgânico A _i nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 45 |
| Tabela 5.8. Características químicas da fração fina do horizonte hemiórgânico A ₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 46 |
| Tabela 5.9. Características químicas da fração agregada do horizonte hemiórgânico A _i nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 48 |
| Tabela 5.10. Características químicas da fração agregada do horizonte hemiórgânico A ₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 49 |
| Tabela 5.11. Características químicas do horizonte A _i nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 52 |
| Tabela 5.12. Características químicas do horizonte A ₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 53 |
| Tabela 5.13. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina do horizonte hemiórgânico A _i nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 56 |
| Tabela 5.14. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração agregada do horizonte hemiórgânico A _i nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 57 |
| Tabela 5.15. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina do horizonte hemiórgânico A ₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 59 |
| Tabela 5.16. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração agregada do horizonte hemiórgânico A ₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 60 |
| Tabela 5.17. Estoque total de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes no horizonte hemiórgânico A _i nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 62 |
| Tabela 5.18. Estoque total de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes no horizonte hemiórgânico A ₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. | 63 |
| Tabela 5.19. Biomassa de raízes finas (g m ⁻²) nas camadas holórgânicas e horizontes hemiórgânicos nas três áreas de estudo. | 66 |
| Tabela 5.20. Correlação entre as variações de carbono orgânico com nitrogênio, relação C/N e CTC nos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ . | 69 |
| Tabela 5.21. Correlação entre as concentrações de Ca ²⁺ e BT nos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ . | 70 |
| Tabela 5.22. Correlação entre as variáveis %SB e pH nos horizontes hemiórgânicos A _i e A ₁ . | 70 |
| Tabela 5.23. Correlação entre as concentrações de carbono orgânico no horizonte A _i com o estoque de matéria orgânica e de galhos nas camadas holórgânicas. | 71 |
| Tabela 5.24. Correlação entre o estoque de carbono no horizonte A _i com o estoque de raízes no horizonte A _i e A ₁ . | 71 |

| | |
|---|----|
| Tabela 6.1. Estoque de matéria orgânica ($t\ ha^{-1}$) nas camadas holorgânicas das situações de mata e trilhas internas no fragmento Pasto Novo. | 73 |
| Tabela 6.2. Estoque de matéria orgânica ($t\ ha^{-1}$) nas camadas holorgânicas das situações de mata e trilhas internas no fragmento Bionativa. | 74 |
| Tabela 6.3. Conteúdo de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L. | 75 |
| Tabela 6.4. Características estruturais dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 das situações de mata e trilhas internas ao fragmento Pasto Novo. | 77 |
| Tabela 6.5. Características estruturais dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 das situações de mata e trilhas internas ao fragmento Bionativa. | 78 |
| Tabela 6.6. Granulometria dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 nas situações de mata e trilhas internas ao fragmento Pasto Novo. | 80 |
| Tabela 6.7. Granulometria dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 nas situações de mata e trilhas internas ao fragmento Bionativa. | 81 |
| Tabela 6.8. Classificação da textura das partículas da fração fina e agregada dos horizontes A_i e A_1 . | 82 |
| Tabela 6.9. Classificação da textura do solo nos horizontes A_i e A_1 . | 83 |
| Tabela 6.10. Características químicas da fração fina dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. | 85 |
| Tabela 6.11. Características químicas da fração fina dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. | 86 |
| Tabela 6.12. Características químicas da fração agregada dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. | 88 |
| Tabela 6.13. Características químicas da fração agregada dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. | 89 |
| Tabela 6.14. Características químicas dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. | 92 |
| Tabela 6.15. Características químicas dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. | 93 |
| Tabela 6.16. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina e fração agregada do horizonte A_i nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. | 96 |
| Tabela 6.17. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina e fração agregada do horizonte A_i nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. | 97 |
| Tabela 6.18. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina e fração agregada do horizonte A_1 nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. | 99 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 6.19. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina e fração agregada do horizonte A ₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. | 100 |
| Tabela 6.20. Estoque total de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes dos horizontes A _i e A ₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. | 103 |
| Tabela 6.21. Estoque total de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes dos horizontes A _i e A ₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. | 104 |
| Tabela 6.22. Biomassa de raízes finas (g m ⁻²) nas camadas holorgânicas e hemiorgânicas nas áreas de mata e trilhas dos fragmentos. | 108 |

AGRADECIMENTOS

À professora Irene Garay pela dedicada orientação dessa dissertação e de todas as outras etapas da minha formação acadêmica em curso.

Aos demais professores do Departamento de Geografia e do Instituto de Biologia pelos ensinamentos.

Ao professor Fernando Agarez, mestre Jedi, por ter sido um dos responsáveis pela minha inserção no campo da Ciência do Solo.

Aos meus amigos de laboratório: Maria Lúcia Lorini pelo incentivo e pelas valiosas discussões; Gabriel Queiroz por estar sempre disposto a ajudar e a “vestir a camisa”; Vanessinha por encher o laboratório com sua alegria; Felipe Olivella pela convivência zen que tranqüiliza quem esteja por perto, Rafael Cafezeiro, Ricardo Finotti, Vanessa Person e Joyce pelo companheirismo e cumplicidade também naqueles momentos difíceis.

Aos meus amigos do coração: Danilo, Bastos, Kiko, Dudu e Zuca, pela amizade especial que teve início na Biologia e certamente levarei por toda a vida; Duda, representando toda a galera que faz parte de uma família.

Aos meus pais, Fernando e Márcia, e à minha querida irmã, Luciana pela segurança que me passam, pelo carinho que me dão e pela compreensão.

À EMBRAPA-CNPS, na pessoa de Daniel Perez, por oferecer suas instalações e material para realização das análises físicas e químicas das amostras de solo.

À todo o pessoal sempre hospitaleiro do Município de Sooretama, ES; em especial ao grande companheiro Nivaldo e a Maria Baldi, “guardiões” da Bionativa, e ao Sr. Eliton Lima, diretor da REBIO Sooretama.

À todos aqueles que direta ou indiretamente tenham contribuído para a realização desse trabalho.

À banca examinadora composta pela Dra. Ana Luiza Coelho Netto, Dr. Daniel Perez e Dra. Irene Garay.

Ao CNPq e ao Programa de Pós Graduação em Geografia pelo apoio financeiro.

RESUMO

A maciça ocupação da costa brasileira impôs ao bioma Floresta Atlântica processos de fragmentação e perda da biodiversidade. Quando os fragmentos estão submetidos a atividades extrativistas e de visitação, vias de passagem são abertas podendo provocar distintos graus de alteração nos processos ecológicos no interior destes fragmentos, ocasionando forte impacto sob a sua integridade. Com o intuito de se conhecer o funcionamento interno dos fragmentos, o que possibilita fazer inferências acerca da sua sustentabilidade funcional, utilizou-se como indicadores dos impactos causados pela extração seletiva de madeira as modificações das características das formas de húmus. Para isso foram consideradas duas escalas de análise: entre fragmentos, por meio da comparação das características das formas de húmus nas suas áreas de mata com as das áreas de floresta de um sítio controle e; no interior dos fragmentos, por meio da comparação das características das formas de húmus nas suas áreas de mata com as das vias de passagem abertas para extração de madeira. O estudo foi conduzido no Município de Sooretama, norte do Espírito Santo. Foram escolhidos dois fragmentos – um classificado como de alta diversidade e outro como de média diversidade da comunidade arbórea – e a REBIO Sooretama, com 24.000ha de Floresta Atlântica de Tabuleiros, representando o sítio controle. A forma de húmus de todos os sítios escolhidos é do tipo mull mesotrófico tropical. Porém foram evidenciadas modificações significativas nas características da forma de húmus em relação ao funcionamento dos fragmentos em ambas as escalas consideradas. O conjunto dos resultados obtidos permite afirmar que a variabilidade das características da forma de húmus é mais drástica no interior dos fragmentos do que entre os fragmentos, o que evidencia o forte impacto da abertura das vias de passagem no funcionamento interno dos fragmentos. Na comparação entre as áreas de mata dos fragmentos, as modificações se referem ao menor estoque de matéria orgânica nas camadas holorgânicas, notadamente no caso do fragmento com média diversidade, e à diferenças na estrutura e nas propriedades químicas do horizonte A_i , que aparenta estar perturbado nos dois fragmentos. Ainda assim, a sustentabilidade destes fragmentos não parece estar completamente comprometida, apesar de uma certa alteração da integridade funcional do processo de decomposição da matéria orgânica, como diminuição da velocidade e funcionamento não estável do processo de

decomposição. Na comparação interna dos fragmentos verificou-se que as vias de passagem representam uma rede não funcional do subsistema de decomposição. Os fragmentos possuem, portanto, uma heterogeneidade espacial que não é apenas função dos efeitos de borda, mas também das diversas pressões a que estão submetidos no seu interior. Sendo assim, um maior controle das vias de passagem deve ser implementado em fragmentos mais perturbados como um todo, afim de assegurar sua recuperação. Tais constatações revelam a importância de se estudar as “bordas das trilhas” e de se quantificar as trilhas para um manejo adequado dos fragmentos visando a sustentabilidade funcional e a conservação da biodiversidade.

Palavras chave: Floresta Atlântica, formas de húmus, decomposição da matéria orgânica, solo, impacto das atividades antrópicas.

1. INTRODUÇÃO

1.1 As florestas tropicais e suas perturbações

As florestas tropicais, apesar de ocuparem cerca de 10% da superfície da Terra, possuem uma importância global, uma vez que elas estocam e processam grande quantidade de carbono e abrigam aproximadamente um terço da diversidade biológica do planeta (Lewis, 2006). Em tempos passados, atividades antrópicas como abertura de clareiras e caça, por serem mais restritas no espaço e no tempo, não impediam a recolonização e a recuperação da floresta. No entanto, com a acelerada expansão tecnológica e populacional, o desmatamento das florestas tropicais tomaram proporções que reduziram a capacidade de recuperação destes ecossistemas, causando alterações nos processos ecológicos ligados a perda da biodiversidade (Phillips, 1997). A importância da conservação da biodiversidade das florestas tropicais para o funcionamento destes ecossistemas foi tema de diversos estudos (Saunders *et al.*, 1991; Terborgh, 1992; Dale *et al.*, 1994; Chapman & Chapman, 1995; Condit *et al.*, 1996).

Smith (2005) estudou, de maneira geral, os efeitos diretos e indiretos do desmatamento e uso agrícola do solo sobre a manutenção dos estoques de carbono orgânico no solo. Certamente, os distúrbios causados pelo homem, convertendo as áreas de floresta em áreas de ocupação, provocam a perda de habitats naturais e levam à fragmentação florestal.

Phillips (1997) realiza uma importante síntese sobre as diversas ameaças aos ecossistemas florestais. Para o autor, apesar dos Sistemas de Informação Geográfica serem uma boa ferramenta de avaliação e monitoramento das taxas de desmatamento, eles não são capazes de fornecer informações acerca das alterações funcionais que ocorrem nos remanescentes florestais. Segundo este mesmo autor, o uso da floresta pelo homem é tão significativo que ele considera a extração de plantas e animais, que não necessariamente removem por inteiro a cobertura florestal, como atividades que acarretam forte impacto sobre a biodiversidade das florestas tropicais e seu funcionamento (figura 1.1). Whitmore (1997) estimou que são derrubados cerca de seis milhões de hectares de floresta tropical por ano em função da extração e comercialização de madeira.

Os efeitos das práticas de extração de madeira e do corte e queimada da floresta sobre os processos de decomposição da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes foram estudados por Kindel *et al.* (1999). Laurence (2001), por sua vez, aponta que a floresta utilizada pelo homem para extração de madeira está, possivelmente, susceptível a perturbações muito maiores. Jenerette *et al.* (2006) consideram muito importante que se entenda como as distintas formas de uso antrópico afetam a qualidade do solo em distintas escalas. Com a intensa ocupação atual do solo e o acelerado aumento populacional, estudos que levem em consideração a avaliação de impactos em distintas

escalas são fundamentais não somente para se conhecer sua importância, mas, sobretudo, para formular medidas mitigadoras: adotar essa abordagem em um trabalho de pesquisa, seja ele de caráter disciplinar ou interdisciplinar, pode contribuir para a elaboração de estratégias quando da realização de planos de gestão e manejo de paisagens fragmentadas.

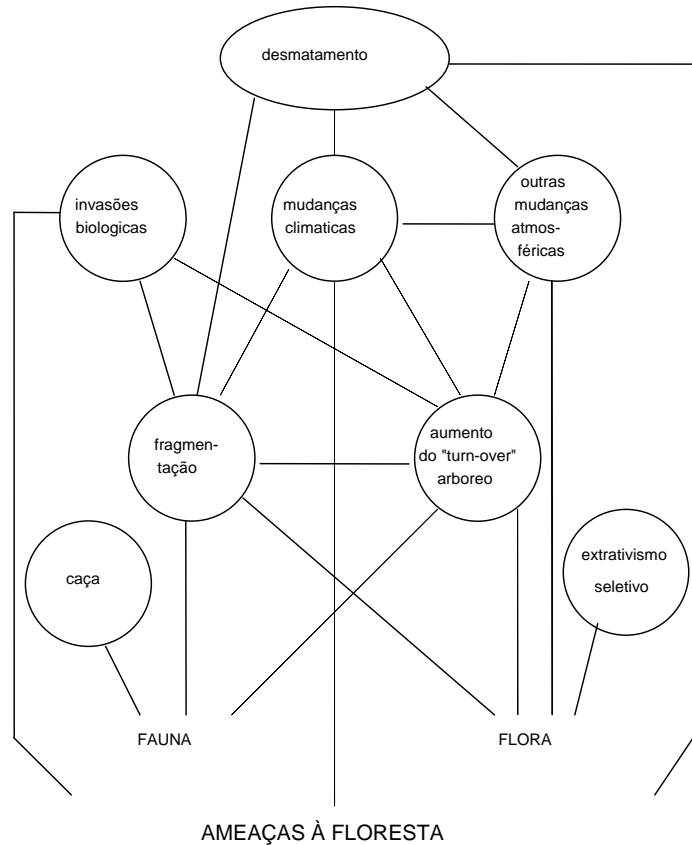


Figura 1.1. Esquema ilustrativo das interações entre os fatores que ameaçam a biodiversidade das florestas tropicais. As linhas contínuas representam os fatores mais conhecidos, como por exemplo, o efeito direto da extração de madeira e da fragmentação florestal sobre as comunidades vegetais. As linhas pontilhadas representam os fatores potenciais e suas vias diretas ou indiretas de ameaça à floresta. O desmatamento inclui a abertura de clareiras por queimada e derrubada da cobertura florestal praticada pelo homem. Modificado de Phillips (1997).

1.2 A Floresta Atlântica e a sua fragmentação

O bioma Floresta Atlântica, que abrange uma série de ecossistemas associados, distribui-se ao longo da faixa costeira do Brasil cobrindo originalmente uma área de 1.350.000 Km², o que corresponde a cerca de 15% do território nacional (SOS Mata Atlântica, 2006). Atualmente, estimativas apontam que a área florestal está reduzida a aproximadamente 8%, em função notadamente de um histórico de exploração dos recursos naturais da floresta e da maciça ocupação humana. Com base no Censo Populacional de 2000 do IBGE, 60% da população brasileira está concentrada nos domínios que correspondem ao bioma Floresta Atlântica.

A pressão das atividades antrópicas sobre os ecossistemas de Floresta Atlântica passa por um longo histórico de distintos ciclos econômicos predatórios, que impuseram ao bioma Floresta Atlântica processos de fragmentação e perda da biodiversidade (Dean, 1997). Apesar disso, a diversidade biológica em alguns remanescentes permanece muito significativa, de forma que foi registrada para uma área no sul da Bahia uma riqueza de 458 espécies lenhosas por hectare; um recorde mundial segundo SOS Mata Atlântica (2006).

Hoje, o que se apresenta são paisagens que sofreram processos de transformação resultantes tanto de atividades antrópicas como de processos naturais. Dentre os processos espaciais de transformação da paisagem, a fragmentação florestal configura-se como um dos mais expressivos. De fato, isto se aplica não só a Floresta Atlântica, mas também as demais florestas tropicais, o que faz da fragmentação florestal um problema de proporções mundiais (Forman, 1995).

O processo de fragmentação consiste, em geral, na conversão de grandes habitats naturais contínuos em parcelas menores que passam a ficar mais ou menos isoladas em meio a uma matriz antropizada (Fahrig, 2003). Assim, esta configuração da paisagem é resultado, principalmente, da eliminação de parte dos sistemas naturais pela ação do homem, o que dá origem a um sistema heterogêneo constituído por um mosaico de elementos antrópicos e naturais. Deve-se considerar, então, que a heterogeneidade dos componentes bióticos e abióticos é uma propriedade das paisagens fragmentadas que deve ser analisada em distintas escalas.

A Ecologia da Paisagem, com sua abordagem espacial, ecológica e geográfica, parece ser o campo científico mais adequado para se estudar a questão da fragmentação da Floresta Atlântica, suas causas e conseqüências. Essa disciplina relativamente recente desenvolveu, notadamente a partir da década de 80 do séc. XX, métodos analíticos consistentes para se avaliar a heterogeneidade espacial da paisagem e suas interações com os padrões em distintas escalas. Dessa forma, a Ecologia da Paisagem contribuiu para o conhecimento do funcionamento do sistema como um todo, o que em particular é muito importante para a elaboração de planos de gestão e manejo sustentáveis de paisagens fragmentadas (Turner, 2005).

O conceito de paisagem possui uma definição muito flexível e, portanto, pode ser aplicado segundo diferentes abordagens científicas (Turner *et al.*, 1993). Para esses autores, a concepção geral de paisagem é a de uma área espacialmente heterogênea em pelo menos um fator de interesse do pesquisador. Não excludente, mas complementar a essa, é a concepção de paisagem para Forman & Godron (1986), Forman (1995) e Metzger (1999). Esses autores consideram a paisagem como uma superfície heterogênea constituída por um conjunto de ecossistemas que interagem e apresentam padrões. Essa superfície, composta geralmente por manchas, corredores e uma matriz, é função da interação dos componentes geológicos, dos fatores geomorfológicos, bióticos e antrópicos, refletindo hoje o registro da evolução histórica e cultural através do tempo.

Sendo assim, a configuração de uma paisagem resulta de múltiplos fatores. Os fatores abióticos como clima e formas do relevo, os fatores bióticos como padrões de distribuição de comunidades vegetais e animais e os fatores sociais como as formas de uso e ocupação do solo interagem entre si com maior ou menor intensidade, gerando uma heterogeneidade espacial na paisagem (Turner, 2005). Esclarecer, portanto, a importância relativa dos diferentes fatores que atuam na paisagem é um grande desafio. As interações entre os múltiplos fatores e suas variações espaciais e temporais continuam sendo pouco conhecidas devido à uma dificuldade metodológica de se analisar processos multivariados e complexos.

No entanto, alguns trabalhos que consideram a heterogeneidade entre fragmentos florestais na paisagem já foram realizados. Agarez *et al.* (2004) estudaram a heterogeneidade da alteração da cobertura arbórea entre fragmentos de Floresta Atlântica de Tabuleiros na paisagem, em função da maior ou menor intensidade de extração seletiva de madeira. Didham (1998), por sua vez, em um experimento utilizando “*litter bags*” constatou variações nas taxas de decomposição do folhiço ao comparar fragmentos grandes e pequenos em uma paisagem fragmentada na Floresta Amazônica. Metzger (1999) sintetiza em uma revisão que a fragmentação florestal pode acarretar alterações no fluxo de matéria e energia do ecossistema dependendo do grau de conectividade dos fragmentos na paisagem. Em geral, esses estudos analisaram a heterogeneidade entre os fragmentos na paisagem, considerando suas diferentes formas, tamanhos e graus de isolamento.

Por outro lado, essas pesquisas desconsideram as alterações que ocorrem no interior dos fragmentos. Portanto, uma análise nessa escala mais precisa deve possibilitar, primeiro, avaliar a heterogeneidade interna dos remanescentes e, em seguida, fazer inferências sobre seu possível funcionamento e sustentabilidade.

Sendo assim, além das alterações observadas entre os fragmentos na paisagem, pode-se formular a hipótese de que a fragmentação e o uso dos fragmentos pelo homem provocam alterações no interior dos remanescentes florestais. Esta hipótese se contrapõe ao fato de se

considerar somente os efeitos de borda como a principal fonte de alteração dos remanescentes florestais, como na maioria das pesquisas (e.g. Camargo & Kapos, 1995; Didham & Lawton, 1999; Viana & Tabanez, 1996).

Na literatura existem estudos sobre os efeitos das vias de passagem e de estradas em parques de visitação e lazer sobre alguns componentes do ecossistema. Garay & Nataf (1982) compararam a comunidade de microartrópodos do solo entre áreas de floresta e áreas de lazer em um parque na França. Goosem (1997) estudou os efeitos de estradas e clareiras de linhas de transmissão que cortam trechos de Floresta Amazônica sobre a movimentação e as taxas de mortalidade de pequenos vertebrados. Haskell (2000) estudou os efeitos das estradas sobre a comunidade de macroartrópodos do solo nas florestas temperadas dos Montes Apalaches. Figueiró (2005) verificou diferenças consideráveis em algumas características físicas do topo do solo das trilhas e suas adjacências em relação à área de floresta no Parque Nacional da Floresta da Tijuca.

No entanto, não se conhece registro de estudo que leve em consideração os efeitos dos impactos da abertura de vias de passagem para extração de madeira em fragmentos florestais na paisagem, e a sua relação com o grau de impacto do fragmento. Neste caso, é válido se pensar que atividades como o extrativismo seletivo de espécies arbóreas, que resulta na abertura de caminhos no interior dos fragmentos, podem provocar alterações não desprezíveis no funcionamento dos remanescentes florestais. Saber se estas alterações funcionais comprometem a sustentabilidade desses remanescentes é uma importante questão a ser considerada no plano de gestão e manejo de paisagens fragmentadas.

Como corolário, um projeto de pesquisa que visa contribuir para o conhecimento do funcionamento dos fragmentos de Floresta Atlântica na paisagem passa obrigatoriamente pela elaboração de indicadores que revelem a integridade funcional destes remanescentes e permitam identificar os impactos causados pelas atividades de uso antrópico. É sob esse aspecto que a estrutura das formas de húmus e suas modificações serão abordadas no presente estudo.

1.3 As formas de húmus e seu valor indicador

Frente à impossibilidade de se medir e monitorar os efeitos das atividades antrópicas sobre todas as propriedades dos ecossistemas se faz necessário elaborar indicadores ecológicos (Lindenmayer *et al.*, 2000). De maneira geral, os indicadores podem ser definidos como um conjunto de variáveis que, dada uma determinada atividade impactante, refletem as condições do sistema em função dessa atividade (Niemi & McDonald, 2004). A escolha de determinada variável indicadora pode servir para explicar padrões a uma escala, mas perder parte da sua importância quando considerada outra escala. Portanto, a seleção de indicadores para avaliar o funcionamento do sistema fragmentado deve ser abordada de maneira que considere a variabilidade dos processos em uma dada escala (Garay, 2001). Trata-se, no caso do presente estudo, de se avaliar as modificações do subsistema de decomposição no interior dos fragmentos e entre fragmentos florestais e uma área controle na paisagem, por meio do estudo quantitativo das características das formas de húmus.

Malagon, *et al.* (1989) propõem uma metodologia para o estudo das formas de húmus, que consiste na caracterização quantitativa da estrutura das camadas holorgânicas e das propriedades químicas dos horizontes hemiórgânicos. Antes disso, Delecour (1980), Toutain (1981) e Duchaufour & Toutain (1985) já haviam evidenciado a importância de se estudar a forma de húmus, uma vez que ela sintetiza um dos processos fundamentais do funcionamento dos ecossistemas – o processo de decomposição da matéria orgânica – porém, esses estudos não se preocupavam em quantificar as características das camadas e dos horizontes.

As formas de húmus, que estão diretamente relacionadas com as características do clima, do solo, da topografia, da atividade biológica e da vegetação, foram classificadas e estudadas por vários autores para distintos ecossistemas da região temperada e tropical (Babel, 1975; Klinka *et al.*, 1981; Toutain, 1981; Duchaufour & Toutain, 1985; Green *et al.*, 1993; Brêthes *et al.*, 1995; Fons & Klinka, 1998a; Kindel & Garay, 2002; Loranger *et al.*, 2003). Esses autores demonstraram que as formas de húmus e seu funcionamento são relativamente estáveis em ecossistemas não interferidos. Portanto, elas podem ser classificadas e analisadas segundo os tipos de vegetação e os fatores mesológicos relacionados.

De maneira geral, para se caracterizar as formas de húmus, estes autores consideram o conjunto das camadas orgânicas de superfície, sendo elas tanto as camadas holorgânicas quanto o horizonte pedológico A₁. As três principais formas de húmus são: Mull, Moder e Mor. A base principal para a classificação desses três tipos de húmus é a descrição morfológica das camadas holorgânicas e, em particular, a presença ou ausência da camada H, assim como a estrutura do horizonte A₁ (Duchaufour & Toutain, 1985; Berthelin *et al.*, 1994; Kindel & Garay, 2002). As

variedades de um mesmo tipo de húmus podem ser diferenciadas a partir da caracterização de alguns parâmetros químicos dos horizontes hemiórgânicos: a relação C/N, a porcentagem de saturação em bases e o pH do solo permitem determinar, por exemplo, o caráter oligotrófico ou mesotrófico dos húmus do tipo mull (Berthelin *et al.*, 1994; Kindel & Garay, 2002).

Segundo Garay & Silva (1995) as três classes de húmus representam um gradiente na velocidade de decomposição do material orgânico depositado sobre o solo. O húmus do tipo mull apresenta uma velocidade de decomposição rápida, pequeno acúmulo de camadas orgânicas, ausência da camada H e baixo valor da relação C/N do solo (entre 10 e 15). O húmus tipo moder apresenta uma menor velocidade de decomposição, com acúmulo de matéria orgânica em todas as camadas (L, F e H) sobrepostas ao solo mineral (horizonte A₁) e valores da relação C/N maiores que a do mull, entre 20 e 25. O húmus tipo moder pode ser subdividido em dois tipos: o eumoder e o dysmoder. O húmus dysmoder, por exemplo, é uma forma mais acentuada do húmus moder, que se caracteriza por um acúmulo muito maior de matéria orgânica, uma alta relação C/N (maior ou igual a 25) e uma quase ausência de atividade biológica, em decorrência de condições edáficas pouco favoráveis ao processo de decomposição (Berthelin *et al.*, 1994). Em relação ao húmus tipo mor, ainda não existe registro de ocorrência desta forma de húmus em florestas tropicais.

O processo da decomposição da matéria orgânica em ecossistemas terrestres inicia-se quando a maior parte da biomassa vegetal produzida, e que não foi consumida pelos herbívoros, é aportada ao solo sob a forma de necromassa constituída principalmente por folhas (Swift *et al.*, 1979; Mangenot & Toutain, 1980). Este material se deposita sobre os restos foliares sobrepostos ao horizonte pedológico A₁.

A progressiva transformação dos restos vegetais obedece a uma sucessão de processos físicos e químicos resultantes, sobretudo, da ação dos agentes decompositores, microorganismos e fauna do solo. Nestes processos podem se identificar etapas na dinâmica de decomposição da matéria orgânica, como sintetizadas no paradigma da decomposição em cascata (Swift *et al.*, 1979).

Os primeiros processos que ocorrem são a lixiviação dos restos foliares pelos microorganismos e, em seguida, a fragmentação das folhas em partes menores pela ação da fauna do solo associada aos microorganismos. Produz-se, portanto, uma diferenciação macromorfológica das camadas orgânicas que vêm a compor o perfil húmico.

Com o transcurso do tempo e no caso de uma velocidade do processo de decomposição não muito rápida, a matéria orgânica transforma-se em matéria orgânica celular ou amorfa. Trata-se de uma matéria orgânica que foi processada pela fauna (pelotas fecais) e que ainda mantém ao nível microscópico a estrutura das células vegetais. Quando há presença da camada F₂ ou da camada H no perfil húmico, o material fino encontrado nessas camadas é constituído principalmente por essa

matéria orgânica celular. Observa-se, neste caso, uma transição gradual da matéria orgânica entre as camadas holorgânicas e o horizonte hemiórgânico no perfil húmico.

A matéria orgânica pode sofrer ainda uma profunda transformação biológica em matéria orgânica humificada. A humificação, processo que denomina essa transformação, dá origem à formação de uma matéria orgânica de dimensões coloidais e coloração escura (Garay & Silva, 1995c). Este material, resultado de oxidações e sínteses orgânicas produzidas por microorganismos, integra-se ao primeiro horizonte orgâno-mineral, aumentando o potencial de cargas negativas do solo. Ao aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, essa matéria orgânica humificada contribui para a adsorção dos nutrientes do solo.

Com a oxidação dos compostos orgânicos e a liberação dos nutrientes mineralizados para as plantas conclui-se o processo de reciclagem de nutrientes que assegura a manutenção da cobertura vegetal (Garay & Silva, 1995c).

O contínuo processo de decomposição implica, em geral, na ocorrência simultânea das camadas holorgânicas em diferentes estágios de decomposição, sobrepostas ao horizonte A₁, de natureza hemiórgânica (Garay *et al.*, 1986). Quando a velocidade de decomposição é rápida observa-se uma redução na presença das camadas holorgânicas, como acontece com o húmus do tipo mull; o contrário, por sua vez, acontece quando a velocidade de decomposição é lenta.

Com isso, essas camadas holorgânicas podem ser subdivididas segundo seus estágios de decomposição. Garay *et al.* (1995) adaptaram a subdivisão das camadas holorgânicas proposta por Babel (1975) e elaboraram uma subdivisão dessas camadas para ecossistemas de Floresta Atlântica:

1. Camada L: constituída por folhas recém caídas, praticamente inteiras, porém podendo apresentar ou não sinais visíveis de ataque fúngico inicial (podridão branca).
2. Camada F: formada por restos foliares fragmentados. Pode ser subdividida em camada F₁ que corresponde a restos foliares com menos de 10% em volume de matéria orgânica fina e camada F₂ que corresponde à camada que possui quantidades similares de restos foliares e matéria orgânica fina. Nesta camada, uma rede de raízes finas de absorção já pode ser encontrada.
3. Camada H: corresponde à camada com mais de 70% em volume de matéria orgânica fina, porém com indícios de fragmentos foliares. Uma característica marcante desta camada é a abundante presença de raízes finas associadas ao material mineral proveniente do primeiro horizonte hemiórgânico A_i.

A figura 1.2 ilustra um perfil húmico tipo, com a presença de todas as camadas holorgânicas sobrepostas ao horizonte organo-mineral A_i (ou A_{11}) e ao horizonte pedológico A_1 (ou A_{12}).

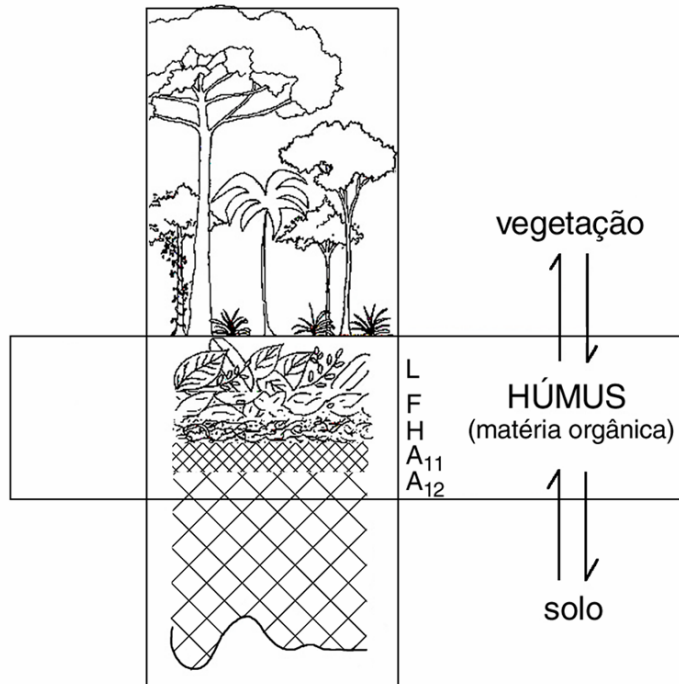


Figura 1.2. Esquema ilustrativo de um perfil húmico tipo com a presença das camadas holorgânicas e hemiorgânicas. Extraído de Garay & Kindel (2001).

A análise da estrutura das formas de húmus considera a quantificação não apenas do material foliar, mas também dos galhos, agregados, raízes finas e material fino que compõem o perfil húmico. O desenvolvimento da estrutura desse perfil está associado ao balanço entre a produtividade primária e a taxa de decomposição, ou seja, a velocidade de decomposição da matéria orgânica (Garay & Silva, 1995c; Kindel, 2001). Este balanço depende, por sua vez, da quantidade e da qualidade do aporte foliar, que pode ser expressa pelo Índice de Esclerofilia e razão C/N das folhas (Garay & Rizzini, 2004), além do ritmo fenológico destes aportes (Louzada, 2004), do papel dos macroartrópodos edáficos (Castro-Jr., 2002; Pellens, 2002), dentre outros.

Neste aspecto, Kindel & Garay (2002), ao estudarem as formas de húmus em ecossistemas não interferidos de Floresta Atlântica e em ecossistemas submetidos à extração seletiva de madeira, verificaram que a estrutura das formas de húmus também está associada aos impactos causados pelo homem. Sendo assim, no presente estudo a estrutura das formas de húmus em fragmentos florestais será considerada como a base para a compreensão do funcionamento dos remanescentes de Floresta Atlântica de Tabuleiros submetidos a diferentes intensidades de extração seletiva de madeira.

Em particular, o tipo de húmus que se forma na Mata Alta – fácies predominante da Floresta Atlântica de Tabuleiros com ocorrência nos fragmentos e no sítio controle da área de estudo do presente trabalho – foi classificado por Kindel & Garay (2002) como mull mesotrófico tropical. Como não se pretende neste trabalho classificar novamente a forma de húmus que ocorre na área de estudo em questão, cabe então analisar as modificações da estrutura e das propriedades químicas de uma mesma forma de húmus em fragmentos florestais. Para isso serão consideradas duas escalas de análise: entre os fragmentos, pela comparação das suas áreas de mata com as áreas de mata do sítio controle, e no interior dos fragmentos, pela comparação das trilhas abertas em função da extração da madeira com as áreas de mata relativamente conservadas dos fragmentos.

As figuras 1.3a e b sintetizam, respectivamente, o escopo conceitual e espacial deste trabalho. As características das formas de húmus podem ser consideradas com um indicador funcional da dinâmica de decomposição da matéria orgânica e da reciclagem de nutrientes. Assim, as modificações dessas características possibilitam avaliar a intensidade dos impactos causados pelo extrativismo seletivo de espécies arbóreas. Além disso, esse indicador pode representar uma ferramenta de avaliação do impacto da abertura de trilhas sobre os componentes do subsistema de decomposição, possibilitando inferir o grau de integridade funcional dos fragmentos.

A partir disso, algumas perguntas podem ser levantadas: As formas de uso antrópico afetam as características das formas de húmus no interior dos fragmentos e entre os fragmentos na paisagem? Como?; Quanto de variação nas características das formas de húmus existe no interior dos fragmentos? e; O quanto varia as características das formas de húmus entre os fragmentos na paisagem? Isso compromete a sustentabilidade deles?

Nesta perspectiva, é possível formular uma hipótese geral para este trabalho:

Nos sistemas fragmentados existe uma heterogeneidade funcional e estrutural, expressa em diferentes escalas, que deve ser considerada no estudo dos processos que refletem a integridade do sistema para a elaboração de ações prioritárias que visem a conservação e a sustentabilidade da floresta.

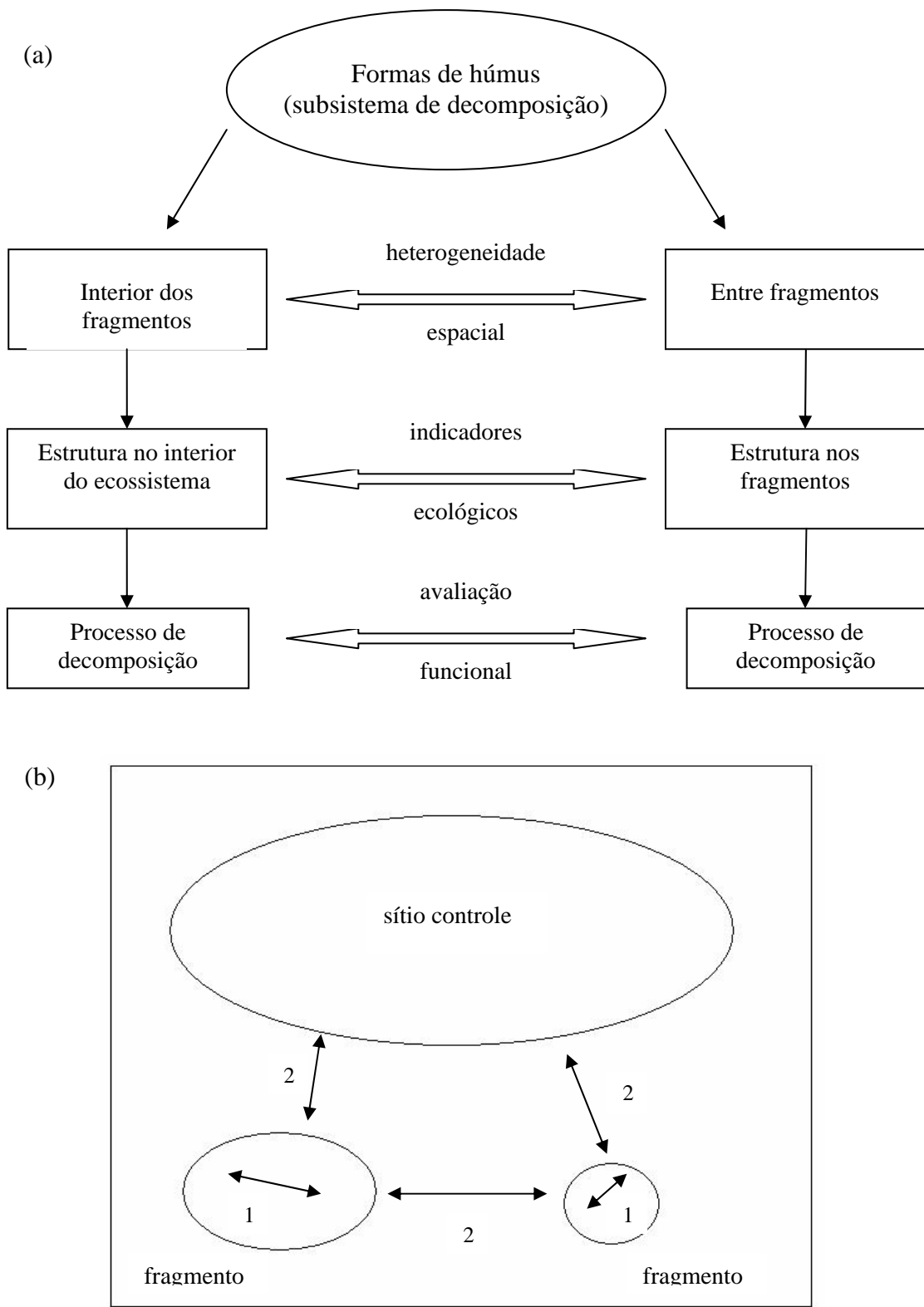


Figura 1.3. (a): Esquema ilustrativo do escopo conceitual do trabalho. (b): Esquema ilustrativo do escopo espacial do trabalho; as setas com nº 1 correspondem à avaliação da heterogeneidade das características da forma de húmus no interior dos fragmentos, as setas com nº 2 correspondem à avaliação da heterogeneidade das características da forma de húmus entre os fragmentos. Explicações sobre os sítios e as comparações encontram-se nos capítulos 3 e 4.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

A presente proposta representa parte do projeto de pesquisa “*Indicadores ecológicos do status da biodiversidade visando a gestão integrada dos remanescentes florestais da Mata Atlântica Central*” e tem como um dos objetivos gerais:

- *Determinar indicadores do funcionamento de remanescentes florestais, a fim de propor técnicas de avaliação e monitoramento na escala da paisagem e na escala do ecossistema com vistas a contribuir para o planejamento ambiental integrado da região.*

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Validar as modificações da forma de húmus como indicador do funcionamento dos remanescentes florestais.*
- Avaliar a influência da extração seletiva de madeira sobre o funcionamento do subsistema de decomposição no interior dos fragmentos florestais e entre os fragmentos na paisagem.*
- Caracterizar a heterogeneidade da dinâmica de decomposição da matéria orgânica nos fragmentos, por meio da caracterização quantitativa das formas de húmus.*
- Relacionar a dinâmica da decomposição com a estrutura da comunidade arbórea.*

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 Aspectos gerais

3.1.1 Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região corresponde ao do grupo Aw_1 . Este grupo caracteriza um clima quente e úmido, uma acentuada variação sazonal no que diz respeito aos índices pluviométricos e uma marcada estacionalidade no que concerne à temperatura média e umidade relativa do ar. Esta classificação condiz com a proposta por Nimer (1989) que considera o tipo do clima da região como tropical, o domínio climático como quente e o subdomínio como úmido, possuindo variação pluviométrica com cerca de três meses de seca.

A estação chuvosa ocorre entre os meses de novembro a março e a estação seca de maio a agosto, sendo a precipitação média anual de 1.200mm. Além desta variação sazonal das precipitações é interessante ressaltar a existência de flutuações interanuais do regime de chuvas: em uma seqüência de dados climáticos de 1975 a 2000, obtidos da estação meteorológica da Reserva Natural da Companhia Vale do Rio Doce, verifica-se a ocorrência de prolongados períodos onde a precipitação anual é consideravelmente menor ou maior do que a precipitação anual média da seqüência de dados climáticos.

Como exemplo das oscilações interanuais foram registrados quatro anos onde os índices pluviométricos não alcançaram 900mm e seis anos onde ultrapassaram a marca dos 1400mm de precipitação anual. O ano 2000, ano de coleta do presente estudo, foi particularmente chuvoso, pois apresentou uma precipitação anual de 1430mm. Verifica-se neste caso que esta diferença interanual se deu em função dos meses de março, novembro e dezembro do ano 2000 que, juntos, respondem por 55% da precipitação anual.

A temperatura média anual da seqüência temporal de 26 anos é de 23°C, sendo o menor valor médio mensal registrado em Julho (20,1°C) e o maior em fevereiro (25,9°C). A figura 3.1 confronta os dados obtidos na seqüência temporal com os dados obtidos para o ano 2000.

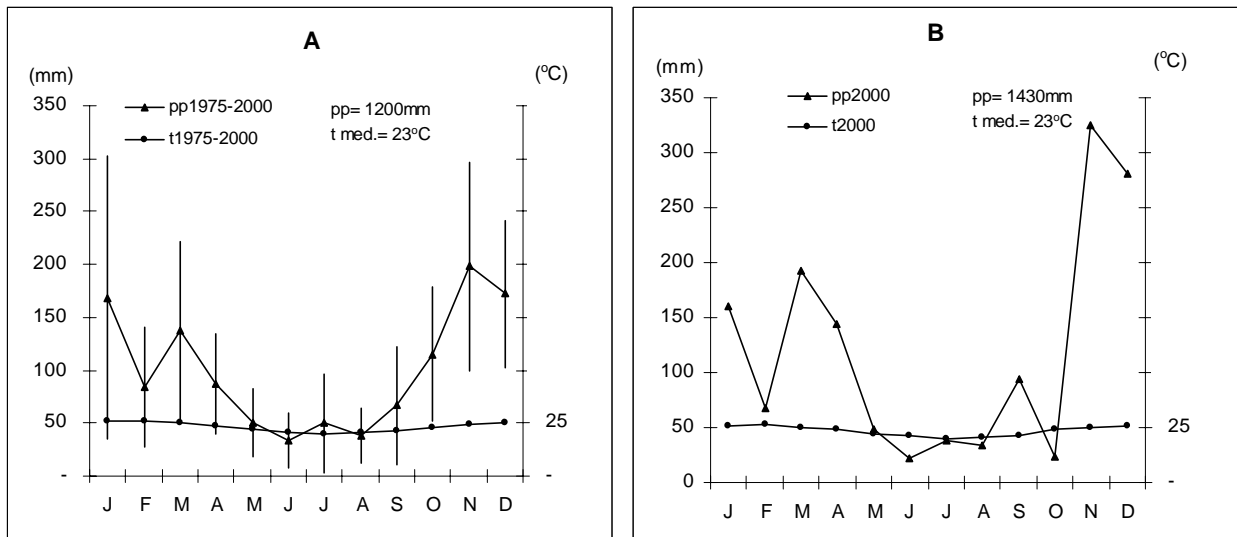


Figura 3.1. A: diagrama ombrotérmico de uma seqüência temporal de 26 anos; pp1975-2000: média das precipitações mensais; t1975-2000: temperaturas médias mensais; pp: média da precipitação total anual; tmed: média das temperaturas mensais. **B:** diagrama ombrotérmico do ano 2000 (ano da coleta do presente estudo); pp2000: precipitação mensal; t2000: média da temperatura mensal; pp: precipitação anual; tmed; temperatura média mensal. Dados obtidos da estação meteorológica da Reserva Natural da CVRD, Linhares, ES.

Porém, ao se analisar os quatro meses antecedentes a coleta relativa à estação chuvosa, ou seja, novembro e dezembro de 1999 e janeiro e fevereiro de 2000, com a média da seqüência temporal de 25 anos para o mesmo período (Figura 3.2A), observa-se que os índices pluviométricos do período 99/2000 são exatamente iguais aos do período 75/98, 612mm. Por outro lado, a análise dos quatro meses antecedentes a coleta relativa à estação seca, de abril a julho do ano 2000, mostra que este período foi um pouco mais chuvoso do que a média da seqüência temporal 75/99 (254mm e 221mm respectivamente) (ver figura 3.2B).

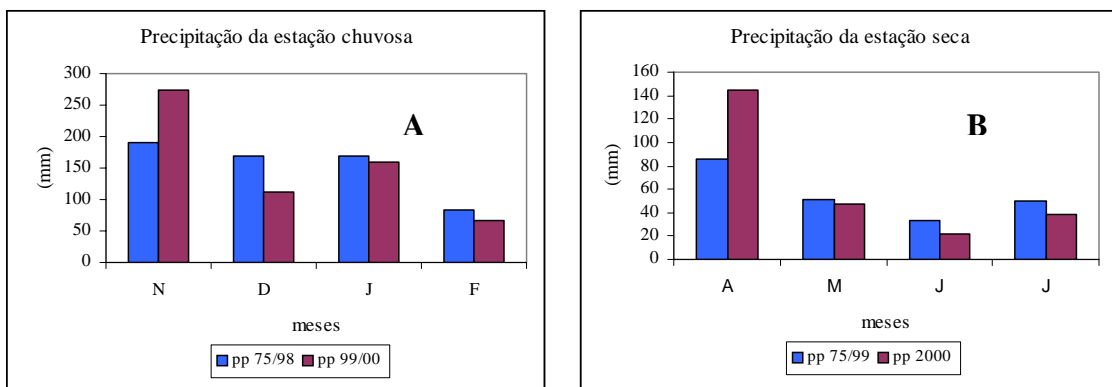


Figura 3.2. Precipitação dos quatro meses antecedentes às coletas do verão e do inverno. **A:** Índices pluviométricos do período de novembro a fevereiro, para os anos 99/00 e para a seqüência 75/98. **B:** Índices pluviométricos do período de abril a julho para o ano 2000 e para a seqüência 75/99.

Como colocado anteriormente, a variação térmica apresenta flutuações muito pequenas, confirmando o que expõe Nimer (1989) ao afirmar que, apesar da notável diversificação climática, na Região Sudeste o traço climatológico mais marcante é determinado pelo regime de chuvas e não pela variação das temperaturas. Em particular, a região dos tabuleiros costeiros se destaca, pois ao longo da baixada litorânea, a forte influência marítima prevalece sobre possíveis fatores altitudinais. Este fenômeno se expressa na umidade relativa do ar que manifesta um comportamento estável ao longo do ano, com uma média de 83,4%. O regime de temperaturas é igualmente estável (figura 3.1). Observa-se para o ano 2000 uma amplitude térmica da ordem de 5°C no que tange à temperatura média do mês mais quente e do mês mais frio (26,3°C e 21,1°C respectivamente).

3.1.2 Geomorfologia

A costa do Estado do Espírito Santo abrange cerca de 370Km de extensão sem grandes recortes marcantes. Segundo Abreu (1943), em termos morfológicos é possível delimitar dois segmentos costeiros bem diferenciados, tendo como marca limítrofe a cidade capital Vitória: a costa norte, baixa e sem relevo notável e a costa sul com uma estreita faixa plana, porém mais alta e acidentada (Figura 3.3). A porção norte pode ser fisiograficamente considerada como a continuação da costa sul do Estado da Bahia, onde se encontram extensas planícies cobertas por formações terciárias e quaternárias limitadas a oeste pela cadeia montanhosa marítima.

A figura 3.4 ilustra os domínios do relevo compreendidos na região, apontados pelo RADAMBRASIL (1987) como uma seqüência de três paisagens distintas que se sucedem do litoral para o interior: a planície quaternária, os tabuleiros costeiros e as elevações do cristalino.

É nesta região, mais precisamente na área onde se encontram os tabuleiros terciários costeiros do Grupo Barreiras, que foi conduzido o presente estudo.

Segundo Meis (1976) os primeiros trabalhos realizados sobre estas formações terciárias se preocupavam em designar apenas um sentido fisiográfico ao termo “Barreiras”. Sob este aspecto, referia-se, portanto, às rochas constituintes de imponentes falésias brancas e vermelhas encontradas no litoral nordeste e leste brasileiro.

Posteriormente, Amador & Dias (1978) e Amador (1982a) subdividiram o Grupo Barreiras em duas unidades: o Barreiras Inferior, unidade basal constituída por uma seqüência de depósitos sedimentares datados do Plioceno, composto principalmente por sedimentos grosseiros (arenitos e cascalhos) e o Barreiras Superior, que recobre o Inferior, constituindo materiais de deposição predominantemente areno-argilosos datados do Pleistoceno. De maneira geral, os principais constituintes litólicos do Grupo Barreiras são representados por arenitos intercalados por argilitos e conglomerados.

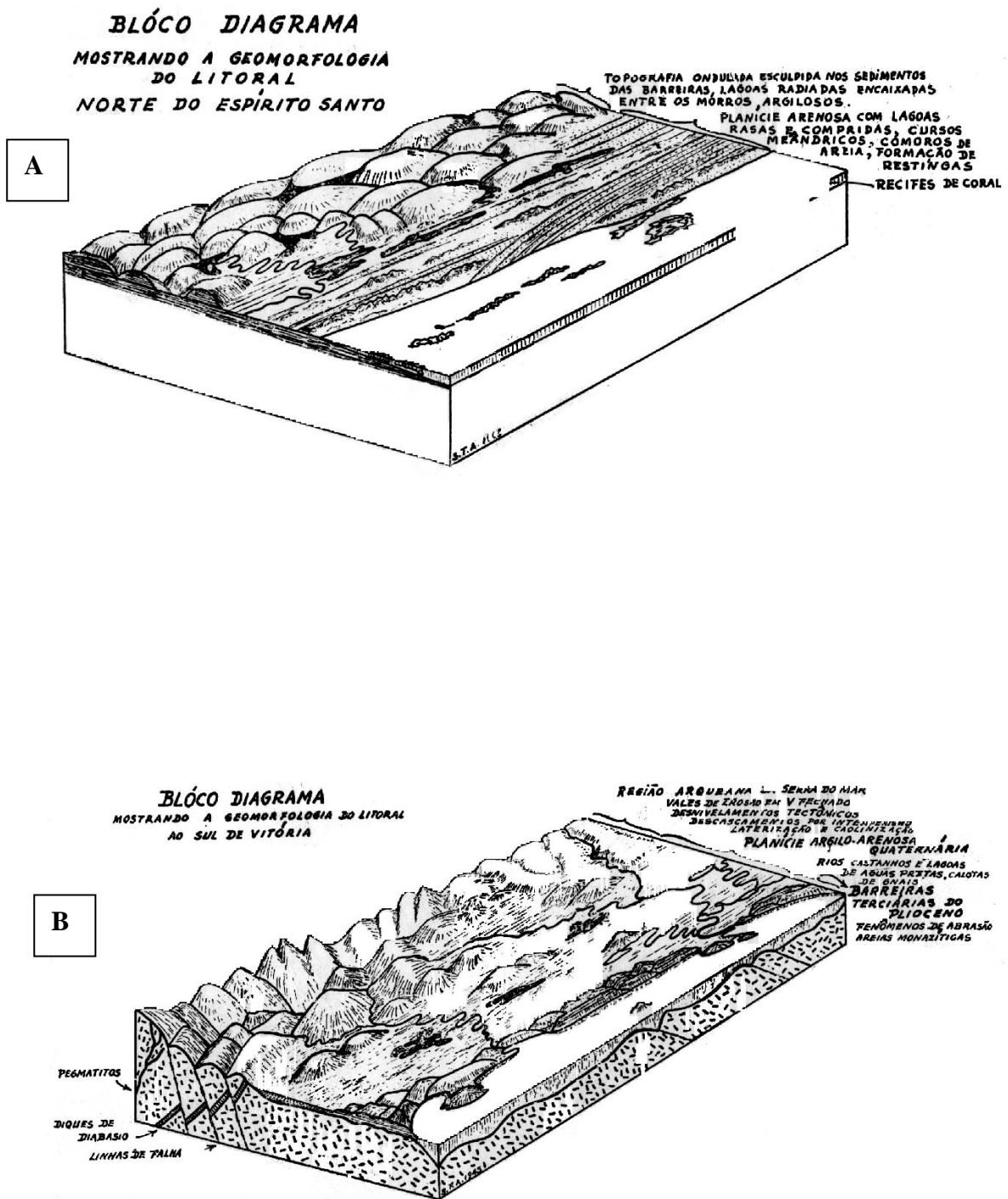


Figura 3.3. Diagrama esquemático das características geomorfológicas da costa do Estado do Espírito Santo. A: porção norte da costa realçando o relevo dissecado dos tabuleiros costeiros e a extensa planície quaternária. B: porção sul da costa mostrando a estreita faixa de baixada litorânea limitada entre o oceano e as elevações da Serra do Mar. Adaptado de Abreu (1943).

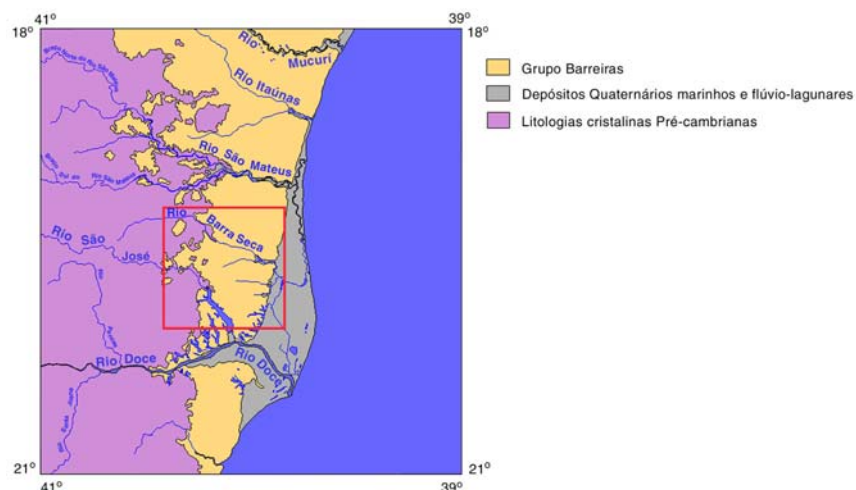


Figura 3.4. Sequência dos três principais domínios do relevo na região: a planície quaternária, os tabuleiros costeiros e as elevações do cristalino. Em destaque o domínio dos tabuleiros costeiros predominantes na área de estudo. Extraído de Vicens *et al.* (2004).

No âmbito da folha SE-24 Rio Doce (RADAMBRASIL, 1987) a unidade geomorfológica que coincide com o Grupo Barreiras é a dos Tabuleiros Costeiros distribuídos ao longo do litoral sul do Estado da Bahia e norte do Estado do Espírito Santo. Esta unidade geomorfológica é o reflexo dos elementos constituintes da paisagem, considerando os padrões de comportamento da rede de drenagem e as características dos solos e da vegetação (RADAMBRASIL, 1987).

Na realidade, os tabuleiros ocorrem ao longo da faixa costeira brasileira desde o Estado do Pará até o Rio de Janeiro. Na porção norte do Estado do Espírito Santo possuem largura aproximada de 80Km (IBDF-MMA, 1981) limitada à oeste pelas elevações cristalinas e a leste pela planície quaternária. Esta unidade geomorfológica se caracteriza pela predominância de feições aplanadas parcialmente conservadas, representadas por interflúvios tabulares com uma variação altimétrica média de 100m (Vicens, 2003).

As colinas tabulares encontram-se submetidas a retrabalhamentos de natureza fluvial e notadamente pluvial quando desprovidas de cobertura vegetal. Este fenômeno de instabilidade morfodinâmica é registrado principalmente nas encostas dos interflúvios que, mesmo apresentando declividades baixas – em torno de 5° – recuam progressivamente devido ao escoamento superficial proveniente das águas pluviais.

De acordo com Egler (1992) a extrema planura do relevo foi pouco alterada pela erosão fluvial, porém uma infinidade de pequenos cursos d'água, perpendiculares à linha de costa, contribuiu para a ação erosiva, o que culminou na separação de uma série de pequenos chapadões.

A maioria das bacias hidrográficas delimitadas por Vicens (2003) na área de estudo apresenta um padrão de drenagem paralelo. Os vales são formados por encostas plano-convexas e um fundo plano, entulhado por sedimentos quaternários. Devido a esta característica, acrescido da alta permeabilidade dos depósitos sedimentares, os fluxos hídricos ocorrem em grande parte em sub-superfície, com exceção dos canais estreitos que serpenteiam pelas zonas de saturação das várzeas.

Outra particularidade fisiográfica interessante é a presença de uma série de lagoas e braços mortos de rios que se encontram alinhadas às reentrâncias do cristalino (Egler, 1992). Algumas destas lagoas são resultantes do trabalho de erosão realizado em função da oscilação do nível de base em consequência da obstrução da desembocadura dos afluentes do Rio Doce. Outras, como a imponente Lagoa de Juparanã, estão situadas em locais de falha geológica (Vicens, 2003).

3.1.3 Solos e formas de húmus

Nos tabuleiros costeiros da área de estudo predominam os solos do tipo Argissolo Amarelo distrófico. Em segundo lugar encontra-se a classe dos Espodossolos Hidromórficos (Garay *et al.*, 2004). Nas localidades onde foram delimitadas as parcelas de coleta do presente estudo foram registrados somente perfis de solo da classe dos Argissolos. O mapeamento dos solos da REBIO Sooretama e da Reserva Natural da CVRD permite sintetizar as características destas classes de solo na região de estudo (Santos *et al.*, 2004).

O Argissolo Amarelo é constituído por perfis de profundidade média e seqüência bem definida dos Horizontes A, B_t e C. Essa classe se caracteriza por apresentar Horizonte A moderado, com profundidade que varia segundo o relevo: as partes baixas dos tabuleiros apresentam um A₂ de podzolização (Garay, com. pess.). O Horizonte B textural alcança geralmente 2m de profundidade.

O horizonte A é um horizonte mineral com matéria orgânica intimamente associada à fração mineral, moderadamente desenvolvido. A textura deste horizonte varia entre franco arenoso e franco argilo-arenoso, podendo haver a presença de cascalhos. A estrutura do tipo granular é predominante, assim como a ocorrência comum de poros muito pequenos a médios.

O horizonte B_t é iluvial, de textura argilosa ou muito argilosa. Apresenta estrutura do tipo em blocos angulares ou subangulares. Normalmente apresenta porosidade comum.

O horizonte C é o horizonte que apresenta a maior relação silte/argila dentro do perfil. A coloração variegada é mais freqüente e em geral é proveniente do material de origem em vários estágios de decomposição.

Esta classe de solos possui perfis bem drenados que se distribuem principalmente em áreas de relevo suave ondulado, constituído por colinas aplanadas com altitudes variando de 20 a 180

metros. São solos que apresentam reação moderadamente ácida, baixa capacidade de troca catiônica e baixa saturação em bases.

A classe dos Espodosolos Hidromórficos é constituída por solos com horizonte B espódico, horizonte formado em condições de má drenagem a partir de material arenoso, com acumulação de matéria orgânica e sesquióxidos de ferro que agem como material cimentante. São profundos, arenosos, ácidos a moderadamente ácidos, com baixa saturação em bases. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A, E, B_h e C. O horizonte A possui cor cinzenta escura, seguido de um horizonte eluvial de cor bem mais clara, sobre o horizonte B_h de cor bruno escuro, que coincide com o nível do lençol freático. São desenvolvidos sobre sedimentos areno-quartzosos de origem marinha, referidos ao Holoceno, em relevo plano de baixada. Distribuem-se na paisagem em depressões entre os tabuleiros, áreas de várzea e planícies aluviais (Garay *et al.*, 1995a; Santos *et al.*, 2004).

No total, os solos predominantes nos tabuleiros costeiros são caracterizados por uma baixa fertilidade e por uma baixa capacidade de retenção dos nutrientes, a causa do caráter arenoso dos horizontes superficiais. Sendo assim, os húmus florestais formados pela decomposição da matéria orgânica proveniente da cobertura vegetal exercem uma função fundamental não apenas por aumentar a fertilidade do solo – por meio da liberação de nutrientes mediante os processos de decomposição – mas também por aumentar a capacidade de troca catiônica do solo – por meio dos colóides orgânicos decompostos – proporcionando a manutenção da cobertura vegetal (Garay *et al.*, 2004).

Neste contexto, a forma de húmus mais freqüente na região dos tabuleiros costeiros é o húmus do tipo mull (Garay *et al.*, 1995a; Garay *et al.*, 1995b). Essa forma de húmus está associada aos solos Argissolos da Floresta Atlântica de Tabuleiros, em condições de temperaturas médias elevadas e precipitações relativamente regulares. O húmus mull dos tabuleiros, que resulta da rápida decomposição dos aportes foliares (da ordem de um ano) é caracterizado pelo acúmulo de matéria orgânica e nutrientes no topo do solo e pela existência de agregados organo-minerais no interior do primeiro horizonte pedológico, sendo classificado como um mull mesotrófico tropical (Kindel & Garay, 2002). Um estudo detalhado desta forma de húmus para as áreas onde foram delimitadas as parcelas de coleta do presente estudo se encontra em Garay *et al.* (2004).

3.1.4 Vegetação

Segundo o sistema de classificação fitogeográfico de Rizzini (1979) a Floresta Atlântica de Tabuleiros é considerada como o terceiro corpo florestal do Brasil, onde sua área central, mais imponente, encontra-se no sul da Bahia e norte do Espírito Santo. Neste trabalho, o autor classifica a floresta como Floresta Atlântica dos Tabuleiros Terciários, acrescentando que esta possui

estrutura semelhante à Floresta Amazônica e composição mista, ou seja, elementos florísticos próprios, amazônicos e atlânticos.

O trabalho realizado pelo projeto RADAMBRASIL (1987) concluiu que a região se insere nas classes Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas e Floresta Estacional Semi-decidual das Terras Baixas. No entanto, Jesus (1988), Rolim & Nascimento (1997) e Rolim *et al.* (2001) adotam única e exclusivamente a segunda classe proposta, alegando que esta classificação está de acordo com recentes estudos conduzidos na Reserva Natural da CVRD que levam em conta regimes pluviométricos e padrões fenológicos.

Em um estudo sobre a composição da mata de tabuleiros, Peixoto & Gentry (1990) colocam que a vegetação da região, condicionada por fatores geológicos e edafo-climáticos, apresenta características fisionômicas e florísticas distintas da floresta atlântica em sua forma mais típica, podendo, por conseguinte, ser considerada como uma Floresta Ombrófila Semi-decídua. Porém, a semelhança com estrutural com a Floresta Amazônica levou estes autores à denominação de Hiléia Baiana.

Diversos outros trabalhos sobre a estrutura e composição da comunidade arbórea de grande relevância para a área foram realizados recentemente. Entre eles, Rizzini (2000), Agarez (2002), Garay & Rizzini (2004), Louzada (2004).

A seguir, será dada atenção aos aspectos físicos, biológicos e históricos de ocupação humana específicos da paisagem que abrange a área de estudo do presente trabalho.

3.2 Caracterização da área de estudo: a paisagem

A região que compreende a Floresta Atlântica de Tabuleiros em estudo sofreu, notadamente a partir da década de 50, um intenso processo de ocupação agrícola e desmatamento. Na década de 60, a cobertura florestal cobria ainda cerca de 30% da região norte do Espírito Santo (Jesus, 1987). Posteriormente, a intensa redução da sua área resultou, na atualidade, ao equivalente a 5% do total original (SOS Mata Atlântica, 2006). Em paralelo às atividades agrícolas se desenvolveu a exploração madeireira. Os anos subsequentes são marcados por intensa ocupação do solo que gerou um grande número de pequenas propriedades destinadas à plantação de café e outras frutíferas e, ainda, plantios de *Eucalyptus*.

O município de Sooretama, onde foi conduzido o presente estudo, corresponde à unidade da paisagem denominada Planície fluvial erosivo-acumulativa, estacionalmente úmida, sobre arenitos terciários (Vicens, 2003). Localizado ao norte do Espírito Santo, a 19°24'20'' de latitude Sul e 40°04'05'' de longitude Oeste, este município é constituído por uma paisagem dominada por uma matriz

essencialmente agrícola que contém a maior parte da Reserva Biológica de Sooretama¹ e numerosos fragmentos florestais em propriedades particulares. No total, essas manchas de floresta ocupam praticamente a metade da área do município, o que põe em evidência sua importância na configuração da paisagem (Agarez *et al.*, 2004).

Agarez *et al.* (2004), em uma contribuição para a gestão e conservação da diversidade biológica dos fragmentos no município de Sooretama, contabilizaram um total de 213 fragmentos de floresta de diferentes formas e tamanhos (figura 3.5). Estes remanescentes totalizam uma área de 3000ha de floresta.

Os fragmentos florestais inseridos nessa paisagem foram classificados em três grupos, segundo o grau de alteração da cobertura arbórea: 1) alta diversidade, 2) média diversidade e 3) baixa diversidade. A partir do estudo detalhado da estrutura e composição da comunidade arbórea e de sua correlação com os padrões do índice normalizado de vegetação ou NDVI foi possível gerar um modelo de classificação do conjunto dos fragmentos quanto à diversidade estimada (Figura 3.6).

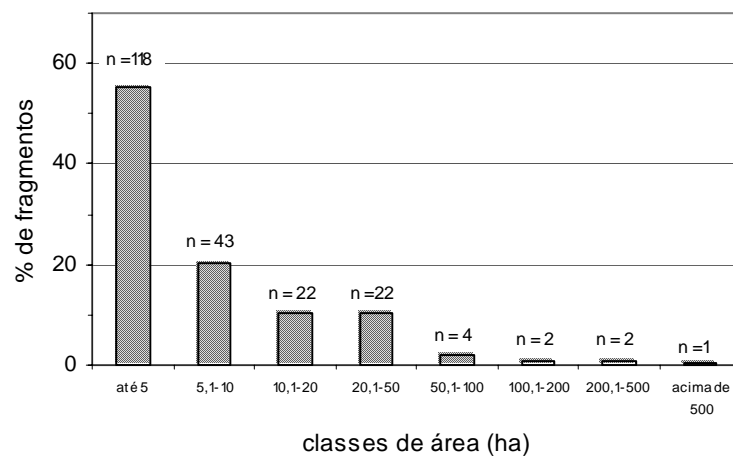


Figura 3.5. Distribuição em classes de área dos remanescentes florestais no município de Sooretama, ES. Segundo Agarez *et al.* (2004).

¹ O início da criação da atual REBIO Sooretama resultou da doação, ao Governo Federal, das terras de uma já existente Reserva Florestal Estadual com 12.000ha, segundo Decreto-lei n^o. 14.977 de 1943. No entanto, após longos conflitos de posse de terra, o processo se define apenas em 1971 pela Portaria n^o. 2015/71 com a aquisição de outra reserva estadual contígua àquela, a Reserva Florestal de Barra Seca com 10.000ha de extensão. A REBIO Sooretama, com 24.000ha, é oficialmente estabelecida no ano de 1982 (Aguirre, 1951; Garay, 2006).

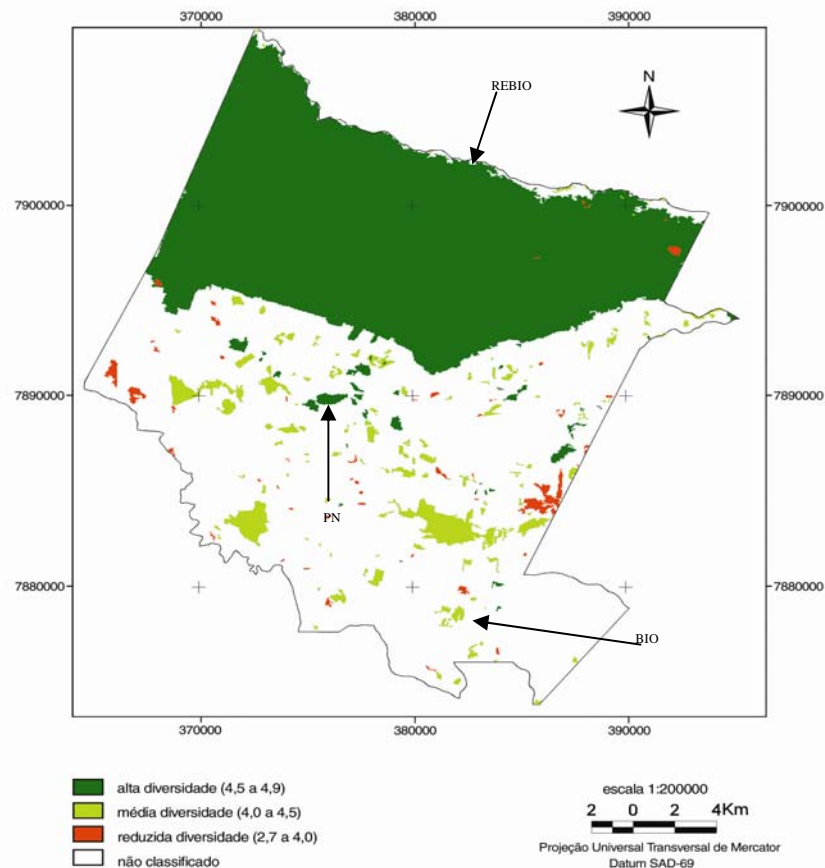


Figura 3.6. Mapa dos remanescentes florestais do município de Sooretama. As setas indicam os fragmentos escolhidos para o presente estudo: REBIO: Reserva Biológica de Sooretama; PN: fragmento Pasto Novo; BIO: fragmento Bionativa. Modificado de Agarez *et al.* (2004).

Os indicadores fitossociológicos desse estudo revelaram que os fragmentos florestais foram submetidos a atividades extrativistas em diferentes graus, ocasionando modificações na estrutura e na composição da comunidade arbórea, como redução da área basal e da diversidade biológica. Em particular, as espécies da família Myrtaceae, elemento característico da Floresta Atlântica, apresentam baixa diversidade e densidade nos fragmentos. Por outro lado, espécies secundárias de início de sucessão representadas pela família das Anacardiaceae e Euphorbiaceae possuem maiores densidades, o que sugere um processo de substituição das espécies tipicamente tardias por espécies pioneiras e secundárias iniciais (Agarez, 2002; Agarez *et al.*, 2004).

Para o presente estudo foram escolhidas três áreas. A Reserva Biológica de Sooretama (REBIO), com 24.000ha de extensão, constitui o sítio controle; o fragmento Pasto Novo, com 80ha, representa um fragmento classificado como de alta diversidade e; o fragmento Bionativa, com 15ha, corresponde à classe dos fragmentos com diversidade média. O fragmento Pasto Novo está

localizado a aproximadamente 3 km da Reserva Biológica de Sooretama e o Bionativa está a 6km da Reserva Natural da Companhia Vale do Rio Doce (figura 3.7).



Figura 3.7. (a): fotografia aérea mostrando o distrito de Juncado, sua matriz agrícola, fragmentos florestais e a REBIO Sooretama ao fundo. (b): fotografia aérea mostrando o distrito de Córrego Rodrigues, sua matriz agrícola, fragmentos florestais e a REBIO Sooretama ao fundo. (c): fotografia do fragmento Bionativa. (d): fotografia do fragmento Pasto Novo. (e): fotografia do fragmento Pasto Novo ao fundo e plantações de café em primeiro plano. (a) e (b): fotografias gentilmente cedidas pelo acervo da REBIO Sooretama, autor: Antonio Pádua de Almeida – IBAMA, ES. (c): autor: Irene Garay. (d) e (e): autor: Felipe Noronha.

O estudo da vegetação dessas três áreas (Agarez, 2002) revela que as famílias das Leguminosae, Myrtaceae e Sapotaceae são as mais representativas em termos de espécie em todos os sítios. No entanto, as estimativas levantadas para o fragmento Bionativa correspondem praticamente à metade das estimativas obtidas para a REBIO (Leguminosae – 42 para a REBIO e 26 para Bionativa; Myrtaceae – 25 para a REBIO e 19 para Bionativa). As densidades estimadas foram de 1.356 ind./ha para a REBIO, 1.214 ind./ha para o fragmento Pasto Novo e 1.095 ind./ha para o fragmento Bionativa. Porém, ao se analisar a densidade das famílias Leguminosae e Myrtaceae verifica-se que no fragmento Bionativa houve um decréscimo significativo comparado com a REBIO (Leguminosae – 192 ind./ha para a REBIO e 94 ind./ha para Bionativa; Myrtaceae – 383 ind./ha para a REBIO e 57 ind./ha para Bionativa). Na realidade, a família das Anacardiaceae foram as mais abundantes no fragmento Bionativa. Em relação à área basal, foi estimado para a REBIO um valor de 30m²/ha, 27m²/ha para Pasto Novo e 18m²/ha para Bionativa. Considerando o DAP (diâmetro à altura do peito), verifica-se uma forte redução na quantidade de indivíduos com DAP situado entre 5-10cm e entre 40-80cm no fragmento Bionativa, além de ausência de árvores com DAP acima de 80cm.

O conjunto desses resultados indica uma significativa diminuição da madeira em pé nos fragmentos, sobretudo no fragmento Bionativa. Pode se afirmar que nesse fragmento os indivíduos das espécies de Myrtaceae e Leguminosae foram os mais afetados, principalmente àqueles com fuste mais fino – bom para lenha e ferramentas – e mais largo – mais utilizados pelas madeireiras.

Em última análise, esses resultados são reflexos do histórico dos fragmentos. No caso do fragmento Pasto Novo, o proprietário adquiriu essas terras em 1950, com vistas à implantação de culturas de café. A área inicialmente com 240ha sofreu significativo processo de retirada de madeira, especialmente nas décadas de 60 e 70. Apesar das perturbações, este fragmento, hoje com aproximadamente 80ha, ainda apresenta bom aspecto de conservação. O fragmento florestal pertencente à Fundação Bionativa, integrava, na década de 50, um estabelecimento rural com 115ha. Após desmatamento realizado na década de 60, conformou-se aí um fragmento de 40ha. Segundo relato de um ex-proprietário, pela dificuldade em se cultivar alimentos devido às constantes invasões às roças, o terreno foi vendido na segunda metade da década de 90, porém 25ha deste fragmento foi desmatado e loteado. Os 15ha restantes foram adquiridos pela prefeitura e passaram a integrar o Bionativa.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Da escolha dos sítios de estudo

Levando-se em consideração que o presente estudo visa investigar a influência da fragmentação florestal sobre a heterogeneidade da dinâmica de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes são fundamentais uma escolha dos sítios e uma amostragem estratificada adequada à elucidação dessa problemática. Essa escolha passa, portanto, pela importância de se viabilizar a validação de modelos e possibilitar a compreensão dos diversos fatores que possam estar atuando no sistema.

Vale ressaltar que este trabalho é parte de um conjunto de pesquisas que foram realizadas na região desde a década de 90 e que, por conseguinte, já conta com resultados acerca da estrutura da comunidade arbórea (Rizzini, 2000; Agarez, 2002) e seus aspectos fenológicos e químicos (Louzada, 2004), dos solos e as características das formas de húmus (Kindel, 2001) e da comunidade de macroartrópodos edáficos (Pellens, 2002; Castro Júnior, 2002).

Para isso, alguns critérios básicos foram levantados para que a seleção dos sítios viabilizasse a elaboração de um projeto integrado que abrangesse, em um contexto mais amplo, todas as fácies e abordagens que um projeto de gestão da biodiversidade em sistemas fragmentados demanda (Garay, 2000). Sendo assim, para que um fragmento de floresta fosse escolhido como um sítio de estudo, ele deveria necessariamente respeitar as seguintes condições:

- 1) a presença de árvores emergentes e a existência de um dossel de 20 metros, mesmo que descontínuo;
- 2) a forma não muito comprida para evitar efeito de borda demasiado significativo com respeito ao tamanho;
- 3) o tamanho;
- 4) a distância a área nuclear;
- 5) a situação topográfica, de forma que os fragmentos possuam parte da sua área em topo de tabuleiro e;
- 6) a relação com os proprietários rurais, de maneira a garantir uma certa seguridade e continuidade do trabalho.

A tabela 4.1 apresenta uma síntese das características dos sítios de estudo e a localização geográfica dos mesmos.

A REBIO de Sooretama, por ser uma unidade de conservação destinada à preservação integral dos seus recursos naturais e ser um exemplar de mata primária de tabuleiros, serviu como sítio testemunho na comparação do funcionamento e estrutura do subsistema de decomposição com os remanescentes escolhidos.

De maneira geral, apesar dos fragmentos escolhidos ainda conservarem trechos de mata bem preservados, eles são intensamente visitados e submetidos a perturbações como, por exemplo, a extração seletiva de madeira ou de ervas. Dessa forma, podem se distinguir no interior dos fragmentos evidências do uso antrópico como a abertura de caminhos ou trilhas internas.

Sendo assim, com o intuito de avaliar o efeito do uso antrópico dos fragmentos sobre o funcionamento do subsistema de decomposição, foram amostradas duas situações: 1) área de floresta bem preservada e 2) trilhas internas. Cabe assinalar que na REBIO Sooretama foi amostrada apenas área de floresta.

Pretende-se, a partir da escolha dos sítios (dois fragmentos e REBIO) e dos pontos amostrais, considerar a heterogeneidade espacial entre fragmentos, por meio da comparação das áreas de floresta da REBIO com as áreas de mata dos fragmentos, e dentro do fragmento, por meio da comparação das diferentes situações internas aos fragmentos (área de mata *versus* trilha).

Tabela 4.1. Localização geográfica e características das áreas de estudo.

| | Sítio testemunho | Fragmentos | |
|--|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| | REBIO Sooretama | Pasto Novo | Bionativa |
| Coordenadas geográficas | S 19° 03' 20'' W 40° 08' 49'' | S 19° 05' 04'' W 40° 10' 39'' | S 19° 11' 20'' W 40° 06' 54'' |
| Topografia (altitude) | Suave ondulado (200m) | Suave ondulado (entre 150 e 200m) | Ondulado (50m) |
| Distância ao corpo d'água mais próximo | 1000m | 500m | 0* |
| Área (ha) /Perímetro (Km) | 24.000 / 268,5 ^a | 80 / 4,9 ^a | 15 / 4,1 ^a |
| Distância do sítio testemunho (Km) | - | 3,5 | 6,0 |
| Distância das parcelas de estudo à borda (m) | ± 1000 | ± 200 | ± 200 |
| Predominante uso da terra adjacente | café | café | Eucalipto e periferia urbana |

Modificado de Pellens (2002). * existem dois córregos no interior deste fragmento; ^a dados não publicados de Fernando Agarez.

4.2 Estudo comparado das formas de húmus

Para se estudar o funcionamento do subsistema de decomposição da matéria orgânica, deve se caracterizar a estrutura dos horizontes húmicos no que diz respeito à quantificação e análise química das camadas holorgânicas e sua relação com os atributos pedológicos dos horizontes hemiórgânicos superficiais.

Sendo assim, as áreas de floresta estudadas, tanto nos fragmentos quanto na REBIO de Sooretama, foram escolhidas cuidadosamente de forma a representar trechos de mata bem conservados e com um mínimo grau de perturbação interna. Em cada um desses sítios foram demarcadas quatro parcelas de 20m x 20m. Dentro destas, foram coletadas três amostras perfazendo

um total de 12 amostras. As coletas foram realizadas no mês de março de 2000, correspondendo à estação chuvosa, e no mês de agosto do mesmo ano, correspondendo à estação seca.

Com relação às trilhas foram escolhidos seis trechos em cada fragmento, ao longo dos quais foram demarcados e coletados aleatoriamente dois pontos amostrais, somando um total de doze amostras por estação. A tabela 4.2 resume o esquema do protocolo de amostragem realizada nos sítios de estudos.

Tabela 4.2. Síntese do protocolo de amostragem nas áreas de estudo. Note que esta tabela é válida para uma estação, portanto, o mesmo procedimento foi realizado para cada estação.

| Sítios de estudo | Situação Amostrada | Dimensão da parcela | Nº de parcelas | Nº de amostra /parcela | Nº total de amostras |
|----------------------------|--|---------------------|----------------|------------------------|----------------------|
| REBIO Sooretama | Mata de Tabuleiros contínua bem preservada | 20m x 20m | 4 | 3 | 12 |
| Fragmento Pasto Novo (PN) | Floresta bem preservada | 20m x 20m | 4 | 3 | 12 |
| | Trilhas internas | | 6 | 2 | 12 |
| Fragmento Bionativa (BIO) | Floresta bem preservada | 20m x 20m | 4 | 3 | 12 |
| | Trilhas internas | | 6 | 2 | 12 |

É relevante mencionar que nestas mesmas parcelas foi desenvolvido, concomitantemente, um estudo sobre a comunidade de macroartrópodos do solo, o que vai permitir caracterizar não só a dinâmica de matéria orgânica, como também a influência da heterogeneidade espacial sobre os agentes que participam do processo de decomposição.

A amostragem consiste na coleta das camadas holorgânicas (camada L, composta por folhas inteiras e camada F, composta por folhas fragmentadas) e dos horizontes hemiórgânicos (horizonte A_i , parte superior do horizonte A, e horizonte A_1 , localizado logo abaixo do horizonte A_i). O material utilizado para se delimitar a área de coleta das camadas holorgânicas foi um quadrado metálico de 0,25m de lado. Neste caso, as amostras foram inicialmente separadas no campo e em seguida levadas ao laboratório onde é feita uma nova triagem mais detalhada. Dando continuidade à amostragem, dentro do quadrado de onde foi retirado o folhiço (camadas holorgânicas), fez-se a coleta do horizonte A_i . Para a coleta do horizonte A_1 utilizou-se um cilindro com 10cm de diâmetro e 10cm de altura (Malagon *et al.*, 1989) (figura 4.1).



Figura 4.1. acima, da esquerda para direita: quadrado metálico de 25cm de lado; exemplares de folhas da camada L; exemplares de folhas da camada F. Abaixo, da esquerda para direita: exemplar de amostra de solo do horizonte A₁; cilindro metálico de 10cm de altura por 10cm de diâmetro; exemplar de amostra de solo do horizonte A₁.

4.2.1 Tratamento das camadas holorgânicas

Segundo a descrição e distinção das camadas holorgânicas em diferentes estágios de decomposição propostas por Babel (1975), Malagon *et al.* (1989) e Garay & Silva (1995c), a triagem foi feita utilizando-se uma peneira com malha de 2,0mm. Os elementos destas camadas foram separados em: folhas da camada L; folhas da camada F; restos foliares da camada H, quando presente; agregados, raízes finas e material fino de cada camada; galhos e material reprodutivo (frutos, sementes e flores). Após esta separação, o material foi seco em estufa a 60°C, pesado e quantificado. A unidade utilizada é $t\ ha^{-1}$.

Para complementar a análise foi estimado o conteúdo de carbono orgânico e nitrogênio das folhas da camada L. Segundo Medina (1981) *apud* Garay & Rizzini (2004), os simples teores de nitrogênio e o conteúdo de carbono orgânico das folhas podem ser considerados indicadores do grau de esclerofilia das folhas. Dessa forma, utiliza-se a razão C/N para estimar a qualidade do folhígio em decomposição. Para a análise do carbono as folhas da camada L foram moídas, incineradas em mufla à 550°C por 8 horas e pesadas com balança de precisão de quatro dígitos. A estimativa do conteúdo de carbono orgânico nas folhas é feita a partir das seguintes equações:

$$(1) \% \text{mat. org.} = (Pca - Pci) \times 100 / Pam$$

$$(2) \% C \text{ org.} = \% \text{mat. org.} / 2$$

onde: Pca = peso do cadinho + amostra
Pci = peso do cadinho incinerado
Pam = peso da amostra

Para a análise do nitrogênio as folhas moídas foram levadas para o Laboratório de Química da EMBRAPA – CNPS, onde foi utilizado o equipamento Perkin Elmer Series II. Os resultados das concentrações de nitrogênio são obtidos por leitura direta. Os valores dos conteúdos de carbono orgânico e nitrogênio são expressos em porcentagem de peso seco. Para cada análise realizou-se a composição de uma amostra a partir de duas amostras, totalizando 60 amostras, sendo 12 amostras (seis relativas ao verão e seis relativas ao inverno) para cada situação amostrada.

4.2.2 Tratamento dos horizontes hemiórgânicos

As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas com peneira de 2,0mm de malha. O material que fica retido na peneira é composto por agregados, raízes finas, resíduos foliares e galhos. A fração inferior a 2,0mm (fração fina), assim como os agregados (fração agregada), foram enviados para a EMBRAPA – CNPS, onde foram realizadas as análises químicas e físicas, conforme metodologia descrita no manual de métodos de análise de solos (EMBRAPA, 1997).

No caso das análises físicas de granulometria da fração fina, obteve-se uma amostra a partir da composição de quatro amostras, sem, no entanto, levar em consideração a variação temporal, o que resulta num total de 30 amostras computadas para o horizonte A_i e A_1 . Para a fração agregada foram selecionadas, de cada horizonte, seis amostras ao acaso, das quais a composição de uma amostra era obtida a partir de duas amostras, o que também resulta num total de 30 amostras, já que, do mesmo modo, a variação temporal não foi considerada.

O procedimento de preparo das amostras para as análises químicas da fração fina consistiu na composição de duas amostras, porém aqui a variação temporal foi levada em consideração, ou seja, foram elaboradas amostras relativas à estação chuvosa e seca. Neste caso, o total foi de 60 amostras para cada horizonte hemiórgânico. Para as análises químicas da fração agregada, após a seleção de seis amostras ao acaso, compôs-se uma amostra a partir de duas. Como a variação temporal foi considerada foram obtidas 30 amostras no total para cada horizonte hemiórgânico.

A seguir encontra-se uma síntese dos princípios básicos e os procedimentos metodológicos para a realização das análises físicas e químicas do solo segundo EMBRAPA (1997).

Análises Químicas

Todas as amostras foram secas em estufa a 40°C por tamisação para determinação da proporção da terra fina seca ao ar e posterior encaminhamento da amostra aos laboratórios específicos de cada análise.

• pH em água (1:2,5)

Medição do potencial eletronicamente por meio de potenciômetro com eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido.

Após adição de 10g de solo em 25ml de água destilada, agitar a amostra e deixar repousar por uma hora. Em seguida, mergulhar os eletrodos na suspensão homogeneizada e proceder a leitura do pH. O potenciômetro foi aferido com as soluções padrão pH 4,0 e 7,0.

• Carbono orgânico

O princípio da determinação do carbono orgânico é a oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico. O excesso de dicromato é então titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal.

O procedimento consiste em tomar 0,5g de solo, adicionar 10ml de dicromato de potássio 0,4N, incluir um branco com 10ml da solução de dicromato de potássio e anotar o volume de sulfato ferroso gasto. Após aquecimento em placa elétrica, esfriar e juntar 80ml de água destilada, 2ml de ácido ortofosfórico, 3 gotas do indicador difenilamina. Em seguida titular com solução de sulfato ferroso amoniacal até que a cor azul ceda lugar à verde. Anotar o volume gasto deste reagente.

$$C \text{ (g/Kg)} = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6$$

$f = 40/\text{volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na prova em branco}$

• Nitrogênio total

O nitrogênio em solos tropicais está intimamente ligado à matéria orgânica. Neste método, o nitrogênio é convertido em sulfato de amônio através da oxidação com mistura de Na_2SO_4 e CuSO_4 . Posteriormente, em meio alcalino, o sulfato de amônio convertido da matéria orgânica libera amônia que, em câmara de difusão, é complexada em solução de ácido bórico contendo indicador misto, sendo finalmente determinado por acidimetria a partir de titulação com solução de H_2SO_4 . A técnica utilizada para se chegar a essa determinação é o de Kjeldahl por câmara de difusão.

• Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio e Alumínio trocáveis

A CTC do solo é definida como sendo a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à nutrição das plantas. Estes cátions adsorvidos são extraídos por soluções de ácidos diluídos e posteriormente determinados por métodos volumétricos.

O Al^{3+} trocável é extraído com solução KCl 1N e determinado por métodos volumétricos de titulação com solução diluída de NaOH na presença do indicador azul de bromotimol, até persistir a coloração verde-azulada.

O Ca^{2+} e o Mg^{2+} trocáveis são extraídos com solução KCl 1N e determinado por compleximetria na presença dos indicadores eriochrome e calcon. A partir da solução onde foi feita a extração do alumínio trocável adiciona-se os indicadores até a viragem da cor vermelho-roxo para o azul-esverdeado. Com esta titulação determina-se conjuntamente Ca^{2+} e o Mg^{2+} . Para o cálculo do cálcio trocável, titular outra solução na presença do indicador calcon e EDTA 0,0125M até a viragem da cor rósea para roxa; anotar o volume de EDTA gasto que corresponde ao cálcio existente. Para calcular o magnésio, basta efetuar a subtração de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Ca}^{2+}$.

O K^+ e o Na^+ são extraídos com solução diluída de HCl e posterior determinação por espectrofotometria de chama, usando um filtro próprio para cada elemento. Proceder a leitura do aparelho.

• Fósforo Assimilável

A fração do teor total de fósforo assimilável no solo é aquela que corresponde ao teor utilizado pelas plantas. Ele é determinado a partir da formação de complexo fósforo-molibdico de cor azul obtido após redução do molibdato de amônio com ácido ascórbico. Deve-se deixar desenvolver a cor durante uma hora e em seguida proceder a leitura da densidade ótica no fotocolorímetro, usando filtro vermelho com comprimento de onda de $660\mu\text{m}$.

Análises Físicas

A análise granulométrica por meio da dispersão total baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. As frações grosseiras (areia grossa e areia fina) são separadas por tamisação, secas em estufas e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. Para a fração argila, fixa-se o tempo de deslocamento vertical na suspensão do solo com água após a adição de um dispersante químico. É necessário fazer a prova em branco, pois, a partir da diferença da leitura da suspensão da amostra com a leitura do branco, obtêm-se a leitura real da suspensão argila que, devidamente corrigida por um fator, representa o teor de argila em 100g de solo. A porcentagem de silte é calculada, então, pela diferença de $100\% - (\text{areia grossa} + \text{areia fina} + \text{argila})$.

Avaliação das características estruturais dos horizontes hemiórgânicos

Os parâmetros considerados para se avaliar a estrutura dos horizontes A_i e A_1 foram o peso seco médio da fração fina em cada horizonte, o peso seco médio da fração agregada em cada horizonte, o peso total médio de cada horizonte, a porcentagem média de agregados em cada horizonte e a densidade aparente média do horizonte A_1 . A densidade aparente foi calculada por meio da divisão do peso total de cada amostra do horizonte A_1 com o volume do cilindro utilizado para a retirada da amostra. A unidade é g/cm^3 .

Cálculo dos estoques dos nutrientes

Os estoques de carbono, nitrogênio e nutrientes, tanto na fração fina como na fração agregada, dos horizontes A_i e A_1 são calculados com base no peso seco que cada fração contribui separadamente para a amostra de solo coletada e no valor da concentração obtida através das análises químicas. No caso do cálculo dos estoques das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+), inclui-se na fórmula um fator referente ao peso atômico e a carga elétrica de cada elemento. A unidade utilizada para o estoque de carbono é t/ha e para os demais elementos Kg/ha. Para o cálculo dos estoques totais no horizonte A_i e A_1 efetuou-se a soma dos estoques de cada fração.

4.3 Tratamento Estatístico

Para testar a significância das diferenças entre a variação temporal das variáveis em cada situação utilizou-se o teste paramétrico t de Student, após normalização dos dados por meio do cálculo da raiz quadrada dos dados brutos. Quando o número amostral se mostrou pequeno foi utilizado o teste não paramétrico de Mann – Whitney (teste U). Este teste par a par constitui uma boa alternativa ao teste t de Student quando não é possível satisfazer as exigências impostas por este

teste (Sokal & Rohlf, 1995). Isto foi válido para a comparação das variações temporais encontradas nos resultados dos atributos químicos da fração agregada e das características físicas de cada fração.

Quando da análise da heterogeneidade interna aos fragmentos, a significância das diferenças encontradas foi testada por meio de análise de variância (ANOVA), seguido do teste *post hoc* de Tukey a 5%. Os dados foram normalizados. A comparação entre as áreas de mata dos fragmentos e da REBIO foi também realizada pela ANOVA, uma vez que estava em comparação mais de dois grupos de amostras independentes. Quando o número amostral foi pequeno, como no caso da comparação entre os resultados de granulometria e das concentrações de carbono e nutrientes dos agregados, foi utilizado o teste não paramétrico Kruskal Wallis.

Todas as análises estatísticas foram calculadas no programa *Statistica 6.0*. As planilhas dos dados brutos foram elaboradas no programa *Excel for Windows*.

5. RESULTADOS: COMPARAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DE FLORESTA DO SÍTIO CONTROLE E AS ÁREAS DE MATA DOS FRAGMENTOS

Será apresentada a seguir uma caracterização das camadas holorgânicas dos perfis húmicos que corresponde à quantificação do estoque de matéria orgânica em cada camada e à determinação do teor de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L.

Em seguida, será apresentada uma descrição das características estruturais e químicas dos horizontes hemiórgânicos (A_i e A_1), analisando, em especial, os processos de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes no solo. Para isso, serão apresentados dados de concentração e estoque de carbono e nutrientes das frações fina e agregada.

A biomassa e distribuição vertical de raízes finas no perfil húmico também é analisada neste capítulo.

Pretende-se, portanto, verificar se existem diferenças no funcionamento do subsistema de decomposição comparando sua heterogeneidade estrutural e funcional entre os fragmentos florestais escolhidos.

5.1 Estoque de matéria orgânica nas camadas holorgânicas

Na tabela 5.1 encontram-se os resultados referentes aos estoques de matéria orgânica das camadas holorgânicas nos três sítios de estudo.

No período estival os maiores valores do estoque total de matéria orgânica foram obtidos para a REBIO Sooretama (4,8 t/ha), seguido do fragmento Pasto Novo (3,7 t/ha) e do fragmento Bionativa (1,6 t/ha). No inverno, o estoque total de matéria orgânica foi superior para o fragmento Pasto Novo (5,1 t/ha), seguido da REBIO com 4,4 t/ha e do fragmento Bionativa com 2,1 t/ha. Nesse fragmento, o acúmulo total em ambas as estações representa entre um terço e metade do estimado para a REBIO Sooretama. A comparação entre esses dois sítios evidencia diferenças significativas para o acúmulo total de matéria orgânica (teste Tukey; $F = 24,86$ e $p < 0,001$ no verão; $F = 5,26$ e $p = 0,02$ no inverno). Na comparação entre a REBIO Sooretama e o fragmento Pasto Novo não se observa diferença significativa.

Quanto à comparação sazonal (verão *vs.* inverno) do acúmulo total de matéria orgânica, não se observa diferença significativa em nenhum sítio de estudo, o que permite sugerir que esse estoque se manteve relativamente estável no tempo. No entanto, esta estabilidade se deve a diferenças na estrutura das camadas húmicas, o que corresponde a funcionamentos distintos em cada sítio: a REBIO apresenta acúmulo de matéria orgânica em três camadas (L, F_1 e F_2) sendo a velocidade de transformação das folhas de uma camada a outra muito rápida em ambas as estações;

para o fragmento Pasto Novo observa-se no verão um acúmulo nas camadas L e F₁, sendo que o acúmulo de matéria orgânica nessa camada é muito alto – da ordem do dobro do estimado para a REBIO – porém no inverno verifica-se uma redução no estoque da camada F₁ em detrimento da formação de um perfil húmico com a presença da camada F₂. Pode se supor então que a velocidade de transformação das folhas de uma camada a outra é mais lenta nesse sítio. No fragmento Bionativa ambas as estações apresentam padrões semelhantes no que diz respeito aos estoques orgânicos de cada camada, ou seja, presença das camadas L e F₁. Mas os valores muito inferiores do estoque total em comparação com a REBIO podem ser devido a uma rápida velocidade de decomposição ou a uma queda menor de folhas nesse fragmento.

Em particular, a camada de folhas fragmentadas F₁ é a que mais contribui para o estoque total de matéria orgânica, principalmente no fragmento Pasto Novo onde esta contribuição alcança os maiores valores: para o verão, a comparação do estoque da camada F₁ entre as três áreas evidencia diferenças significativas entre Pasto Novo e a REBIO ($F = 12,41$ e $p = 0,01$) e o fragmento Bionativa ($F = 12,41$ e $p < 0,001$). O estoque da camada L é significativamente inferior para o fragmento Bionativa apenas no inverno, porém os baixos valores nessa camada não representam grande importância para diferenciar os três sítios. A camada F₂, por sua vez, não está presente em todas as amostras. Isto é válido principalmente para o fragmento Pasto Novo, onde se verificou presença em sete das doze amostras coletadas na estação seca. Esta ausência de acúmulo orgânico em alguns pontos evidencia uma certa variabilidade temporal e uma heterogeneidade espacial na estrutura do perfil húmico.

O estoque de galhos nas camadas holorgânicas é maior no fragmento Pasto Novo em ambas as estações (6,6 t/ha na estação chuvosa e 7,0 t/ha na estação seca), porém, as diferenças são significativas apenas na estação seca ($F = 3,74$; $p = 0,03$), quando para a REBIO o estoque é de 4,6 t/ha e para o fragmento Bionativa de 2,9 t/ha. Este valor muito superior no fragmento Pasto Novo levanta a hipótese de um bloqueio no processo de decomposição da matéria orgânica, uma vez que a presença expressiva de galhos pode atuar como barreira para a decomposição das folhas. De certa maneira, isto é corroborado pelo elevado acúmulo de folhas na camada F₁ de Pasto Novo na estação chuvosa. Quanto à comparação sazonal do estoque de galhos em cada sítio de estudo, não foram encontradas diferenças significativas.

Tabela 5.1. Estoque de matéria orgânica (t/ha) nas camadas holorgânicas das áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão); t: Teste t de Student entre o verão (v) e o inverno (i). o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. ANOVA: comparação entre as três áreas de mata. Testes feitos com dados normalizados.

| | REBIO Sooretama | | | Mata de Pasto Novo | | | Mata de Bionativa | | | ANOVA | |
|--------------------------------------|-----------------|------------|-----|--------------------|------------|---|-------------------|------------|---|----------------------|----------------------|
| | v (n = 12) | i (n = 12) | t | v (n = 12) | i (n = 12) | t | v (n = 12) | i (n = 12) | t | verão | inverno |
| Camada L | 0,3 (0,04) | 0,8 (0,08) | *** | 0,4 (0,04) | 0,8 (0,1) | * | 0,3 (0,06) | 0,4 (0,05) | o | NS | F= 5.35 p= 0.009 |
| Camada F₁ | 1,9 (0,2) | 2,1 (0,2) | o | 3,3 (0,3) | 2,0 (0,3) | * | 1,3 (0,2) | 1,7 (0,2) | o | F= 12.41 p< 0.001 | NS |
| F ₂ fração foliar | 1,5 (0,2) | 1,0 (0,3) | o | - | 1,3 (0,4) | - | - | - | - | - | F= 6.83 p= 0.003 |
| F ₂ fração fina | 1,1 (0,4) | 0,5 (0,2) | o | - | 1,0 (0,3) | - | - | - | - | - | F= 14.00 p< 0.001 |
| Camada F₂ | 2,6 (0,5) | 1,5 (0,4) | o | - | 2,3 (0,6) | - | - | - | - | - | F= 9.15 p< 0.001 |
| F₁ + F₂ | 4,5 (0,5) | 3,6 (0,4) | o | 3,3 (0,3) | 4,3 (0,8) | o | 1,3 (0,2) | 1,7 (0,3) | o | F= 22.63 p< 0.001 | F= 4.91 p= 0.01 |
| Total L+F | 4,8 (0,5) | 4,4 (0,5) | o | 3,7 (0,3) | 5,1 (0,9) | o | 1,6 (0,2) | 2,1 (0,3) | o | F= 24.86 p< 0.001 | F= 5.26 p= 0.01 |
| Galhos | 3,1 (0,4) | 4,6 (0,8) | o | 6,6 (1,7) | 7,0 (1,1) | o | 4,1 (0,7) | 2,9 (0,6) | o | NS | F= 3.74 p= 0.03 |

5.2 Carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L

A tabela 5.2 apresenta os dados do teor de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N referentes às folhas da camada L dos sítios de estudo. Os teores de carbono orgânico, que são da ordem de 46,0%, não diferem entre as três áreas, nem tampouco entre as estações quando da comparação sazonal em cada sítio. Na realidade este resultado é esperado, pois as folhas recém caídas são compostas, em média, por 4 a 6% de nutrientes minerais e 94 a 96% de matéria orgânica como apontam os trabalhos de Kindel (2001) e Louzada (2004) em ecossistemas florestais de Floresta Atlântica de Tabuleiros.

Tabela 5.2. Conteúdo de carbono, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão); t: Teste t de Student entre o verão e o inverno. o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. ANOVA: comparação entre as três áreas de estudo. Testes realizados com dados normalizados. n= 6.

| Mata | REBIO | | | Pasto Novo | | | Bionativa | | | ANOVA | |
|-------|----------------|----------------|---|----------------|----------------|---|----------------|----------------|---|-------|---------|
| | v | i | t | V | i | t | v | i | t | verão | inverno |
| C (%) | 46,2 (0,2) | 46,4 (0,2) | o | 46,3 (0,4) | 46,4 (0,2) | o | 46,0 (0,2) | 46,3 (0,2) | o | NS | NS |
| N (%) | 1,96 (0,07) | 1,69 (0,05) | * | 1,73 (0,15) | 1,63 (0,03) | o | 1,52 (0,12) | 1,49 (0,08) | o | NS | NS |
| C/N | 23,7 (0,9) | 27,7 (0,8) | * | 28,4 (3,1) | 28,6 (0,5) | o | 31,3 (2,2) | 31,4 (1,4) | o | NS | NS |

Os teores de nitrogênio são superiores para as folhas da REBIO em ambas as estações. Porém a comparação entre os sítios evidencia diferenças significativas apenas para os valores estimados para a REBIO e para o fragmento Bionativa (teste t de Student: $p = 0,03$ para o verão e $p = 0,04$ para o inverno). Isto se reflete também nos valores da relação C/N. Sendo assim, pode-se afirmar que a qualidade das folhas do fragmento Pasto Novo não se diferencia da REBIO. Contudo, vale ressaltar os altos valores de erro padrão da relação C/N das folhas da camada L dos fragmentos, o que indica uma maior variabilidade da qualidade das folhas.

Quanto à comparação sazonal, apenas a REBIO apresenta diferença significativa no conteúdo de N e na relação C/N entre as estações. Esta variação pode ser explicada, em parte, pelo padrão fenológico dos aportes foliares das espécies arbóreas. No caso da REBIO, como consequência da significativa redução no teor de nitrogênio no inverno, a relação C/N é significativamente superior nessa estação em relação ao verão.

5.3 Características pedológicas dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 dos sítios de estudo

5.3.1 Características estruturais

A estrutura dos horizontes superficiais A_i e A_1 de cada sítio estão apresentadas na tabela 5.3. Elas incluem a quantidade de material fino e agregados, a porcentagem de agregação dos horizontes A_i e A_1 em relação ao peso total médio das amostras, bem como a densidade aparente do solo no horizonte A_1 .

No geral, a diferença mais importante para o horizonte A_i diz respeito à porcentagem de agregados. O solo da REBIO apresenta os menores valores tanto em quantidade como em porcentagem de agregados, independente da época do ano. Em relação à quantidade de material fino e ao peso total médio do horizonte A_i , as diferenças entre os sítios ocorrem apenas no inverno, devido, sem dúvida, à alta variabilidade deste horizonte nos fragmentos.

Quando se compara a variação sazonal desse horizonte em cada sítio, pode-se verificar para a REBIO uma certa estabilidade entre as estações. Por outro lado, para ambos os fragmentos há uma redução significativa nos valores do verão para o inverno, principalmente em Bionativa onde os valores correspondentes ao inverno são três vezes inferiores aos do verão, o que sugere um horizonte A_i menos estruturado nesses sítios.

Quanto ao horizonte A_1 verifica-se que para a porcentagem de agregados os valores se mantêm os mesmos dos estimados para o horizonte A_i em cada sítio, ou seja, entre 5-10% para a REBIO, 25% para Bionativa e 30% para Pasto Novo. A quantidade de agregados também segue o mesmo padrão encontrado para o horizonte de interface, onde o solo da REBIO se diferencia do solo dos fragmentos pelos menores valores. Contudo, a quantidade de material fino é significativamente superior no solo da REBIO. Sendo assim, para a densidade aparente do horizonte A_1 , o solo da REBIO apresenta valores significativamente superiores ao solo dos fragmentos, em função provavelmente da maior quantidade de material fino e da menor quantidade e porcentagem de agregados. Quanto à variação sazonal não houve diferença em nenhum dos sítios de estudo.

Tabela 5.3. Características estruturais dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ das áreas de mata dos sítios de estudo. Média ± erro padrão; t: Teste t de Student entre o verão (v) e o inverno (i). o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. ANOVA: comparação entre as três áreas de mata. Testes feitos com dados normalizados.

| | REBIO Sooretama | | | Fragmento Pasto Novo | | | Fragmento Bionativa | | | ANOVA | |
|-------------------------------------|-----------------|--------------|---|----------------------|--------------|---|---------------------|--------------|----|------------------------|------------------------|
| | v (n = 12) | i (n = 12) | t | v (n = 12) | i (n = 12) | t | v (n = 12) | i (n = 12) | t | verão | inverno |
| Mat. fino de A _i (g) | 459,2 ± 67,9 | 454,3 ± 31,0 | o | 275,3 ± 27,2 | 194,8 ± 23,7 | * | 461,8 ± 70,1 | 130 ± 42,6 | ** | NS | F = 10,66 p = 0,001 |
| Agregados de A _i (g) | 21,8 ± 6,7 | 42,9 ± 13,9 | o | 134,5 ± 20,9 | 60,7 ± 26,0 | * | 132,5 ± 28,8 | 54,1 ± 13,0 | * | F = 21,50 p < 0,001 | NS |
| Peso total de A _i (g) | 481,0 ± 100 | 497,2 ± 46,6 | o | 409,8 ± 50,4 | 255,5 ± 56,6 | * | 594,3 ± 117 | 184,1 ± 71,6 | ** | NS | F = 6,71 p = 0,008 |
| % de agregados | 4,5 ± 1,0 | 8,3 ± 2,7 | o | 33,0 ± 3,6 | 20,8 ± 4,0 | o | 23,7 ± 4,4 | 36,8 ± 4,6 | o | | |
| Mat. fino de A ₁ (g) | 962,5 ± 32,5 | 893,6 ± 45,5 | o | 543,3 ± 27,3 | 562,2 ± 34,1 | o | 694,4 ± 27,1 | 587,1 ± 21,7 | o | F = 21,08 p < 0,001 | F = 10,48 p = 0,001 |
| Agregados de A ₁ (g) | 51,9 ± 21,1 | 92,1 ± 36,6 | o | 248,8 ± 16,3 | 244,4 ± 28,0 | o | 227,2 ± 19,3 | 212,6 ± 14,1 | o | F = 21,43 p < 0,001 | F = 7,12 p = 0,006 |
| Peso total de A ₁ (g) | 1014,4 ± 43 | 985,8 ± 42,0 | o | 792,1 ± 38,9 | 806,7 ± 42,7 | o | 921,6 ± 45,6 | 800,0 ± 18,8 | o | F = 5,62 p = 0,01 | F = 6,62 p = 0,008 |
| % de agregados | 5,1 ± 2,0 | 9,8 ± 3,9 | o | 31,7 ± 2,3 | 30,8 ± 3,9 | o | 24,7 ± 1,8 | 26,8 ± 2,2 | o | | |
| Dens. Aparente (g/cm ³) | 1,30 ± 0,06 | 1,26 ± 0,05 | o | 1,01 ± 0,05 | 1,03 ± 0,05 | o | 1,17 ± 0,06 | 1,02 ± 0,02 | o | F = 5,62 p = 0,01 | F = 6,62 p = 0,008 |

5.3.2 Características texturais dos horizontes hemiorgânicos A_i e A₁

Uma observação comum aos três sítios é a marcante diferença granulométrica entre fração fina e agregados tanto no horizonte A_i como no A₁. Neste caso, as porcentagens de argila e silte são sempre superiores nos agregados que na fração fina, com valores da ordem do dobro (teste U de Mann Whitney, $p < 0,05$) (tabela 5.4). Os valores estimados para a fração agregada em porcentagem de silte + argila variam entre 33% e 60%.

Tabela 5.4. Granulometria dos horizontes hemiorgânicos A_i e A₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo, correspondente à fração fina e agregada. Média \pm erro padrão. Teste U de Mann Whitney entre A_i e A₁: ^o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste Kruskal Wallis: comparação entre as três áreas. n= 3.

| (%) | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Fração fina | | | |
| REBIO Sooretama | | | | |
| Horizonte A _i | 66,4 \pm 10,3 | 6,5 \pm 0,8 | 20,3 \pm 10,7 | 6,6 \pm 0,5 |
| Horizonte A ₁ | 80,1 \pm 2,3 ^o | 9,8 \pm 1,5 ^o | 4,0 \pm 0,8 ^o | 6,0 \pm 0,9 ^o |
| Fragmento Pasto Novo | | | | |
| Horizonte A _i | 64,5 \pm 4,6 | 5,8 \pm 0,5 | 12,3 \pm 1,6 | 17,3 \pm 2,3 |
| Horizonte A ₁ | 61,3 \pm 3,8 ^o | 8,0 \pm 1,0 ^o | 8,0 \pm 1,0 ^o | 22,6 \pm 1,9 ^o |
| Fragmento Bionativa | | | | |
| Horizonte A _i | 74,3 \pm 0,9 | 9,9 \pm 0,4 | 6,4 \pm 0,3 | 9,3 \pm 0,5 |
| Horizonte A ₁ | 65,3 \pm 2,2 [*] | 14,6 \pm 0,5 [*] | 6,0 \pm 1,4 ^o | 14,0 \pm 0,9 [*] |
| Kruskal Wallis | | | | |
| Horizonte A _i | NS | NS | NS | H = 6,99 p = 0,03 |
| Horizonte A ₁ | NS | NS | NS | H = 7,20 p = 0,02 |
| Fração agregada | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | |
| Horizonte A _i | 29,2 \pm 1,9 | 13,4 \pm 0,3 | 35,3 \pm 3,5 | 22,0 \pm 1,8 |
| Horizonte A ₁ | 54,0 \pm 1,4 [*] | 12,8 \pm 0,1 ^o | 15,1 \pm 0,3 [*] | 18,0 \pm 1,6 ^o |
| Fragmento Pasto Novo | | | | |
| Horizonte A _i | 32,1 \pm 3,0 | 8,3 \pm 0,2 | 21,5 \pm 1,0 | 38,0 \pm 1,8 |
| Horizonte A ₁ | 35,2 \pm 4,7 ^o | 9,9 \pm 0,5 ^o | 14,8 \pm 1,0 [*] | 40,0 \pm 4,1 ^o |
| Fragmento Bionativa | | | | |
| Horizonte A _i | 38,2 \pm 1,5 | 14,8 \pm 1,5 | 22,9 \pm 0,8 | 24,0 \pm 0,9 |
| Horizonte A ₁ | 41,9 \pm 1,6 ^o | 15,3 \pm 0,2 ^o | 16,0 \pm 1,5 [*] | 26,6 \pm 1,4 ^o |
| Kruskal Wallis | | | | |
| Horizonte A _i | NS | NS | NS | H = 5,69 p = 0,05 |
| Horizonte A ₁ | NS | H = 7,26 p = 0,02 | NS | H = 6,93 p = 0,03 |

Para a fração fina, a porcentagem de areia grossa + areia fina oscila entre 70% e 90%, porém, no geral, sem diferenças significativas entre os sítios de estudo. Pelo contrário, tanto o horizonte A_i como o A_1 diferem entre os sítios quando são comparadas as porcentagens de argila, sempre inferiores no solo da REBIO (tabela 5.4).

O topo do solo na mata da REBIO Sooretama apresenta diferenças entre o horizonte de interface A_i e o horizonte mais profundo A_1 que é mais arenoso. Isto é válido tanto para a fração agregada quanto para a fração fina, principalmente quando se consideram conjuntamente as porcentagens de areia grossa + areia fina e silte + argila (teste U de Mann Whitney, $p < 0,05$). No caso dos fragmentos, não se observa diferença granulométrica entre os dois horizontes, o que evidencia uma menor estruturação física do topo do solo nesses sítios.

A tabela 5.5 mostra as classes de textura correspondentes às partículas das frações fina e agregada dos horizontes A_i e A_1 para cada sítio de estudo. Ela evidencia três observações: 1) a fração agregada é mais argilosa do que a fração fina tanto no horizonte A_i como no A_1 em todos os sítios; 2) o solo da REBIO é mais arenoso do que o solo dos fragmentos e; 3) o solo da REBIO apresenta uma diferenciação granulométrica entre o horizonte A_i e o horizonte A_1 – mais arenoso – o que não se observa para o solo dos fragmentos, pois as classes de textura são as mesmas em ambos os horizontes.

Tabela 5.5. Classificação da textura das partículas da fração fina e agregada dos horizontes A_i e A_1 . Segundo o triângulo textural (SBCS, 1982).

| | REBIO | Pasto Novo | Bionativa |
|-----------------|------------------------|-------------------|-----------------------|
| | Fração fina | | |
| Horizonte A_i | Franco Arenoso | Franco Arenoso | Areia Franca |
| Horizonte A_1 | Areia | Franco Arenoso | Areia Franca |
| | Fração agregada | | |
| Horizonte A_i | Franco | Franco Argiloso | Franco Argilo-Arenoso |
| Horizonte A_1 | Franco Argilo-Arenoso | Franco Argiloso | Franco Argilo-Arenoso |

Considerando conjuntamente a proporção da fração fina e da fração agregada foi determinada a classe de textura do solo do horizonte A_i e A_1 em cada sítio de estudo (tabela 5.6). Verificam-se então o caráter menos arenoso do solo do fragmento Pasto Novo e a homogeneidade granulométrica do topo do solo dos dois fragmentos.

Tabela 5.6. Classificação da textura do solo nos horizontes A_i e A₁. Segundo o triângulo textural (SBCS, 1982).

| | REBIO | Pasto Novo | Bionativa |
|--------------------------|----------------|-----------------------|------------------|
| Horizonte A _i | Franco Arenoso | Franco Argilo-Arenoso | Franco Arenoso |
| Horizonte A ₁ | Areia Franca | Franco Argilo-Arenoso | Franco Arenoso |

5.3.3 Características químicas dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁

A) análise das concentrações de nutrientes na fração fina

Na tabela 5.7 e 5.8 encontram-se os resultados referentes às características químicas da fração fina dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁, respectivamente, para os três sítios de estudo.

Tanto na área de floresta da REBIO como nos fragmentos, o horizonte superficial A_i se mostra nitidamente mais orgânico e com maiores concentrações de N, P e demais nutrientes do que o horizonte A₁. No caso da REBIO esses valores são entre três e cinco vezes superiores no A_i do que no A₁. No entanto, no fragmento Pasto Novo esta relação é somente da ordem de duas a três vezes, e no fragmento Bionativa ainda menor, com valores estimados para o horizonte A_i duas vezes superiores aos obtidos para o horizonte A₁. Esses resultados indicam uma certa desestruturação do horizonte de interface nos fragmentos.

Estas diferenças gerais correspondem, na realidade, a comportamentos distintos segundo os nutrientes considerados. Assim, para o C, os solos dos horizontes A_i e A₁ do fragmento Pasto Novo apresentam os maiores teores quando comparados com os mesmos horizontes dos outros sítios (4,5% e 1,8% para o A_i e o A₁, respectivamente, em Pasto Novo *versus* 2,6% e 0,6% na REBIO e 2,4% e 1,1% em Bionativa; valores médios entre verão e inverno). A CTC segue padrão semelhante devido, sem dúvida, à sua relação direta com o teor de carbono orgânico (coef. de correlação de Pearson: $r = 0,93$ para o A_i e $r = 0,95$ para A₁; para o conjunto de dados. $n = 36$). O conteúdo de N, por sua vez, é significativamente diferente entre os sítios apenas para o solo do horizonte A₁, onde os menores valores foram estimados para a REBIO (tabela 5.8).

As diferenças de C/N, apesar de serem às vezes significativas, correspondem em todos os casos à de um húmus do tipo mull. Porém, os maiores valores estimados correspondem ao Pasto Novo.

Em relação ao Ca²⁺, as diferenças observadas entre A_i e A₁ para a REBIO resultam das altas concentrações no horizonte A_i em contato com os restos foliares. Outros parâmetros edáficos

seguem padrão semelhante. Dentre as bases de troca (BT) é sobretudo o Ca^{2+} que determina seu valor, já que este elemento representa cerca de 80% do somatório de bases. Os valores de saturação em bases (%SB) podem ser considerados médios (entre 50 e 70%) na REBIO (64% para A_i e 52% para A_1 , em média) e baixos em Pasto Novo (37% para A_i e 16% para A_1) e Bionativa (43% para A_i e 24% para A_1). O oligotrofismo do horizonte A_i nos fragmentos pode ser associado a concentrações baixas de Ca^{2+} e Mg^{2+} no complexo sortivo. No caso do horizonte A_1 , ele está associado aos altos valores de CTC em função do maior conteúdo de C nestas áreas. O pH, por sua vez, acompanha notadamente o comportamento do Ca^{2+} e da %SB no perfil, não importando a época do ano.

A comparação sazonal evidencia uma certa estabilidade nas propriedades químicas do solo em ambos os horizontes para os três sítios. Contudo, é nítido que o horizonte A_i é mais variável no tempo do que o A_1 . Os únicos elementos que apresentaram incremento significativo do verão para o inverno, mesmo que pequeno, pois não se manifesta no somatório de bases trocáveis, foram o Na^+ e o K^+ .

Tabela 5.7. Características químicas da fração fina do horizonte hemiórgânico A_i nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 6.

| | C (%) | N | C/N | P (mg/Kg) | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | BT | CTC | %SB | pH |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| REBIO Sooretama | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 2,1 (0,3) | 0,19 (0,02) | 10,8 (0,2) | 18,0 (1,8) | 6,6 (0,7) | 1,3 (0,2) | 0,02 (0,00) | 0,16 (0,01) | 8,0 (0,7) | 12,7 (1,1) | 63,3 (2,0) | 4,8 (0,05) |
| Inverno | 3,0 (0,4) [°] | 0,27 (0,04) [°] | 11,3 (0,4) [°] | 25,0 (3,1) [°] | 9,1 (1,2) [°] | 2,3 (0,3) [°] | 0,05 (0,01) [*] | 0,28 (0,02) ^{**} | 11,8 (1,5) [°] | 17,9 (1,8) [°] | 64,8 (2,7) [°] | 4,9 (0,1) [°] |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 3,5 (0,6) | 0,26 (0,04) | 13,2 (0,4) | 18,0 (3,0) | 3,6 (0,4) | 3,0 (0,8) | 0,08 (0,02) | 0,25 (0,03) | 6,9 (1,1) | 19,6 (3,6) | 37,2 (2,9) | 3,9 (0,09) |
| Inverno | 5,5 (1,4) [°] | 0,40 (0,10) [°] | 13,1 (0,5) [°] | 26,0 (6,5) [°] | 4,6 (0,7) [°] | 2,4 (0,5) [°] | 0,13 (0,03) [*] | 0,30 (0,05) [°] | 7,5 (1,1) [°] | 24,6 (6,0) [°] | 36,3 (5,5) [°] | 4,1 (0,1) [°] |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 1,8 (0,1) | 0,16 (0,01) | 11,5 (0,3) | 11,6 (0,9) | 3,0 (0,3) | 0,9 (0,2) | 0,05 (0,01) | 0,16 (0,01) | 4,1 (0,4) | 10,6 (1,0) | 39,0 (2,4) | 4,3 (0,09) |
| Inverno | 3,1 (0,6) [°] | 0,26 (0,04) [°] | 11,8 (0,4) [°] | 12,5 (1,2) [°] | 4,1 (0,8) [°] | 1,6 (0,4) [°] | 0,09 (0,01) [*] | 0,25 (0,04) [*] | 6,1 (1,1) [°] | 12,8 (1,8) [°] | 46,7 (3,5) [°] | 5,0 (0,1) [*] |
| ANOVA | | | | | | | | | | | | |
| Verão | F = 4,08 p = 0,03 | NS | F = 9,52 p = 0,002 | NS | F = 13,85 p < 0,001 | F = 5,41 p = 0,01 | F = 7,49 p = 0,005 | F = 4,05 p = 0,03 | F = 6,34 p = 0,01 | F = 3,81 p = 0,04 | F = 24,00 p < 0,001 | F = 26,15 p < 0,001 |
| Inverno | NS | NS | NS | F = 3,73 p = 0,04 | F = 7,23 p = 0,006 | NS | NS | NS | F = 4,53 p = 0,02 | NS | F = 9,61 p = 0,002 | F = 11,74 p < 0,001 |

Tabela 5.8. Características químicas da fração fina do horizonte hemiórgânico A₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 6.

| | C _____ (%) | N _____ (%) | C/N | P (mg/Kg) | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | BT | CTC | %SB | pH |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | _____ (cmolc/Kg) | | | | | | | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 0,55 (0,03) | 0,06 (0,00) | 9,1 (0,3) | 5,2 (0,5) | 1,03 (0,07) | 0,63 (0,07) | 0,01 (0,00) | 0,07 (0,01) | 1,77 (0,09) | 3,7 (0,2) | 48,2 (3,5) | 4,5 (0,1) |
| Inverno | 0,7 (0,1) [°] | 0,07 (0,01) [°] | 9,4 (0,3) [°] | 5,3 (0,5) [°] | 2,0 (0,4) [°] | 0,75 (0,03) [°] | 0,01 (0,00) [°] | 0,07 (0,01) [°] | 2,8 (0,4) [°] | 4,9 (0,6) [°] | 56,5 (3,3) [°] | 4,8 (0,1) [°] |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 1,7 (0,2) | 0,15 (0,01) | 11,1 (0,5) | 8,2 (0,3) | 0,9 (0,1) | 0,78 (0,09) | 0,04 (0,01) | 0,11 (0,01) | 1,5 (0,3) | 9,9 (1,2) | 16,8 (3,2) | 3,7 (0,05) |
| inverno | 1,9 (0,3) [°] | 0,17 (0,02) [°] | 11,2 (0,5) [°] | 7,5 (0,6) [°] | 0,72 (0,07) [°] | 0,65 (0,05) [°] | 0,05 (0,01) [°] | 0,10 (0,01) [°] | 1,4 (0,1) [°] | 10,6 (2,1) [°] | 16,0 (3,2) [°] | 3,7 (0,04) [°] |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | | | | | | |
| verão | 1,0 (0,1) | 0,12 (0,01) | 9,6 (0,4) | 5,8 (0,4) | 1,2 (0,2) | 0,8 (0,2) | 0,02 (0,00) | 0,10 (0,01) | 1,9 (0,4) | 6,9 (0,6) | 25,5 (3,3) | 4,1 (0,06) |
| inverno | 1,3 (0,1) [°] | 0,14 (0,02) [°] | 9,5 (0,3) [°] | 4,8 (0,4) [°] | 1,2 (0,3) [°] | 0,60 (0,07) [°] | 0,03 (0,00) [*] | 0,10 (0,01) [°] | 1,7 (0,4) [°] | 7,4 (0,9) [°] | 23,3 (4,1) [°] | 4,5 (0,1) [°] |
| ANOVA | | | | | | | | | | | | |
| verão | F = 24,90 p < 0,001 | F = 32,41 p < 0,001 | F = 4,11 p = 0,03 | F = 10,36 p = 0,001 | NS | NS | F = 11,53 p < 0,001 | F = 9,06 p = 0,02 | NS | F = 16,09 p < 0,001 | F = 16,20 p < 0,001 | F = 21,96 p < 0,001 |
| inverno | F = 7,65 p = 0,005 | F = 7,70 p = 0,004 | F = 5,53 p = 0,01 | F = 5,70 p = 0,01 | F = 4,32 p = 0,03 | NS | F = 8,78 p = 0,02 | NS | F = 4,73 p = 0,02 | F = 4,03 p = 0,03 | F = 24,09 p < 0,001 | F = 17,53 p < 0,001 |

B) análise das concentrações de nutrientes na fração agregada

Com respeito à fração agregada, os resultados mostram que as diferenças entre os horizontes A_i e A_1 nessa fração são menores do que as observadas na fração fina, com valores não muito mais que 2 vezes superiores no horizonte de interface (tabelas 5.9 e 5.10). Isto é válido para os três sítios. Por sua vez, a relação C/N nos agregados se mantém estável de um horizonte a outro, fato que não acontece na fração fina, onde ocorre um decréscimo nesta relação do A_i para o A_1 . Além disso, os agregados concentram mais carbono orgânico e nitrogênio do que a fração fina principalmente na REBIO e em menor grau no fragmento Bionativa.

Comparando o horizonte A_i das três áreas, observa-se uma significativa concentração de P no solo da REBIO ($36,0 \text{ mg/Kg} \pm 5,8$ no verão e $38,6 \text{ mg/Kg} \pm 3,1$ no inverno). No que se refere ao Ca^{2+} o maior contraste corresponde aos altos valores na REBIO confrontados com os baixos valores estimados para Pasto Novo, que representam cerca de um terço dos obtidos para a área controle (teste U de Mann – Whitney, com $p= 0,04$, em ambas as estações). As bases de troca (BT) e as porcentagens de saturação em bases (%SB) acompanham estas diferenças.

A partir do conjunto de dados, pode-se inferir que o horizonte A_1 apresenta uma maior homogeneidade entre os sítios e entre as estações devido à quase ausência total de diferenças significativas. Porém, uma comparação específica entre a REBIO e Pasto Novo revela novamente um menor teor de Ca^{2+} , bem como uma pobreza nas bases trocáveis no solo deste fragmento.

No geral, esses resultados permitem dizer que o solo da REBIO é mais diferenciado no que concerne às propriedades químicas da fração agregada e da fração fina do que o solo dos fragmentos.

Tabela 5.9. Características químicas da fração agregada do horizonte hemiórgânico A_i nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste U de Mann Whitney entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste Kruskal Wallis: comparação entre as três áreas. n= 3.

| | C _____ (%) | N _____ (%) | C/N | P (mg/Kg) | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | BT | CTC | %SB | pH |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | _____ (cmolc/Kg) | | | | | | | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 5,5 (1,0) | 0,53 (0,08) | 10,3 (0,6) | 36,0 (5,8) | 13,8 (3,1) | 3,6 (0,7) | 0,09 (0,01) | 0,36 (0,05) | 17,8 (3,8) | 29,2 (4,8) | 60,0 (4,1) | 4,8 (0,01) |
| Inverno | 7,1 (0,4) [°] | 0,61 (0,04) [°] | 11,7 (0,4) [°] | 38,7 (3,1) [°] | 15,5 (1,5) [°] | 4,4 (0,3) [°] | 0,14 (0,01) [*] | 0,55 (0,01) [°] | 20,6 (1,8) [°] | 38,5 (4,1) [°] | 54,0 (1,0) [°] | 4,5 (0,00) [*] |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 4,5 (0,3) | 0,40 (0,02) | 11,2 (0,3) | 19,3 (1,5) | 4,8 (0,6) | 1,9 (0,1) | 0,13 (0,01) | 0,40 (0,03) | 7,3 (0,7) | 23,9 (1,7) | 32,3 (4,7) | 4,1 (0,09) |
| Inverno | 6,0 (1,4) [°] | 0,47 (0,09) [°] | 12,0 (0,6) [°] | 19,7 (3,7) [°] | 4,2 (0,8) [°] | 2,6 (0,6) [°] | 0,23 (0,04) [°] | 0,34 (0,06) [°] | 7,4 (1,5) [°] | 28,8 (6,5) [°] | 27,0 (0,7) [°] | 4,0 (0,00) [°] |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 4,3 (0,1) | 0,38 (0,01) | 11,3 (0,08) | 19,7 (1,3) | 9,6 (1,3) | 3,6 (0,4) | 0,13 (0,03) | 0,42 (0,03) | 13,8 (1,7) | 30,3 (1,2) | 45,3 (5,5) | 4,2 (0,05) |
| Inverno | 4,5 (0,05) [°] | 0,43 (0,01) [°] | 10,3 (0,2) [*] | 11,7 (0,2) [*] | 6,3 (0,3) [°] | 2,73 (0,04) [°] | 0,14 (0,00) [°] | 0,44 (0,04) [°] | 9,6 (0,2) [°] | 22,2 (1,0) [*] | 44,0 (1,5) [°] | 4,9 (0,05) [*] |
| Kruskal Wallis | | | | | | | | | | | | |
| Verão | NS | NS | NS | H = 5,91 p = 0,04 | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | H = 6,00 p = 0,04 |
| Inverno | NS | NS | NS | H = 5,71 p = 0,05 | H = 5,95 p = 0,04 | NS | NS | NS | H = 5,60 p = 0,05 | NS | H = 7,20 p = 0,02 | H = 7,71 p = 0,02 |

Tabela 5.10. Características químicas da fração agregada do horizonte hemiórgânico A₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste U de Mann Whitney entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. Teste Kruskal Wallis: comparação entre as três áreas. n= 3.**

| | C (%) | N (%) | C/N | P (mg/Kg) | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | BT | CTC | %SB | pH |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | | | | (cmolc/Kg) | | | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 2,5 (0,3) | 0,24 (0,03) | 10,4 (0,4) | 16,3 (2,6) | 5,6 (1,1) | 3,9 (1,1) | 0,06 (0,01) | 0,7 (0,2) | 9,8 (0,4) | 16,8 (1,4) | 59,7 (2,9) | 4,3 (0,02) |
| Inverno | 2,9 (0,1) [°] | 0,28 (0,01) [°] | 10,6 (0,1) [°] | 15,0 (1,0) [°] | 4,9 (0,8) [°] | 1,3 (0,2) [°] | 0,08 (0,01) [°] | 0,27 (0,02) [°] | 6,5 (1,0) [°] | 16,6 (0,9) [°] | 37,7 (4,3) [°] | 4,4 (0,01) [°] |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 2,8 (0,3) | 0,24 (0,02) | 11,5 (0,5) | 10,0 (1,0) | 1,3 (0,1) | 0,77 (0,05) | 0,06 (0,01) | 0,16 (0,01) | 2,0 (0,2) | 15,2 (2,1) | 14,7 (3,3) | 3,7 (0,02) |
| Inverno | 3,6 (0,2) [°] | 0,28 (0,01) [°] | 13,0 (0,5) [°] | 10,0 (0,9) [°] | 2,0 (0,7) [°] | 0,87 (0,08) [°] | 0,09 (0,01) [°] | 0,17 (0,02) [°] | 3,2 (0,8) [°] | 19,8 (2,1) [°] | 17,0 (4,9) [°] | 3,8 (0,04) [°] |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | | | | | | |
| Verão | 2,3 (0,3) | 0,24 (0,03) | 9,7 (0,1) | 8,3 (0,5) | 2,7 (0,8) | 1,1 (0,2) | 0,05 (0,01) | 0,20 (0,01) | 4,1 (1,1) | 13,9 (1,9) | 26,3 (3,5) | 4,2 (0,04) |
| Inverno | 2,6 (0,1) [°] | 0,28 (0,01) [°] | 9,4 (0,1) [°] | 6,7 (0,7) [°] | 3,0 (0,4) [°] | 1,4 (0,1) [°] | 0,07 (0,00) [°] | 0,17 (0,01) [°] | 4,6 (0,6) [°] | 14,8 (0,8) [°] | 31,3 (3,0) [°] | 4,5 (0,05) [°] |
| Kruskal Wallis | | | | | | | | | | | | |
| Verão | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | H = 5,95 p = 0,05 | NS | H = 6,00 p = 0,04 | H = 6,55 p = 0,03 |
| Inverno | NS | NS | H = 7,20 p = 0,02 | H = 5,40 p = 0,05 | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

C) análise das concentrações totais no horizonte A_i e A_1

Para possibilitar a comparação com dados de outros autores foi realizado o cálculo das concentrações totais de nutrientes nos horizontes A_i e A_1 , considerando proporcionalmente os teores dos elementos nos agregados e na fração fina. As tabelas 5.11 e 5.12 sintetizam os resultados correspondentes aos horizontes A_i e A_1 , respectivamente.

Confrontando essas duas tabelas verifica-se que as concentrações de C, N, P, Ca^{2+} e BT no horizonte A_1 da REBIO representam entre 20-25% das concentrações destes elementos no horizonte A_i . Para os demais nutrientes as concentrações são em média três vezes maiores no horizonte A_i do que as estimadas para o A_1 . A saturação em bases, por sua vez, pode ser considerada média em ambos os horizontes na REBIO, com média de 63% no A_i e 51% no A_1 .

Quanto aos fragmentos, a diferenciação entre A_i e A_1 é menos expressiva. Ou seja, os valores são cerca de 50% maiores em A_i no fragmento Bionativa e da ordem de duas a três vezes no Pasto Novo. Destaca-se neste sítio o Ca^{2+} , que chega a ser quatro vezes menor no A_1 , o que se reflete também nos valores de BT.

É interessante notar como o padrão de diferenciação entre os horizontes A_i e A_1 observado para as concentrações totais se assemelha com o padrão verificado para a fração fina dos horizontes. Para a fração agregada, as diferenças nas concentrações dos elementos entre os horizontes A_i e A_1 é menor, o que sugere que essa fração tem maior capacidade de manter os nutrientes retidos de um horizonte a outro.

Considerando o horizonte A_i , a comparação entre os sítios evidencia que as diferenças nas concentrações de C, N, CTC e nutrientes como Mg^{2+} , Na^+ e K^+ são mais importantes na estação chuvosa (tabela 5.11). Neste caso, o fragmento Pasto Novo se diferencia dos demais sítios pelos valores superiores. Por outro lado, as diferenças nas concentrações de P, Ca^{2+} e BT entre os sítios são mais importantes na estação seca, pois enquanto os fragmentos mantêm valores da mesma ordem de grandeza de uma estação a outra, a REBIO se caracteriza por incrementos significativos do verão para o inverno nesses três atributos ($p=0,01$ para o P; $p=0,04$ para o Ca^{2+} e $p=0,01$ para o BT). Verifica-se então para esses elementos valores significativamente superiores na REBIO.

Em se tratando da variação sazonal no horizonte A_i constata-se, de maneira geral, que praticamente todos os atributos pedológicos são superiores no inverno em relação ao verão em qualquer sítio. Porém, na REBIO este comportamento é mais acentuado.

Analisando a tabela 5.12, que apresenta os resultados das concentrações de nutrientes no horizonte A_1 , observa-se novamente que C, N e CTC se destacam pelos valores muito superiores nos fragmentos. Na REBIO os teores de C e N correspondem a menos da metade (35% e 45%,

respectivamente), dos teores determinados para Pasto Novo, onde foram estimados os valores mais altos (2,2%, em média, para C e 0,19%, em média, para N).

Os valores de BT nesse horizonte continuam acompanhando a variação no Ca^{2+} (coeficiente de correlação de pearson $r= 0,96$, para o conjunto de dados), no entanto, aqui as diferenças entre os três sítios não são tão expressivas como as observadas para o A_i , sugerindo uma pobreza de nutrientes comum aos três sítios. Esta pobreza porém não se manifesta nos valores de saturação em bases na REBIO (51%, em média) devido aos seus valores de CTC serem significativamente inferiores em relação aos fragmentos ($F= 36,73$ e $p< 0,001$ no verão; $F= 14,27$ e $p< 0,001$ no inverno).

Em relação à comparação sazonal, o horizonte A_1 mostra-se pouco variável na REBIO e no fragmento Bionativa e estável em Pasto Novo, contrastando com a maior variabilidade tanto sazonal como entre sítios do horizonte de interface A_i .

A seguir serão apresentados os resultados dos estoques de nutrientes na fração fina, fração agregada e estoques totais nos horizontes A_i e A_1 . Esta análise se justifica, pois diferentemente dos dados de concentração, ela permite verificar a quantidade de C, N, P e nutrientes estocados no solo.

Tabela 5.11. Características químicas do horizonte A₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| | C | N | C/N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | BT | CTC | %SB |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | (%) | | | (mg/Kg) | (cmolc/Kg) | | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | | | | | |
| verão | 2,3 (0,2) | 0,21 (0,01) | 10,8 (0,2) | 19,0 (1,3) | 7,0 (0,5) | 1,4 (0,1) | 0,03 (0,00) | 0,17 (0,01) | 8,5 (0,5) | 13,5 (0,8) | 63,2 (1,3) |
| inverno | 3,4 (0,3)* | 0,30 (0,03)* | 11,3 (0,3) ^o | 26,0 (2,2)* | 9,8 (0,9)* | 2,5 (0,2)** | 0,06 (0,01)*** | 0,30 (0,02)*** | 12,7 (1,1)* | 20,2 (1,6)* | 62,5 (1,6) ^o |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | | | | | |
| verão | 3,9 (0,3) | 0,31 (0,02) | 12,4 (0,3) | 18,8 (1,6) | 4,1 (0,2) | 2,6 (0,4) | 0,10 (0,01) | 0,30 (0,02) | 7,1 (0,6) | 21,1 (1,9) | 35,0 (1,9) |
| inverno | 5,5 (0,9)* | 0,41 (0,06)* | 13,0 (0,3)* | 24,2 (3,6) ^o | 4,5 (0,4) ^o | 2,4 (0,3) ^o | 0,15 (0,02)*** | 0,30 (0,03) ^o | 7,4 (0,7) ^o | 25,2 (3,7) ^o | 33,1 (2,9) ^o |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | | | | | |
| verão | 2,5 (0,1) | 0,22 (0,01) | 11,5 (0,1) | 13,7 (0,7) | 4,5 (0,3) | 1,5 (0,1) | 0,07 (0,01) | 0,23 (0,01) | 6,4 (0,4) | 15,6 (0,9) | 41,3 (1,5) |
| inverno | 3,5 (0,3)* | 0,31 (0,02)** | 11,2 (0,2) ^o | 12,1 (0,6) ^o | 4,7 (0,4) ^o | 1,9 (0,2) ^o | 0,10 (0,01)* | 0,31 (0,02)* | 7,1 (0,6) ^o | 15,4 (1,1) ^o | 45,5 (1,4) ^o |
| ANOVA | | | | | | | | | | | |
| verão | F = 12,92 p < 0,001 | F = 11,29 p < 0,001 | F = 13,63 p < 0,001 | F = 4,97 p = 0,01 | F = 17,10 p < 0,001 | F = 6,21 p = 0,005 | F = 23,30 p < 0,001 | F = 18,91 p < 0,001 | F = 4,16 p = 0,02 | F = 8,26 p = 0,001 | F = 79,01 p < 0,001 |
| inverno | F = 4,13 p = 0,02 | NS | F = 13,05 p < 0,001 | F = 8,73 p < 0,001 | F = 22,13 p < 0,001 | NS | F = 11,18 p < 0,001 | NS | F = 13,22 p < 0,001 | F = 3,77 p = 0,03 | F = 45,38 p < 0,001 |

Tabela 5.12. Características químicas do horizonte A₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| | C _____ (%) | N _____ (%) | C/N | P (mg/Kg) | Ca²⁺ _____ (mgolc/Kg) | Mg²⁺ _____ (mgolc/Kg) | Na⁺ _____ (mgolc/Kg) | K⁺ _____ (mgolc/Kg) | BT | CTC | %SB |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---|---|--|---|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| REBIO Sooretama | | | | | | | | | | | |
| verão | 0,63 (0,03) | 0,07 (0,00) | 9,3 (0,2) | 5,6 (0,3) | 1,20 (0,04) | 0,87 (0,05) | 0,01 (0,00) | 0,09 (0,00) | 2,18 (0,07) | 4,3 (0,2) | 50,9 (1,6) |
| inverno | 0,9 (0,1)* | 0,09 (0,01)* | 9,6 (0,2) ^o | 6,0 (0,4) ^o | 2,2 (0,3)* | 0,81 (0,03) ^o | 0,02 (0,00) ^o | 0,09 (0,01) ^o | 3,2 (0,3)* | 6,0 (0,5)** | 52,5 (2,0) ^o |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | | | | | |
| verão | 2,0 (0,1) | 0,18 (0,01) | 11,3 (0,3) | 8,7 (0,2) | 1,01 (0,08) | 0,78 (0,04) | 0,04 (0,00) | 0,13 (0,00) | 1,7 (0,1) | 11,5 (0,8) | 15,5 (1,8) |
| inverno | 2,4 (0,2) ^o | 0,20 (0,01) ^o | 12,0 (0,3) ^o | 8,1 (0,3) ^o | 1,08 (0,09) ^o | 0,70 (0,02) ^o | 0,06 (0,01) ^o | 0,12 (0,00) ^o | 1,9 (0,1) ^o | 13,3 (1,4) ^o | 16,0 (2,0) ^o |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | | | | | |
| verão | 1,47 (0,08) | 0,15 (0,01) | 9,7 (0,2) | 6,4 (0,2) | 1,6 (0,2) | 0,9 (0,1) | 0,03 (0,00) | 0,13 (0,01) | 2,43 (0,3) | 8,7 (0,5) | 26,9 (1,7) |
| inverno | 1,60 (0,10) ^o | 0,17 (0,01)* | 9,3 (0,1) ^o | 5,2 (0,2)* | 1,7 (0,2) ^o | 0,79 (0,05) ^o | 0,04 (0,00)* | 0,12 (0,01) ^o | 2,5 (0,3) ^o | 9,2 (0,5) ^o | 26,6 (2,1) ^o |
| ANOVA | | | | | | | | | | | |
| verão | F = 61,84 p < 0,001 | F = 82,76 p < 0,001 | F = 19,41 p < 0,001 | F = 32,57 p < 0,001 | F = 6,10 p = 0,005 | NS | F = 34,63 p < 0,001 | F = 17,35 p < 0,001 | F = 3,55 p = 0,04 | F = 36,73 p < 0,001 | F = 104,2 p < 0,001 |
| inverno | F = 24,77 p < 0,001 | F = 24,53 p < 0,001 | F = 42,74 p < 0,001 | F = 16,43 p < 0,001 | F = 6,04 p = 0,005 | NS | F = 28,67 p < 0,001 | F = 7,09 p = 0,002 | F = 5,59 p = 0,008 | F = 14,27 p < 0,001 | F = 75,87 p < 0,001 |

D) análise do estoque de C, N, P e nutrientes no horizonte A_i

Os resultados dos estoques dos nutrientes na fração fina e agregada do horizonte A_i encontram-se nas tabelas 5.13 e 5.14, respectivamente.

Constata-se, em geral, que os estoques dos elementos são maiores na fração fina do que na fração agregada, sobretudo para a REBIO e o fragmento Pasto Novo. Com efeito, para o solo da REBIO o estoque médio de carbono na fração fina é de 1,6 t/ha e na fração agregada 0,3 t/ha, enquanto que no fragmento Pasto Novo a fração fina contém, em média, 1,5 t/ha de C e a fração agregada 0,7 t/ha. Para o fragmento Bionativa essa diferença é ainda menor, pois o conteúdo médio de C na fração fina é de 1,0 t/ha e na fração agregada 0,7 t/ha. Portanto, as diferenças entre os estoques de cada fração são menores nos fragmentos. Em geral, as maiores quantidades de nutrientes e carbono contidos na fração fina resultam, sem dúvida, das maiores quantidades desta fração, que oscila entre 90% das amostras de solo coletadas na REBIO e 70% nos fragmentos (cf. tabela 5.3).

Considerando separadamente os estoques na fração fina observa-se que os três sítios apresentam padrões sazonais distintos (tabela 5.13). Para a REBIO, apesar de se verificar uma tendência ao aumento dos valores médios no período invernal, somente o Mg²⁺, Na⁺ e K⁺ apresentam acréscimos significativos. Quanto ao sítio Pasto Novo, não existem diferenças significativas entre as estações, o que indica uma certa estabilidade sazonal dos estoques nutricionais. O solo do fragmento Bionativa, onde os estoques diminuem praticamente à metade do verão para o inverno, distingue-se dos outros sítios pelas variações sazonais.

A maior diferença entre os estoques da fração fina da REBIO e dos fragmentos corresponde ao Ca²⁺. Para a REBIO, com estimativas de 89,4 Kg/ha no verão e 110,7 Kg/ha no inverno, estes estoques são significativamente superiores aos fragmentos em ambas as estações (F = 11,72 e p < 0,001 para o verão; F = 53,99 e p < 0,001 para o inverno). As quantidades de Ca²⁺ nos fragmentos representam entre 20 e 40% do estimado para a REBIO.

Por outro lado, os estoques de C, N e P são significativamente diferentes entre os sítios apenas no inverno, quando os maiores valores foram registrados para a REBIO. Em particular, os estoques no solo da REBIO diferenciam-se dos estoques no solo do fragmento Bionativa (teste Tukey: p < 0,001 para os três elementos).

Com respeito aos estoques de Mg²⁺ e K⁺, o solo do fragmento Bionativa se caracteriza pelos baixos conteúdos, sobretudo no inverno. O Na⁺ apresenta alta variabilidade entre os sítios, porém, em todos os casos estas quantidades são da ordem de 5 a 10 vezes inferiores ao K⁺ e entre 10 e 30 vezes inferiores ao Mg²⁺.

Em relação aos estoques dos elementos na fração agregada do horizonte A_i observa-se que as diferenças significativas entre os sítios ocorrem apenas no verão (tabela 5.14). Nessa estação, o estoque dos elementos é menor para o solo da REBIO porque, apesar de apresentar maiores concentrações principalmente de C, N, P e Ca^{2+} (cf. tabela 5.9), a quantidade de agregados é seis vezes menor do que nos fragmentos (cf. tabela 5.3). Assim, para a REBIO os estoques de C e N correspondem a 15% do estimado para os fragmentos e o estoque de Ca^{2+} a 30%.

Quanto à comparação sazonal, os resultados evidenciam uma variabilidade mais marcada nos fragmentos, sítios nos quais existe significativa diminuição de nutrientes do verão para o inverno. A causa dessa alta variabilidade sazonal nos fragmentos pode ser devido à considerável redução na quantidade de agregados no horizonte A_i de uma estação à outra (cf. tabela 5.3).

Tabela 5.13. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina do horizonte hemiórgânico A_i nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| | C | N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|
| | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | |
| verão | 1,4 (0,3) | 128,7 (22,0) | 1,2 (0,2) | 89,4 (15,0) | 10,0 (1,8) | 0,33 (0,07) | 4,1 (0,6) |
| inverno | 1,9 (0,2) [°] | 164,7 (17,2) [°] | 1,5 (0,1) [°] | 110,7 (11,2) [°] | 17,0 (1,6) ^{**} | 0,77 (0,09) ^{**} | 6,7 (0,6) [*] |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | |
| verão | 1,5 (0,3) | 113,0 (22,0) | 0,8 (0,1) | 32,1 (5,0) | 14,2 (2,7) | 0,8 (0,2) | 4,1 (0,6) |
| inverno | 1,5 (0,3) [°] | 110,0 (18,3) [°] | 0,7 (0,1) [°] | 28,5 (4,5) [°] | 8,4 (1,5) [*] | 0,8 (0,2) [°] | 3,4 (0,4) [°] |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | |
| verão | 1,3 (0,3) | 107,2 (21,8) | 0,8 (0,2) | 39,5 (8,1) | 7,3 (1,9) | 0,7 (0,1) | 4,5 (1,2) |
| inverno | 0,7 (0,2) [*] | 58,5 (15,8) [*] | 0,3 (0,1) ^{**} | 19,2 (5,6) ^{**} | 4,2 (1,1) [*] | 0,4 (0,1) [°] | 2,2 (0,6) [*] |
| ANOVA | | | | | | | |
| verão | NS | NS | NS | F = 11,72 p < 0,001 | F = 4,42 p = 0,02 | F = 6,61 p = 0,003 | NS |
| inverno | F = 12,65 p < 0,001 | F = 15,09 p < 0,001 | F = 42,63 p < 0,001 | F = 53,99 p < 0,001 | F = 29,86 p < 0,001 | F = 5,25 p = 0,01 | F = 21,53 p < 0,001 |

Tabela 5.14. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração agregada do horizonte hemiórgânico A_i nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| | C | N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|
| | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | |
| verão | 0,15 (0,03) | 14,6 (2,8) | 0,1 (0,0) | 7,9 (1,8) | 1,2 (0,2) | 0,07 (0,02) | 0,4 (0,1) |
| inverno | 0,5 (0,2)* | 42,6 (15,0) ^o | 0,2 (0,08) ^o | 24,4 (9,7) ^o | 3,9 (1,4) ^o | 0,21 (0,07)* | 1,4 (0,5)* |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | |
| verão | 0,9 (0,1) | 83,9 (10,6) | 0,4 (0,05) | 21,7 (5,2) | 5,0 (0,9) | 0,63 (0,09) | 3,3 (0,5) |
| inverno | 0,4 (0,1)* | 33,9 (8,5)* | 0,1 (0,0)** | 6,5 (2,0)* | 2,0 (0,4)* | 0,36 (0,09) ^o | 1,0 (0,2)** |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | |
| verão | 0,9 (0,2) | 78,7 (15,9) | 0,4 (0,1) | 35,9 (6,3) | 8,1 (1,5) | 0,7 (0,3) | 3,7 (0,9) |
| inverno | 0,4 (0,1)* | 36,9 (8,2)* | 0,1 (0,0)** | 11,1 (2,6)* | 2,8 (0,7)* | 0,3 (0,1) ^o | 1,4 (0,3)* |
| ANOVA | | | | | | | |
| verão | F= 16,33 p< 0,001 | F= 14,74 p< 0,001 | F= 6,67 p= 0,008 | F= 8,07 p= 0,004 | F= 14,15 p< 0,001 | F= 9,31 p= 0,002 | F= 12,29 p< 0,001 |
| inverno | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

E) análise do estoque de C, N, P e nutrientes no horizonte A₁

Nas tabelas 5.15 e 5.16 encontram-se os resultados referentes aos estoques de nutrientes na fração fina e agregada do horizonte A₁, respectivamente.

No horizonte A₁, pelo mesmo motivo que no horizonte A_i, verifica-se que os estoques na fração agregada são menores do que os estoques na fração fina, bem como a diferença entre os estoques de cada fração é menos expressiva nos fragmentos.

Com respeito aos estoques dos elementos na fração fina do horizonte A₁ as diferenças mais notáveis são observadas para o Ca²⁺: os maiores valores ocorrem no solo da REBIO (229,4 Kg/ha no verão e 398,8 Kg/ha no inverno), valores intermediários em Bionativa (183,1 Kg/ha no verão e 170,6 Kg/ha no inverno) e os menores valores em Pasto Novo (112,4 Kg/ha no verão e 98,1 Kg/ha no inverno) (tabela 5.15).

Em contrapartida, os estoques de C e N são inferiores no solo da REBIO, notadamente quando comparados com os do fragmento Pasto Novo, onde foram estimados os maiores valores (11,8 t/ha de C no verão e 13,7 t/ha de C no inverno; 1066 Kg/ha de N no verão e 1203 Kg/ha de N no inverno). As quantidades de P, por sua vez, são praticamente similares entre os três sítios. O mesmo pode ser dito do K⁺ e, em menor grau, do Mg²⁺.

Com relação à variação sazonal dos estoques evidencia-se uma certa estabilidade em quase todos os parâmetros nas três áreas.

No que diz respeito à fração agregada do solo constata-se de maneira geral que os estoques de C e nutrientes nos fragmentos são superiores aos estoques na REBIO (tabela 5.16). Este comportamento é mais expressivo no período estival. Assim, no verão, os estoques de C e N no solo do fragmento Pasto Novo (8,7 t/ha e 750 Kg/ha, respectivamente) são aproximadamente seis vezes maiores do que os estimados para a REBIO. Em relação ao P e ao Ca²⁺ existem importantes diferenças entre os sítios, restritas à amostragem estival, sendo o acúmulo superior nos fragmentos.

No inverno, as diferenças entre os sítios são menos marcantes. Contudo, os estoques de C e N na fração agregada dos fragmentos continuam sendo muito altos no fragmento Pasto Novo.

Uma variabilidade de comportamento infere-se dos resultados concernentes ao Mg²⁺ e ao K⁺ que apresentam, porém, quantidades maiores nos fragmentos, seja em uma ou outra estação. O estoque de Na⁺ é significativamente maior no fragmento Pasto Novo quando comparado principalmente com a REBIO, em ambas as estações.

Em relação à comparação sazonal, nenhum parâmetro (exceto o Ca²⁺ na REBIO) diferiu significativamente entre as estações, apesar de uma tendência comum aos três sítios de apresentar estoques médios maiores no período invernal. Como traço geral, existe uma alta variabilidade de estoques no interior de cada sítio, expressa pelos altos valores dos erros padrão.

Tabela 5.15. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina do horizonte hemiórgânico A₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| | C | N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | |
| verão | 6,7 (0,2) | 736,7 (34,1) | 6,3 (0,4) | 229,4 (9,7) | 85,6 (7,0) | 2,6 (0,1) | 28,0 (1,4) |
| inverno | 7,5 (0,8) [°] | 781,2 (74,3) [°] | 6,1 (0,4) [°] | 398,8 (48,3) [*] | 95,1 (4,9) [°] | 3,2 (0,3) [°] | 29,8 (1,6) [°] |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | |
| verão | 11,8 (1,1) | 1065,9 (72,6) | 5,8 (0,4) | 112,4 (18,2) | 59,7 (5,8) | 5,5 (0,9) | 28,3 (1,9) |
| inverno | 13,7 (1,9) [°] | 1202,8 (119,0) [°] | 5,4 (0,3) [°] | 98,1 (12,5) [°] | 51,7 (3,5) [°] | 6,7 (1,2) [°] | 26,2 (1,7) [°] |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | |
| verão | 9,8 (0,7) | 1018,6 (65,6) | 5,1 (0,4) | 183,1 (25,5) | 77,1 (17,4) | 3,8 (0,6) | 31,6 (2,4) |
| inverno | 9,8 (1,1) [°] | 1041,0 (115,5) [°] | 3,8 (0,3) [*] | 170,6 (46,8) [°] | 51,7 (6,4) [°] | 5,2 (0,6) [*] | 27,8 (3,1) [°] |
| ANOVA | | | | | | | |
| verão | F= 23,14 p< 0,001 | F= 15,72 p< 0,001 | NS | F= 18,38 p< 0,001 | NS | F= 10,20 p< 0,001 | NS |
| inverno | F= 9,70 p< 0,001 | F= 6,64 p= 0,003 | F= 14,38 p< 0,001 | F= 22,50 p< 0,001 | F= 30,24 p< 0,001 | F= 9,64 p< 0,001 | NS |

Tabela 5.16. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração agregada do horizonte hemiórgânico A₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| | C | N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | |
| verão | 1,2 (0,3) | 128,1 (41,9) | 0,8 (0,2) | 36,2 (5,6) | 47,2 (25,3) | 0,6 (0,2) | 7,5 (1,5) |
| inverno | 3,2 (1,2) [°] | 311,2 (122,7) [°] | 1,6 (0,6) [°] | 117,6 (57,2) [*] | 17,5 (8,0) [°] | 1,6 (0,6) [°] | 9,8 (3,7) [°] |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | |
| verão | 8,7 (0,9) | 750,1 (52,5) | 3,1 (0,3) | 76,0 (11,0) | 26,5 (2,6) | 3,8 (0,6) | 17,9 (1,1) |
| inverno | 11,3 (1,6) [°] | 865,3 (110,2) [°] | 3,1 (0,5) [°] | 112,2 (43,6) [°] | 29,5 (5,0) [°] | 6,1 (0,8) [°] | 18,2 (3,0) [°] |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | |
| verão | 6,8 (1,0) | 696,9 (99,0) | 2,4 (0,2) | 147,8 (49,7) | 34,9 (9,2) | 3,1 (0,2) | 20,2 (2,3) |
| inverno | 7,0 (0,6) [°] | 750,3 (60,6) [°] | 1,8 (0,2) [°] | 155,7 (32,3) [°] | 41,1 (5,4) [°] | 3,9 (0,2) [°] | 16,8 (1,8) [°] |
| ANOVA | | | | | | | |
| verão | F= 29,52 p< 0,001 | F= 29,67 p< 0,001 | F= 18,73 p< 0,001 | F= 3,95 p= 0,04 | NS | F= 24,64 p< 0,001 | F= 13,89 p< 0,001 |
| inverno | F= 8,94 p= 0,002 | F= 7,53 p= 0,005 | NS | NS | F= 4,05 p= 0,03 | F= 10,33 p= 0,001 | NS |

F) análise dos estoques totais de C, N, P e nutrientes no horizonte A_i e A_1

Aos efeitos de estimar as quantidades de carbono orgânico e nutrientes que constituem os estoques de cada horizonte, independente da estrutura (fração fina e agregada), foram estimados os estoques totais para o horizonte de interface A_i e para o primeiro horizonte mineral A_1 (tabelas 5.17 e 5.18). Confrontando essas duas tabelas observa-se que os menores valores correspondem ao horizonte de interface A_i .

A comparação dos estoques do horizonte A_i evidencia que as diferenças significativas entre os três sítios ocorrem apenas no inverno, com valores superiores para REBIO, em razão, sobretudo da diminuição deste horizonte nos fragmentos. As diferenças mais importantes ocorrem entre o solo da REBIO e do fragmento Bionativa, onde o estoque de C no fragmento chega a ser menos da metade do estimado para a REBIO (1,0 t/ha versus 2,2 t/ha). O estoque de N acompanha as variações do estoque de C (coef. de correlação $r = 0,94$). Os estoques de Ca^{2+} e de P se distinguem entre os sítios, pois no solo dos fragmentos esses elementos representam cerca de 20-25% do obtido para a REBIO, indicando uma pobreza de nutrientes no horizonte de interface. No entanto, no verão os estoques de todos os elementos (exceto de Ca^{2+} e de P) são superiores nos fragmentos.

Independente da estação considerada, a ordem decrescente de importância dos estoques dos nutrientes se distribui da seguinte maneira nos três sítios: $N > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > P > Na^+$.

Em termos sazonais os estoques no solo da REBIO não apresentaram diferença significativa entre as estações. Para Pasto Novo houve variação apenas nos estoques de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e para Bionativa todos os parâmetros diferiram significativamente entre verão e inverno.

Em contraste com o horizonte A_i , os estoques de C e N do horizonte A_1 nos fragmentos são muito superiores aos estoques na REBIO. Em Pasto Novo os maiores valores alcançam 25 t/ha de C e 2.050 Kg/ha de N, enquanto que na REBIO os maiores valores chegam a 8,4 t/ha de C e 871 kg/ha de N (tabela 5.18). Esse bloqueio de C no horizonte A_1 dos fragmentos parece favorecer também a pobreza em Ca^{2+} e Mg^{2+} nesse horizonte mais profundo. Contudo, isso é mais evidente para o fragmento Pasto Novo. A quantidade de fósforo, por sua vez, é similar nos três sítios de estudo, em ambas as estações.

Em relação à comparação sazonal dos estoques observa-se uma certa estabilidade dos elementos considerados nos três sítios.

Tabela 5.17. Estoque total de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes no horizonte hemiórgânico A_i nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| | C | N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | |
| verão | 1,6 (0,4) | 147,2 (34,2) | 1,3 (0,3) | 97,3 (22,7) | 12,2 (2,7) | 0,4 (0,1) | 4,2 (0,9) |
| inverno | 2,2 (0,4) [°] | 178,5 (26,8) [°] | 1,6 (0,2) [°] | 121,2 (18,2) [°] | 18,2 (2,9) [°] | 0,9 (0,2) [°] | 8,5 (1,3) [°] |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | |
| verão | 2,5 (0,3) | 202,1 (25,6) | 1,2 (0,2) | 53,9 (7,7) | 22,8 (2,6) | 1,5 (0,2) | 7,6 (0,9) |
| inverno | 2,0 (0,2) [°] | 148,0 (15,1) [°] | 0,8 (0,1) [°] | 31,4 (4,0) [*] | 10,4 (1,6) [*] | 1,2 (0,2) [°] | 3,9 (0,3) [*] |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | |
| verão | 2,2 (0,4) | 187,9 (35,1) | 1,3 (0,3) | 73,6 (13,4) | 16,7 (3,0) | 1,5 (0,4) | 8,3 (1,9) |
| inverno | 1,0 (0,3) [*] | 86,9 (23,8) [*] | 0,3 (0,1) [*] | 27,7 (7,9) [*] | 6,5 (1,7) [*] | 0,6 (0,1) [*] | 3,3 (0,9) [*] |
| ANOVA | | | | | | | |
| verão | NS | NS | NS | NS | NS | F = 4,99 p = 0,02 | NS |
| inverno | F = 3,53 p = 0,05 | F = 3,59 p = 0,05 | F = 17,91 p < 0,001 | F = 17,13 p < 0,001 | F = 6,33 p = 0,01 | NS | F = 8,01 p = 0,004 |

Tabela 5.18. Estoque total de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes no horizonte hemiórgânico A₁ nas áreas de mata dos sítios de estudo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste ANOVA: comparação entre as três áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| | C | N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| REBIO Sooretama | | | | | | | |
| verão | 7,8 (0,7) | 856,4 (101,2) | 7,2 (0,5) | 278,9 (13,7) | 123,8 (15,1) | 3,2 (0,2) | 37,5 (3,5) |
| inverno | 8,4 (1,6) [°] | 871,3 (140,3) [°] | 6,7 (0,8) [°] | 379,1 (98,2) [°] | 107,4 (4,9) [°] | 4,6 (0,7) [°] | 35,6 (3,8) [°] |
| Fragmento Pasto Novo | | | | | | | |
| verão | 19,6 (1,4) | 1754,2 (72,2) | 8,8 (0,3) | 167,6 (17,1) | 79,2 (4,5) | 9,9 (1,2) | 45,1 (2,1) |
| inverno | 24,9 (2,6) [*] | 2049,0 (172,1) [°] | 8,2 (0,7) [°] | 202,1 (45,1) [°] | 81,8 (4,7) [°] | 13,3 (1,6) [°] | 42,3 (3,6) [°] |
| Fragmento Bionativa | | | | | | | |
| verão | 17,4 (0,9) | 1815,4 (83,8) | 7,9 (0,4) | 348,5 (52,0) | 127,2 (21,8) | 7,5 (0,5) | 55,5 (1,6) |
| inverno | 17,5 (0,7) [°] | 1878,5 (77,8) [°] | 5,4 (0,4) [*] | 313,1 (57,8) [°] | 89,7 (6,8) [°] | 8,9 (0,7) [°] | 46,1 (2,7) [*] |
| ANOVA | | | | | | | |
| verão | F = 29,04 p < 0,001 | F = 32,04 p < 0,001 | NS | F = 6,52 p = 0,009 | NS | F = 16,54 p < 0,001 | F = 10,39 p < 0,001 |
| inverno | F = 17,73 p < 0,001 | F = 18,29 p < 0,001 | F = 3,65 p = 0,05 | NS | F = 4,59 p = 0,02 | F = 12,56 p < 0,001 | NS |

Os valores dos estoques totais dos elementos no topo do solo, que resultam do somatório dos valores estimados para o horizonte A_i e A_1 , se assemelham aos valores que correspondem ao horizonte A_1 (figura 5.1). A explicação deste padrão de distribuição deve-se ao fato de que a contribuição de material proveniente do horizonte A_1 na quantidade de material do topo do solo representa entre 70 e 80% do total. Pode-se observar nos gráficos que os estoques de C e N são muito superiores no solo dos fragmentos do que no solo da REBIO. O estoque de fósforo é da mesma ordem de grandeza nos três sítios e a quantidade de Ca^{2+} é maior no solo da REBIO, em contraposição aos baixos valores no solo do fragmento Pasto Novo.

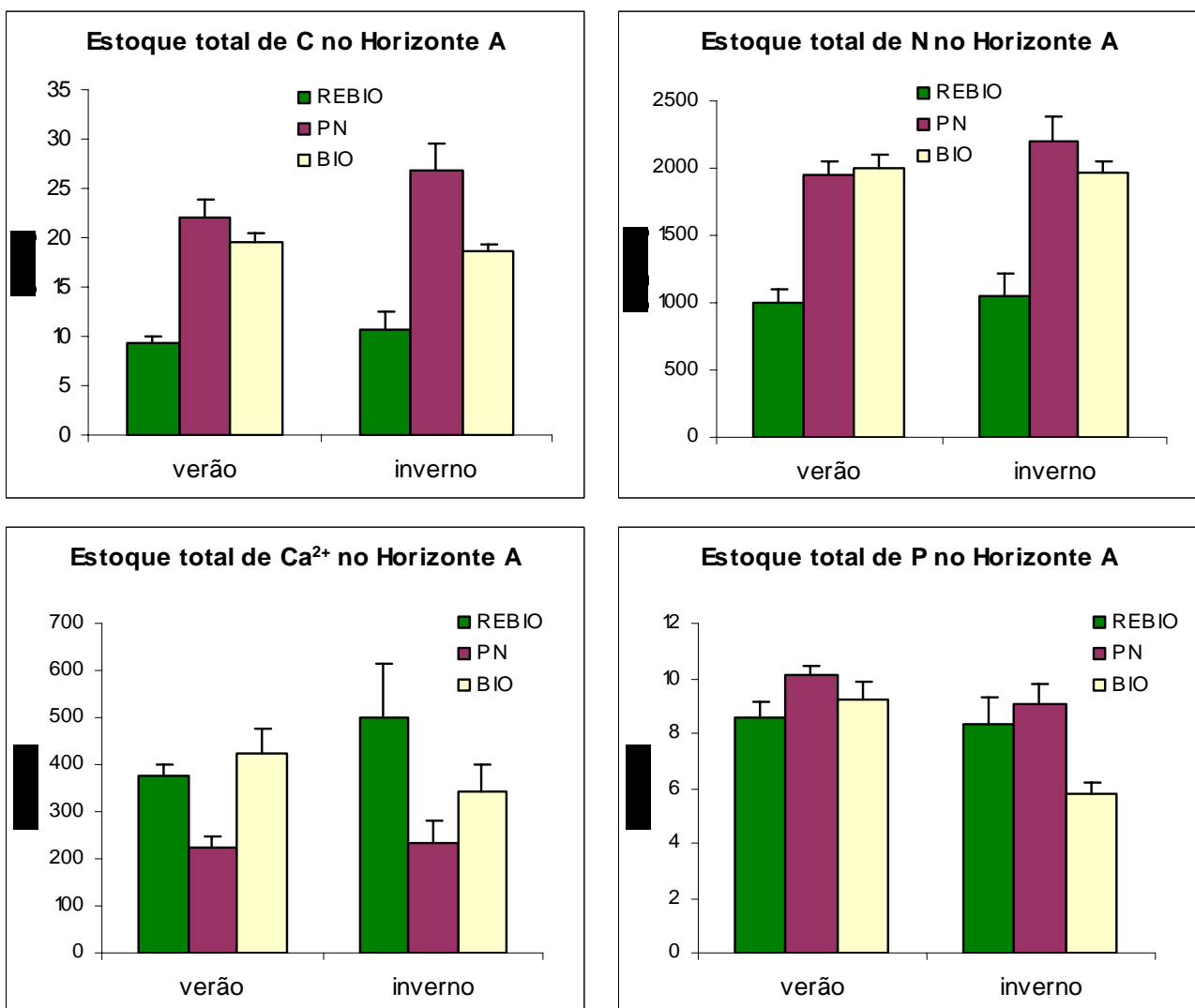


Figura 5.1. Estoques totais de C, N, P e Ca^{2+} no horizonte A das áreas de mata dos sítios de estudo. Valores médios. n = 6.

5.4 Biomassa e distribuição vertical das raízes finas no perfil húmico

A biomassa de raízes finas das camadas holorgânicas e dos horizontes hemiórgânicos das áreas de estudo encontra-se representada na figura 5.2. Uma característica comum aos gráficos é a presença de um gradiente vertical que corresponde, de certa forma, à evolução dos distintos estágios de decomposição da matéria orgânica. Em função deste comportamento é esperado que se obtenha um maior estoque de raízes nos horizontes hemiórgânicos do que nas camadas holorgânicas.

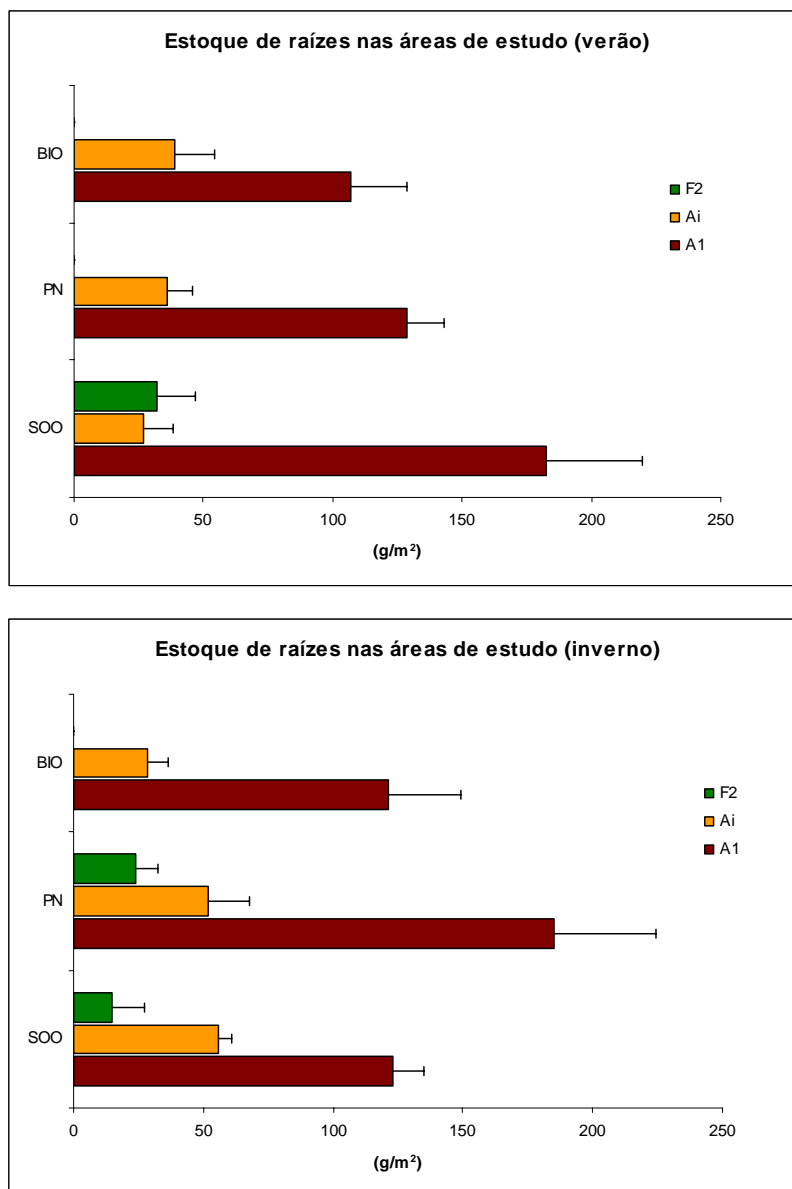


Figura 5.2. Distribuição da biomassa de raízes finas no perfil húmico das áreas de mata dos sítios de estudo. Valores médios. n = 12 (F₂), n = 6 (A_i e A₁).

Pode se observar nos gráficos um padrão geral de distribuição vertical das raízes finas no perfil húmico, onde as maiores biomassas encontram-se no horizonte mais profundo A₁. Este horizonte concentra cerca de 60-70% da biomassa total de raízes na REBIO e 70-80% nos fragmentos (tabela 5.19). O restante da biomassa total (entre 20-40%) está alocado nas camadas subjacentes (F₂ e A_i), constituindo, porém um valor considerável, o que sugere um funcionamento superficial da ciclagem de nutrientes.

Tabela 5.19. Biomassa de raízes finas (g m⁻²) nas camadas holorgânicas e horizontes hemiorrgânicos nas três áreas de estudo. Média (erro padrão); t: Teste t de Student entre o verão (v) e o inverno (i). o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. ANOVA: comparação entre as três matas.

| | REBIO Sooretama | | | Pasto Novo | | | Bionativa | | | ANOVA | |
|----------------------|--------------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|---|-----------------------|----------------------|
| | v (n=6) | i (n=6) | t | v (n=6) | i (n=6) | t | v (n=6) | i (n=6) | t | verão | inverno |
| F₂ | 32,1 (14,3) | 14,6 (12,6) | o | - | 24,0 (8,5) | - | - | - | - | F = 9,52 p = 0,008 | F = 5,64 p = 0,05 |
| A_i | 26,9 (11,4) | 55,7 (5,3) | * | 35,8 (9,9) | 51,5 (16,0) | o | 38,7 (15,9) | 28,4 (8,1) | o | NS | NS |
| A₁ | 182,5 (37,2) | 122,9 (12,3) | o | 128,8 (14,1) | 185,0 (39,1) | o | 107,0 (21,8) | 121,4 (27,1) | o | NS | NS |
| Total | 241,5 (32,6) | 193,2 (26,3) | o | 164,6 (19,7) | 260,5 (47,9) | o | 145,7 (14,3) | 149,8 (27,4) | o | NS | NS |

Quando da comparação entre os sítios, apenas os estoques na camada holorgânica F₂ diferiram significativamente (tabela 5.19). Na estação verão em particular, a diferença foi altamente significativa, devido à inexistência desta camada nos fragmentos. Em contrapartida, no inverno a camada F₂ do perfil húmico do fragmento Pasto Novo apresenta biomassa de raízes finas de 24,0 g/m² o que o diferencia do húmus do fragmento Bionativa onde não existe essa camada.

O estoque total de raízes finas no perfil húmico evidencia padrões distintos em cada sítio (tabela 5.19 e figura 5.3). Para a REBIO os valores diminuem do verão para o inverno, para o fragmento Pasto Novo os valores aumentam do verão para o inverno e para o fragmento Bionativa os valores se mantêm similares de uma estação a outra. No geral, as diferenças entre os sítios não são significativas, porém, se compararmos separadamente o fragmento Bionativa, sítio que apresenta as menores biomassas, com os demais sítios verifica-se para a estação verão uma

diferença significativa (teste t de Student; $p = 0,05$) com a REBIO e para a estação inverno, com o fragmento Pasto Novo (teste t de Student; $p = 0,04$).

Em relação à comparação sazonal, a biomassa de raízes na camada F_2 apresentou variabilidade para o fragmento Pasto Novo ($p = 0,03$). Para a REBIO foi observado um aumento significativo ($p = 0,05$) no estoque de raízes do horizonte A_i do verão para o inverno (de $26,9 \text{ g/m}^2$ para $55,7 \text{ g/m}^2$).

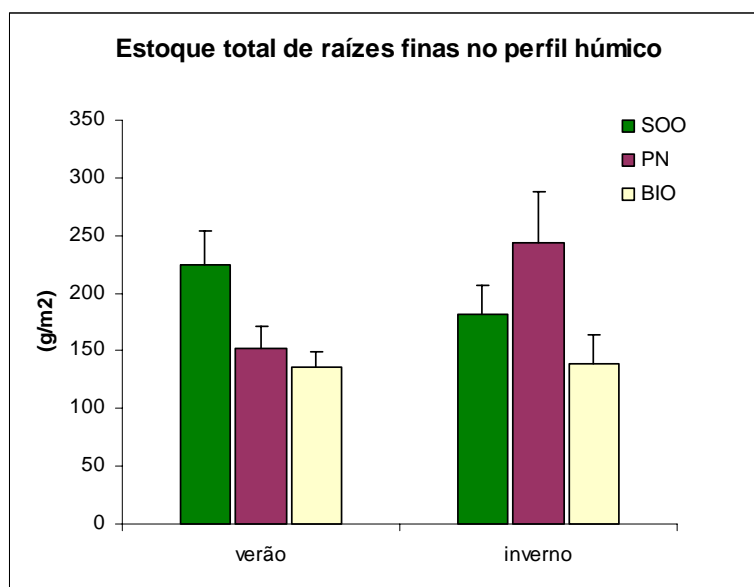


Figura 5.3. Estoque total de raízes finas no perfil húmico das áreas de mata dos sítios de estudo. Valores médios. $n = 6$.

5.5 RELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS HÚMICOS

Os resultados descritos anteriormente apresentam padrões que podem ser melhor explicitados quando relacionadas as variações de um parâmetro com outro.

As correlações mais importantes foram entre as variáveis de concentração de C, N, C/N, CTC, Ca^{2+} e BT nos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 . Considerando o conjunto de dados das três áreas, a concentração de C apresenta forte correlação com a concentração de N em ambos os horizontes ($r = 0,98$ para A_i e $r = 0,97$ para A_1) devido, sem dúvida, ao fato de se tratar de nitrogênio orgânico (tabela 5.20 e fig. 5.4). Esta correlação direta é, portanto, a provável causa de uma relativa estabilidade da relação C/N entre o horizonte A_i e o A_1 . A correlação existente entre a relação C/N e a concentração de C ($r = 0,76$ para A_i e A_1) indica que quanto menor a velocidade de decomposição – inferida dos valores mais altos da relação C/N – maior a concentração de C no solo. A CTC

também varia positivamente com a concentração de C ($r= 0,95$ para A_i e $r= 0,99$ para A_1) no sentido de que a matéria orgânica proporciona um aumento na capacidade de troca catiônica do solo pela sua propriedade de aumentar o potencial de cargas negativas no solo. O mesmo não pode ser dito da porcentagem de argila em relação ao CTC, pois a correlação entre esses parâmetros não é tão expressiva ($r= 0,73$ para A_i e $r= 0,84$ para A_1), o que sugere que esta argila seja de atividade relativamente baixa.

Com respeito ao BT, a concentração de Ca^{2+} determina a variação nas bases de troca, uma vez que contribui com cerca de 70-80% para o somatório de bases. Isto se deduz também dos elevados valores obtidos da correlação entre esses dois atributos ($r= 0,94$ para A_i e $r= 0,95$ para A_1) (tabela 5.21 e fig. 5.5) quando confrontados com os das demais bases. Sendo assim, as diferenças observadas para a concentração de Ca^{2+} entre os sítios serão também observadas para BT. Vale ressaltar que o comportamento desse elemento independe das variações na concentração de C e conseqüentemente da velocidade de decomposição da matéria orgânica ou do potencial de cargas negativas no solo.

No entanto, a variação na concentração de Ca^{2+} não parecer ser suficiente para induzir de forma significativa os valores do pH. Entretanto, a porcentagem de saturação em bases se relaciona positivamente com a diminuição da acidez ($r= 0,76$ para A_i e $r= 0,81$ para A_1 ; tabela 5.22 e fig. 5.6).

Outras correlações foram verificadas, porém menos importantes. Por exemplo, o estoque total de matéria orgânica nas camadas holorgânicas parece influenciar no conteúdo de C no horizonte A_i ($r= 0,55$; tabela 5.23 e fig. 5.7). Da mesma forma, o estoque de galhos também se correlaciona com a concentração de C no A_i ($r= 0,62$; tabela 5.23 e fig. 5.7). Contudo, essas correlações são evidentes apenas na estação inverno, quando se verifica um maior estoque tanto de matéria orgânica quanto de galhos e uma maior porcentagem de C, indicando uma menor velocidade de decomposição e uma menor taxa de mineralização do carbono orgânico.

Ao se analisar os resultados de estoque de raízes finas no horizonte A_i verifica-se que este se comporta de forma coerente com o estoque de C no mesmo horizonte. Há uma tendência, significativa para ambas as estações, a um padrão no qual o menor estoque de C é acompanhado do menor estoque de raízes e vice-versa. O coeficiente de correlação $r= 0,70$ para o período estival confirma esta relação (tabela 5.24 e fig. 5.8). Não menos interessante é a existência de uma correlação negativa ($r= -0,63$) entre o estoque de C no horizonte A_i e o estoque de raízes no horizonte A_1 (tabela 5.24 e fig. 5.8), mostrando que os pontos de maior estoque de carbono no A_i podem favorecer um deslocamento da biomassa de raízes do horizonte mais profundo A_1 para o horizonte de interface A_i .

Tabela 5.20 e figura 5.4. Correlação entre as variações de carbono orgânico com nitrogênio, relação C/N e CTC nos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁. n= 72.

| | nitrogênio | relação C/N | CTC |
|--------------|------------|--------------------------|------|
| | | Horizonte A _i | |
| carbono org. | 0,98 | 0,76 | 0,95 |
| | | Horizonte A ₁ | |
| carbono org. | 0,97 | 0,76 | 0,99 |

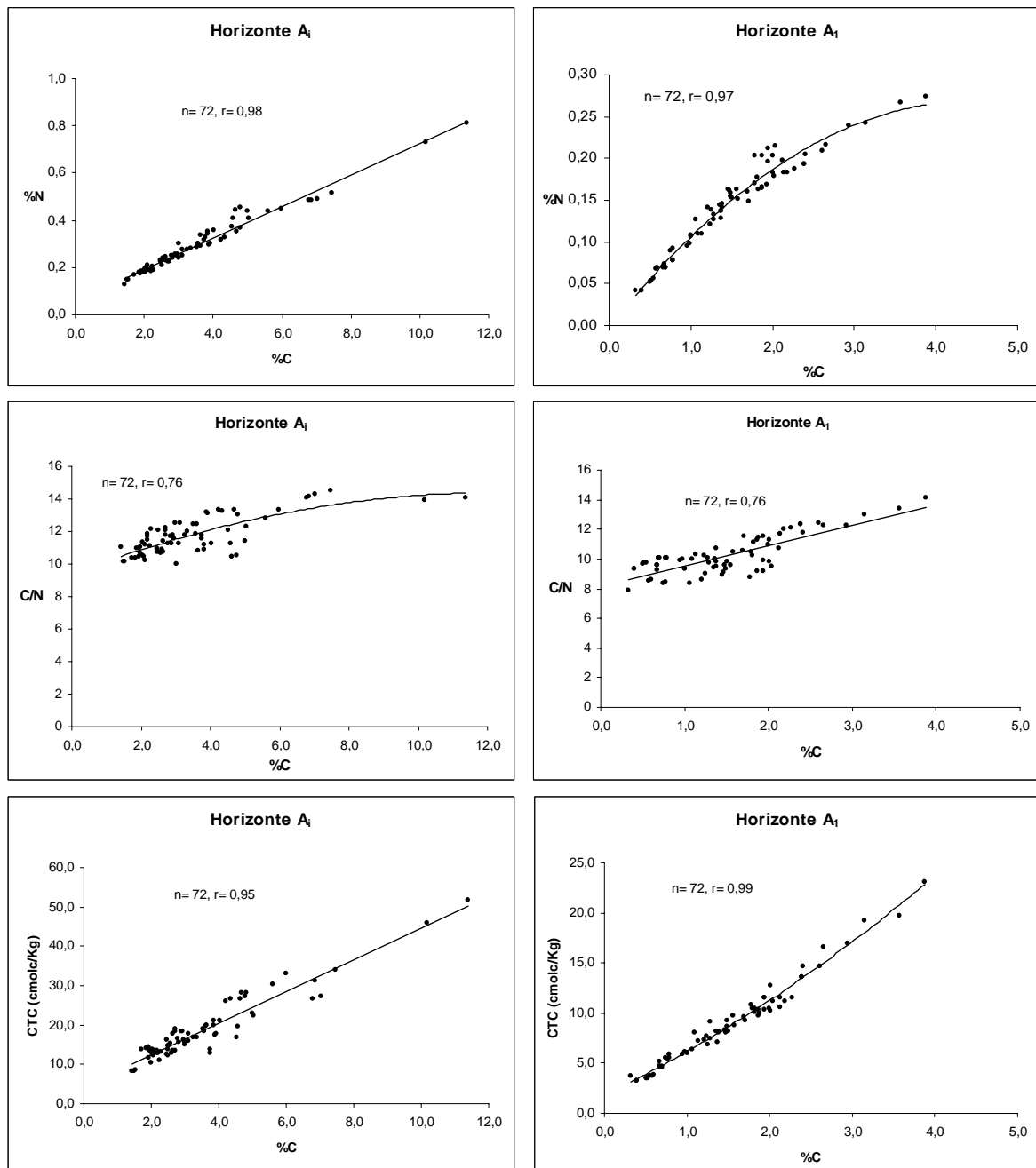


Tabela 5.21 e figura 5.5. Correlação entre as concentrações de Ca^{2+} e BT nos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 . $n=72$.

| | BT A_i | BT A_1 |
|----------------------|----------|----------|
| $\text{Ca}^{2+} A_i$ | 0,94 | — |
| $\text{Ca}^{2+} A_1$ | — | 0,95 |

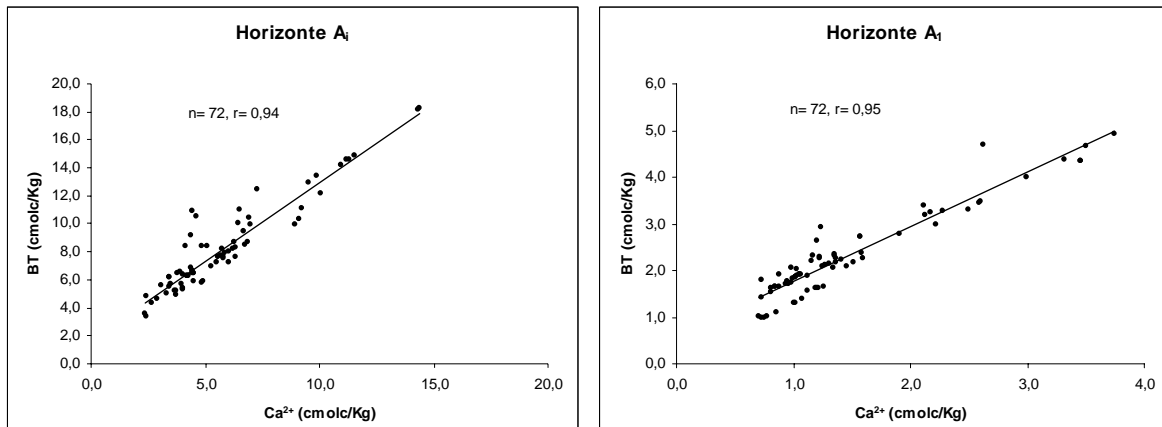


Tabela 5.22 e figura 5.6. Correlação entre as variáveis %SB e pH nos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 . $n=54$.

| | %SB A_i | %SB A_1 |
|----------|-----------|-----------|
| pH A_i | 0,76 | — |
| pH A_1 | — | 0,81 |

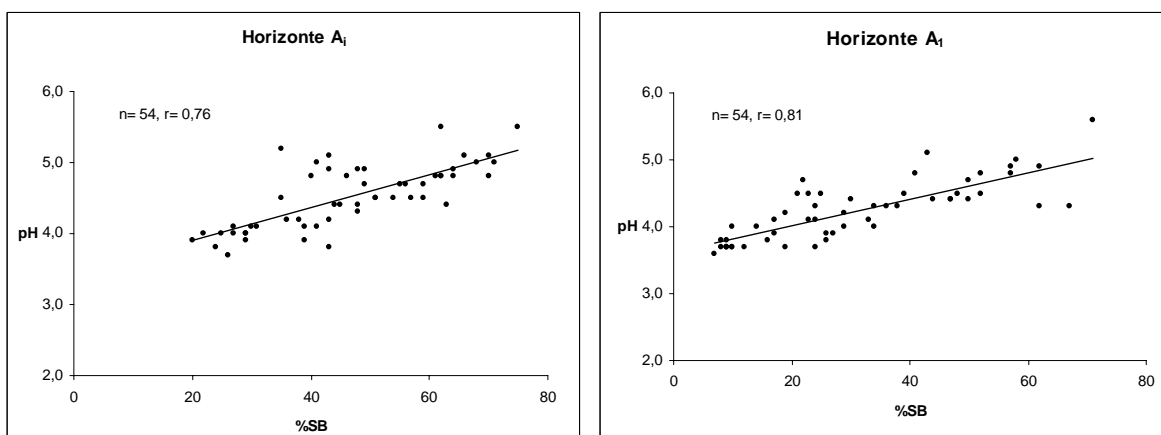


Tabela 5.23 e figura 5.7. Correlação entre as concentrações de carbono orgânico no horizonte A_i com o estoque de matéria orgânica e de galhos nas camadas holorgânicas. $n= 36$.

| inverno | estoque total de m.o | estoque de galhos |
|-----------|----------------------|-------------------|
| % C A_i | 0,55 | 0,62 |

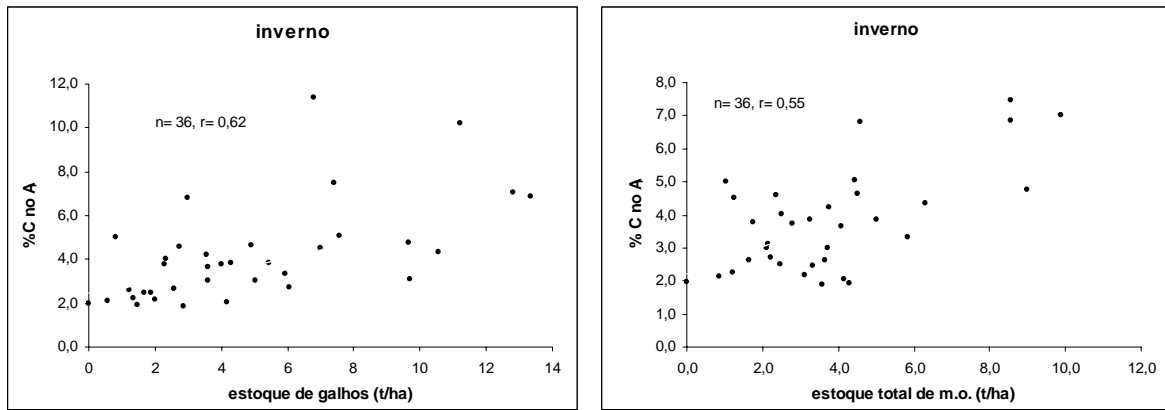
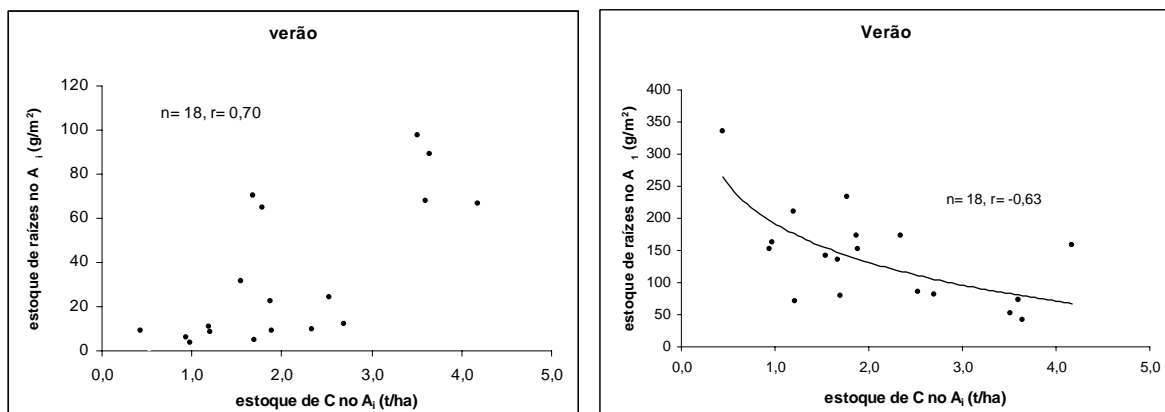


Tabela 5.24 e figura 5.8. Correlação entre o estoque de carbono no horizonte A_i com o estoque de raízes no horizonte A_i e A_1 . $n= 18$.

| verão | estoque de raízes A_i | estoque de raízes A_1 |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| estoque C A_i | 0,70 | -0,63 |



6. RESULTADOS: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS TRILHAS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DAS FORMAS DE HÚMUS NO INTERIOR DOS FRAGMENTOS

6.1 Estoque de matéria orgânica nas camadas holorgânicas

As tabelas 6.1 e 6.2 apresentam os resultados referentes aos estoques de matéria orgânica nas camadas holorgânicas nas duas situações internas (mata e trilha) dos fragmentos Pasto Novo e Bionativa, respectivamente. De maneira geral, verifica-se que o estoque total de matéria orgânica é significativamente superior para as áreas de mata dos fragmentos em qualquer estação do ano. No caso do fragmento Pasto Novo, o acúmulo total de folhiço para as áreas de mata é entre cinco e sete vezes superior ao acúmulo estimado para as trilhas: 3,7 t/ha *versus* 0,5 t/ha para mata e trilha no verão e; 5,1 t/ha *versus* 0,7 t/ha no inverno. Em relação ao fragmento Bionativa, o acúmulo estimado para as trilhas representa entre metade e um terço do estimado para as áreas de mata: 1,6 t/ha *versus* 0,8 t/ha para mata e trilha no verão e; 2,1 t/ha *versus* 0,7 t/ha no inverno.

Em particular, as diferenças constatadas nos estoques de cada camada holorgânica entre mata e trilha são mais marcantes para o fragmento Pasto Novo porque os valores correspondentes às áreas de mata são muito superiores e significativamente muito diferentes aos valores correspondentes às trilhas para todas as camadas. Para o fragmento Bionativa isto não é tão evidente, uma vez que o estoque de matéria orgânica na camada L é similar nas duas situações internas. É interessante notar que o estoque da camada L contribui com 50% para o estoque total de matéria orgânica nas trilhas do fragmento Bionativa, em função das pequenas quantidades estimadas para a camada F. Nas outras situações amostradas essa contribuição é da ordem de 10 a 20%. O estoque de galhos é maior nas áreas de mata do que nas trilhas em ambos os fragmentos, porém, para o fragmento Bionativa esta diferença é significativa apenas no inverno (tabela 6.1 e 6.2).

Com respeito à comparação sazonal, os resultados mostraram uma certa estabilidade para a situação de trilhas internas tanto no fragmento Pasto Novo como no Bionativa. Apenas o estoque de galhos apresentou uma pequena diferença entre verão e inverno.

Tabela 6.1. Estoque de matéria orgânica (t ha⁻¹) nas camadas holorgânicas das situações de mata e trilhas internas no fragmento Pasto Novo. Média (erro padrão); t: Teste t de Student entre o verão (v) e o inverno (i). o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações internas. Testes feitos com dados normalizados.

| Pasto Novo | Mata | | | Trilha | | | M x T | |
|--------------------------------------|------------|------------|---|------------|------------|---|----------|----------|
| | v (n = 12) | i (n = 12) | t | v (n = 12) | i (n = 12) | t | verão | inverno |
| Camada L | 0,4 (0,04) | 0,8 (0,1) | * | 0,1 (0,0) | 0,2 (0,0) | o | p< 0,001 | p< 0,001 |
| Camada F₁ | 3,3 (0,3) | 2,0 (0,3) | * | 0,4 (0,1) | 0,5 (0,1) | o | p< 0,001 | p< 0,001 |
| F ₂ fração foliar | – | 1,3 (0,4) | – | – | – | – | – | – |
| F ₂ fração fina | – | 1,0 (0,3) | – | – | – | – | – | – |
| Camada F₂ | – | 2,3 (0,6) | – | – | – | – | – | – |
| F₁ + F₂ | 3,3 (0,3) | 4,3 (0,8) | o | 0,4 (0,1) | 0,5 (0,1) | o | p< 0,001 | p< 0,001 |
| Total L+F | 3,7 (0,3) | 5,1 (0,9) | o | 0,5 (0,1) | 0,7 (0,1) | o | p< 0,001 | p< 0,001 |
| Galhos | 6,6 (1,7) | 7,0 (1,1) | o | 2,9 (0,7) | 1,4 (0,3) | * | p= 0,02 | p< 0,001 |

Tabela 6.2. Estoque de matéria orgânica (t ha⁻¹) nas camadas holorgânicas das situações de mata e trilhas internas no fragmento Bionativa. Média (erro padrão); t: Teste t de Student entre o verão (v) e o inverno (i). o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações internas. Testes feitos com dados normalizados.

| Bionativa | Mata | | | Trilha | | | M x T | |
|--------------------------------------|------------|------------|---|------------|------------|----|----------|----------|
| | v (n = 12) | i (n = 12) | t | v (n = 12) | i (n = 12) | t | verão | inverno |
| Camada L | 0,3 (0,06) | 0,4 (0,05) | o | 0,3 (0,1) | 0,4 (0,1) | o | NS | NS |
| Camada F₁ | 1,3 (0,2) | 1,7 (0,2) | o | 0,5 (0,1) | 0,3 (0,1) | o | p= 0,01 | p< 0,001 |
| F ₂ fração foliar | – | – | – | – | – | – | – | – |
| F ₂ fração fina | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Camada F₂ | – | – | – | – | – | – | – | – |
| F₁ + F₂ | 1,3 (0,2) | 1,7 (0,3) | o | 0,5 (0,1) | 0,3 (0,1) | o | p= 0,008 | p< 0,001 |
| Total L+F | 1,6 (0,2) | 2,1 (0,3) | o | 0,8 (0,2) | 0,7 (0,1) | o | p= 0,004 | p< 0,001 |
| Galhos | 4,1 (0,7) | 2,9 (0,6) | o | 3,9 (0,5) | 1,4 (0,3) | ** | NS | p= 0,04 |

6.2 Carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L

A tabela 6.3 apresenta os dados de teor de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L para os fragmentos Pasto Novo e Bionativa. Observa-se um padrão semelhante quanto ao teor de carbono orgânico em ambos os fragmentos, isto é, além de apresentarem variação sazonal significativa, as folhas da camada L das trilhas se diferenciam das folhas da camada L das áreas de mata na estação verão. Nestes casos verifica-se um incremento no teor de carbono orgânico do verão para o inverno, bem como valores inferiores nas trilhas em relação às áreas de mata no verão (46,3% para mata versus 43,4% para trilhas em Pasto Novo, com $p=0,003$ e; 46,0% para mata versus 44,4% para trilhas em Bionativa com $p=0,01$). Porém a ordem de grandeza destas diferenças não representa mais que 2%.

Tabela 6.3. Conteúdo de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N das folhas da camada L. Média (erro padrão); t: Teste t de Student entre o verão e o inverno. o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações internas. Testes realizados com dados normalizados. n= 6.

| Pasto Novo | Mata | | | Trilha | | | M x T | |
|------------|----------------|----------------|---|----------------|----------------|---|-----------|---------|
| | V | i | t | v | i | t | verão | Inverno |
| C (%) | 46,3 (0,4) | 46,4 (0,2) | o | 43,4 (0,3) | 45,4 (0,4) | * | $p=0,003$ | NS |
| N (%) | 1,73 (0,15) | 1,63 (0,03) | o | 1,59 (0,05) | 1,59 (0,05) | o | NS | NS |
| C/N | 28,3 (3,1) | 28,6 (0,5) | o | 27,5 (0,9) | 28,7 (0,9) | o | NS | NS |

| Bionativa | Mata | | | Trilha | | | M x T | |
|-----------|----------------|----------------|---|----------------|----------------|----|----------|---------|
| | V | i | t | v | i | t | verão | Inverno |
| C (%) | 46,0 (0,2) | 46,3 (0,2) | o | 44,4 (0,4) | 46,4 (0,2) | ** | $p=0,01$ | NS |
| N (%) | 1,52 (0,12) | 1,49 (0,08) | o | 1,33 (0,07) | 1,42 (0,04) | o | NS | NS |
| C/N | 31,3 (2,2) | 31,4 (1,4) | o | 33,8 (1,9) | 32,9 (0,9) | o | NS | NS |

Outra tendência comum aos dois fragmentos é a de conteúdos de nitrogênio superiores, embora não significativamente, para as áreas de mata quando comparadas com as suas respectivas trilhas. Os valores da relação C/N são da mesma ordem de grandeza: entre 27,5 e 28,7 para o fragmento Pasto Novo e 31,3 e 33,8 para o fragmento Bionativa (tabela 6.3).

6.3 Características pedológicas dos horizontes A_i e A_1 nas áreas de mata e nas trilhas

6.3.1 Características estruturais

A estrutura dos horizontes superficiais A_i e A_1 nas situações de mata e trilhas dos fragmentos Pasto Novo e Bionativa estão apresentadas nas tabelas 6.4 e 6.5, respectivamente. Para ambos os fragmentos são evidenciadas diferenças significativas entre áreas de mata e trilhas apenas no verão. Contudo, as causas dessas diferenças são distintas, exigindo assim uma análise detalhada para cada fragmento.

Para o fragmento Pasto Novo, a estrutura do horizonte A_i das áreas de mata apresentam variação sazonal: parâmetros como peso seco da fração fina e da fração agregada são significativamente superiores no verão, período subsequente a queda de folhas (tabela 6.4). A comparação entre as áreas de mata e as trilhas revela nesta estação quantidades significativamente inferiores de material fino, agregados e peso total do horizonte A_i para o solo das trilhas ($p < 0,001$ para os três parâmetros). Para o solo do horizonte A_1 os resultados evidenciam uma certa estabilidade sazonal tanto para as áreas de mata quanto para as trilhas. Contudo, diferenças significativas entre as duas situações internas podem ser observadas para os seguintes parâmetros no verão: quantidade de agregados, peso total e densidade aparente do horizonte A_1 , todos com valores superiores para as trilhas.

Para o horizonte A_i do fragmento Bionativa observa-se variações sazonais significativas tanto na mata como nas trilhas: os valores dos parâmetros estruturais são superiores no verão (tabela 6.5). Essas diferenças sazonais são mais importantes para as áreas de mata. Na comparação entre mata e trilhas se verificam diferenças significativas somente no verão, quando todos os parâmetros de estrutura do solo são superiores para as áreas de mata, com destaque para a quantidade de agregados ($132,5 \pm 28,8g$ para mata *versus* $38,4 \pm 7,0g$ para as trilhas no verão; $p = 0,01$). Quanto aos parâmetros do horizonte A_1 , a comparação sazonal revela uma estabilidade para as áreas de mata e uma pequena variação para as trilhas. Neste caso, os parâmetros peso total e densidade aparente do horizonte A_1 são significativamente inferiores no inverno. A comparação entre as duas situações internas evidenciou uma certa similaridade de estrutura do horizonte A_1 .

Tabela 6.4. Características estruturais dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ das situações de mata e trilhas internas ao fragmento Pasto Novo. Média ± erro padrão; t: Teste t de Student entre o verão (v) e o inverno (i). o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações internas. Testes feitos com dados normalizados.

| Pasto Novo | Mata | | | Trilha | | | M x T | |
|-------------------------------------|--------------|--------------|---|--------------|--------------|---|-----------|---------|
| | v (n = 12) | I (n = 12) | t | v (n = 12) | i (n = 12) | t | verão | inverno |
| Mat. fino de A _i (g) | 275,3 ± 27,2 | 194,8 ± 23,7 | * | 81,0 ± 11,9 | 123,6 ± 16,9 | o | p < 0,001 | NS |
| Agregados de A _i (g) | 134,5 ± 20,9 | 60,7 ± 26,0 | * | 22,4 ± 4,6 | 40,0 ± 8,4 | o | p < 0,001 | NS |
| Peso total de A _i (g) | 409,8 ± 50,4 | 255,5 ± 56,6 | * | 103,4 ± 19,1 | 164,0 ± 29,8 | o | p < 0,001 | NS |
| % de agregados | 33,0 ± 3,6 | 20,8 ± 4,0 | o | 24,5 ± 3,9 | 26,0 ± 4,3 | o | | |
| Mat. fino de A ₁ (g) | 543,3 ± 27,3 | 562,2 ± 34,1 | o | 578,8 ± 24,8 | 545,0 ± 27,5 | o | NS | NS |
| Agregados de A ₁ (g) | 248,8 ± 16,3 | 244,4 ± 28,0 | o | 333,7 ± 27,7 | 323,8 ± 27,4 | o | p = 0,03 | NS |
| Peso total de A ₁ (g) | 792,1 ± 38,9 | 806,7 ± 42,7 | o | 912,5 ± 19,0 | 868,9 ± 24,9 | o | p = 0,02 | NS |
| % de agregados | 31,7 ± 2,3 | 30,8 ± 3,9 | o | 36,7 ± 3,3 | 37,5 ± 3,4 | o | | |
| Dens. Aparente (g/cm ³) | 1,01 ± 0,05 | 1,03 ± 0,05 | o | 1,16 ± 0,02 | 1,11 ± 0,03 | o | p = 0,02 | NS |

Tabela 6.5. Características estruturais dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ das situações de mata e trilhas internas ao fragmento Bionativa. Média ± erro padrão; t: Teste t de Student entre o verão (v) e o inverno (i). o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações internas. Testes feitos com dados normalizados.

| Bionativa | Mata | | | Trilha | | | M x T | |
|-------------------------------------|--------------|--------------|----|---------------|--------------|---|---------|---------|
| | v (n = 12) | i (n = 12) | t | v (n = 12) | i (n = 12) | t | verão | inverno |
| Mat. fino de A _i (g) | 461,8 ± 70,1 | 130 ± 42,6 | ** | 214,2 ± 36,1 | 123,2 ± 13,9 | * | p= 0,04 | NS |
| Agregados de A _i (g) | 132,5 ± 28,8 | 54,1 ± 13,0 | * | 38,4 ± 7,0 | 26,1 ± 2,4 | o | p= 0,01 | NS |
| Peso total de A _i (g) | 594,3 ± 117 | 184,1 ± 71,6 | ** | 252,7 ± 42,2 | 149,3 ± 15,0 | * | p= 0,02 | NS |
| % de agregados | 23,7 ± 4,4 | 36,8 ± 4,6 | o | 15,5 ± 1,8 | 18,0 ± 1,6 | o | | |
| Mat. fino de A ₁ (g) | 694,4 ± 27,1 | 587,1 ± 21,7 | o | 773,0 ± 41,4 | 652,2 ± 53,3 | o | NS | NS |
| Agregados de A ₁ (g) | 227,2 ± 19,3 | 212,6 ± 14,1 | o | 246,1 ± 31,8 | 221,3 ± 19,4 | o | NS | NS |
| Peso total de A ₁ (g) | 921,6 ± 45,6 | 800,0 ± 18,8 | o | 1019,1 ± 21,6 | 873,5 ± 35,2 | * | NS | NS |
| % de agregados | 24,7 ± 1,8 | 26,8 ± 2,2 | o | 24,3 ± 3,4 | 26,1 ± 3,3 | o | NS | NS |
| Dens. Aparente (g/cm ³) | 1,17 ± 0,06 | 1,02 ± 0,02 | o | 1,30 ± 0,03 | 1,11 ± 0,04 | * | NS | NS |

6.3.2 Características texturais dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁

Os resultados de granulometria da fração fina e fração agregada dos horizontes A_i e A₁ dos fragmentos Pasto Novo e Bionativa estão apresentados nas tabelas 6.6 e 6.7, respectivamente. Como já descrito para as áreas de mata, os agregados do solo das trilhas são também mais argilosos do que a fração fina em ambos os horizontes hemiórgânicos (teste U de Mann Whitney, $p < 0,05$). Para a fração agregada foram estimados valores de silte + argila entre 45 e 60% para o solo do fragmento Pasto Novo e entre 37 e 52% para o solo do fragmento Bionativa. Para a fração fina esses valores não ultrapassaram 31% para o solo do fragmento Pasto Novo e 21% para o solo do fragmento Bionativa. Outra observação geral é a pequena diferença granulométrica entre os horizontes A_i e A₁, o que evidencia uma certa homogeneidade textural do topo do solo dos fragmentos.

Ao se comparar as áreas de mata com as trilhas do fragmento Pasto Novo verifica-se uma similaridade nas proporções granulométricas da fração fina em ambos os horizontes hemiórgânicos: as porcentagens de areia grossa + areia fina são da ordem de 70%. Pelo contrário, os agregados do solo das áreas de mata são um pouco mais siltosos do que os agregados do solo das trilhas (tabela 6.6). Isto é válido tanto para o horizonte A_i quanto para o A₁.

Para o fragmento Bionativa, tanto a fração fina como os agregados do horizonte A_i das trilhas são levemente mais argilosos quando comparados às áreas de mata. De fato essas diferenças são muito pequenas, da ordem de 2 a 6%. Para o horizonte A₁ não foram constatadas diferenças entre as áreas de mata e as trilhas em ambas as frações que representam a estrutura desse horizonte (tabela 6.7).

Tabela 6.6. Granulometria dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas ao fragmento Pasto Novo, correspondente à fração fina e agregada. Média ± erro padrão. Teste U de Mann-Whitney entre A_i e A₁: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações internas. n= 3.**

| (%) | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Fração fina | | | | |
| Mata | | | | |
| Horizonte A _i | 64,5 ± 4,6 | 5,8 ± 0,5 | 12,3 ± 1,6 | 17,3 ± 2,3 |
| Horizonte A ₁ | 61,3 ± 3,8 [°] | 8,0 ± 1,0 [°] | 8,0 ± 1,0 [°] | 22,6 ± 1,9 [°] |
| Trilha | | | | |
| Horizonte A _i | 66,7 ± 4,7 | 4,1 ± 0,4 | 15,8 ± 5,1 | 13,3 ± 1,0 |
| Horizonte A ₁ | 62,0 ± 2,8 [°] | 8,9 ± 0,6 [*] | 5,7 ± 0,9 [*] | 23,3 ± 2,3 [*] |
| M x T | | | | |
| Horizonte A _i | NS | NS | NS | NS |
| Horizonte A ₁ | NS | NS | NS | NS |
| Fração agregada | | | | |
| Mata | | | | |
| Horizonte A _i | 32,1 ± 3,0 | 8,3 ± 0,2 | 21,5 ± 1,0 | 38,0 ± 1,8 |
| Horizonte A ₁ | 35,2 ± 4,7 [°] | 9,9 ± 0,5 [°] | 14,8 ± 1,0 [*] | 40,0 ± 4,1 [°] |
| Trilha | | | | |
| Horizonte A _i | 34,9 ± 2,2 | 11,3 ± 0,06 | 16,8 ± 0,4 | 37,0 ± 1,7 |
| Horizonte A ₁ | 43,4 ± 1,5 [*] | 10,9 ± 0,2 [°] | 10,2 ± 0,4 [*] | 35,3 ± 1,0 [°] |
| M x T | | | | |
| Horizonte A _i | NS | p= 0,04 | p= 0,04 | NS |
| Horizonte A ₁ | NS | NS | p= 0,04 | NS |

Tabela 6.7. Granulometria dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas ao fragmento Bionativa, correspondente à fração fina e agregada. Média ± erro padrão. Teste U de Mann-Whitney entre A_i e A₁: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações internas. n= 3.**

| (%) | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Fração fina | | | | |
| Mata | | | | |
| Horizonte A _i | 74,3 ± 0,9 | 9,9 ± 0,4 | 6,4 ± 0,3 | 9,3 ± 0,5 |
| Horizonte A ₁ | 65,3 ± 2,2* | 14,6 ± 0,5* | 6,0 ± 1,4 ^o | 14,0 ± 0,9* |
| Trilha | | | | |
| Horizonte A _i | 71,0 ± 2,0 | 8,2 ± 0,9 | 8,8 ± 1,1 | 12,0 ± 0,1 |
| Horizonte A ₁ | 72,2 ± 3,3 ^o | 9,4 ± 1,0 ^o | 4,2 ± 0,7* | 14,0 ± 1,6 ^o |
| M x T | | | | |
| Horizonte A _i | NS | NS | NS | p= 0,04 |
| Horizonte A ₁ | NS | p= 0,04 | NS | NS |
| Fração agregada | | | | |
| Mata | | | | |
| Horizonte A _i | 38,2 ± 1,5 | 14,8 ± 1,5 | 22,9 ± 0,8 | 24,0 ± 0,9 |
| Horizonte A ₁ | 41,9 ± 1,6 ^o | 15,3 ± 0,2 ^o | 16,0 ± 1,5* | 26,6 ± 1,4 ^o |
| Trilha | | | | |
| Horizonte A _i | 30,9 ± 0,1 | 17,0 ± 0,5 | 20,1 ± 0,7 | 32,0 ± 0,1 |
| Horizonte A ₁ | 44,6 ± 0,8* | 18,2 ± 2,1 ^o | 11,1 ± 0,9* | 26,0 ± 0,9* |
| M x T | | | | |
| Horizonte A _i | p= 0,04 | NS | NS | p= 0,04 |
| Horizonte A ₁ | NS | NS | p= 0,04 | NS |

A tabela 6.8 mostra as classes de textura correspondentes às partículas das frações fina e agregada dos horizontes A_i e A_1 para cada situação amostrada no interior dos fragmentos. Ela evidencia não só a diferença de classe de textura entre fração fina e fração agregada, sendo os agregados mais argilosos, mas também a similaridade nas características texturais entre o horizonte A_i e o horizonte A_1 . Além disso, para a fração agregada do fragmento Pasto Novo, a maior porcentagem de elementos finos no solo das áreas de mata em comparação às trilhas resultou na diferenciação das classes texturais entre essas duas situações (tabela 6.8).

Tabela 6.8. Classificação da textura das partículas da fração fina e agregada dos horizontes A_i e A_1 . Segundo o triângulo textural (SBCS, 1982).

| | Pasto Novo mata | Pasto Novo trilha | Bionativa mata | Bionativa trilha |
|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| fração fina | | | | |
| Horizonte A_i | Franco Arenoso | Franco Arenoso | Areia Franca | Areia Franca |
| Horizonte A_1 | Franco Arenoso | Franco Arenoso | Areia Franca | Areia Franca |
| fração agregada | | | | |
| Horizonte A_i | Franco Argiloso | Franco Argilo-Arenoso | Franco Argilo-Arenoso | Franco Argilo-Arenoso |
| Horizonte A_1 | Franco Argiloso | Franco Argilo-Arenoso | Franco Argilo-Arenoso | Franco Argilo-Arenoso |

Desconsiderando separadamente as duas frações que representam a estrutura dos horizontes hemiórgânicos – fração fina e fração agregada – foi determinada a classe de textura do solo do horizonte A_i e A_1 em cada situação amostrada no interior dos fragmentos (tabela 6.9). Verifica-se então para o fragmento Pasto Novo que o solo das áreas de mata possui um caráter menos arenoso do que o solo das trilhas. Essa diferença se deve certamente à maior proporção de agregados no solo das áreas de mata. Para o fragmento Bionativa não há distinção entre a classe textural do solo das áreas de mata e das trilhas. Observa-se também a similaridade de textura dos horizontes A_i e A_1 das áreas de mata e das trilhas nos dois fragmentos.

Tabela 6.9. Classificação da textura do solo nos horizontes A_i e A₁. Segundo o triângulo textural (SBCS, 1982).

| | Pasto Novo mata | Pasto Novo trilha | Bionativa mata | Bionativa trilha |
|--------------------------|--------------------------|-------------------|----------------|------------------|
| Horizonte A _i | Franco Argilo-Arenoso | Franco Arenoso | Franco Arenoso | Franco Arenoso |
| Horizonte A ₁ | Franco Argilo-Arenoso | Franco Arenoso | Franco Arenoso | Franco Arenoso |

6.3.3 Características químicas dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁

A) análise das concentrações de nutrientes na fração fina

Os resultados referentes às características químicas da fração fina dos horizontes A_i e A₁ para o fragmento Pasto Novo encontram-se na tabela 6.10. Para o fragmento Bionativa, esses resultados são apresentados na tabela 6.11.

Como demonstrado para as áreas de mata, a fração fina do horizonte A_i das trilhas apresenta valores superiores de carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e demais nutrientes à do horizonte subjacente A₁. No caso das áreas de mata dos fragmentos os valores estimados para o A_i são da ordem de duas a três vezes superiores aos estimados para o A₁. No caso das trilhas, esta relação diminui, com valores no máximo duas vezes superiores no horizonte A_i. Sugere-se, portanto, que a diferenciação entre esses horizontes é menos importante para as trilhas dos fragmentos.

No referente ao fragmento Pasto Novo, os valores de quase todos os parâmetros do horizonte A_i das áreas de mata são significativamente superiores aos estimados para as trilhas (tabela 6.10). Porém, as diferenças mais importantes relacionam-se as concentrações das bases trocáveis no período de inverno. Nesta estação, os valores médios das concentrações dos cátions no horizonte A_i das trilhas sofrem uma redução, devido talvez a uma lixiviação dos nutrientes. Com respeito às porcentagens de C e N as diferenças entre áreas de mata e trilhas são observadas apenas na estação invernal: 5,5% de C e 0,40% de N para mata *versus* 1,8% de C e 0,13% de N para as trilhas. Os valores da relação C/N praticamente não diferem entre as situações, com valores estimados entre 12 e 14.

Para o horizonte A₁ do fragmento Pasto Novo as diferenças entre mata e trilhas são pequenas (tabela 6.10). Observa-se somente uma diferença no conteúdo de P, Na⁺ e K⁺, porém esses valores podem ser considerados baixos em ambas as situações.

No geral, os valores de saturação em bases (%SB) são baixos (< 50%) tanto para o horizonte A_i como para o A₁ em ambas as situações (35 – 39% para o A_i e 16 – 21% para o A₁). Outra

característica comum aos solos do fragmento Pasto Novo é uma certa estabilidade temporal quando da comparação sazonal dos atributos químicos.

Para o fragmento Bionativa, as propriedades químicas da fração fina do horizonte A_1 são relativamente similares nas áreas de mata e nas trilhas (tabela 6.11). Neste caso, as concentrações de P, Na^+ e K^+ , têm importância significativa no período invernal, quando para as trilhas os valores representam entre um terço e metade do estimado para as áreas de mata. A porcentagem de saturação em bases também apresentou diferença significativa no inverno provavelmente por causa da pequena diferença entre os valores de BT. Ainda assim, em todos os casos a %SB pode ser considerada baixa. Para a fração fina do horizonte A_1 não foram constatadas diferenças significativas entre as áreas de mata e as trilhas, salvo os valores de pH na estação verão (tabela 6.11).

A comparação sazonal evidencia uma estabilidade nas propriedades químicas do solo em ambos os horizontes das duas situações amostradas no interior do fragmento Bionativa.

Tabela 6.10. Características químicas da fração fina dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações. Testes realizados com dados normalizados. n= 6.**

| | | C | N | C/N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | BT | CTC | %SB | pH |
|--------------------------------|----------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | (%) | | | (mg/Kg) | (cmolc/Kg) | | | | | | | |
| Horizonte A_i | | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 3,5 (0,6) | 0,26 (0,04) | 13,2 (0,4) | 18,0 (3,0) | 3,6 (0,4) | 3,0 (0,8) | 0,08 (0,02) | 0,25 (0,03) | 6,9 (1,1) | 19,6 (3,6) | 37,2 (2,9) | 3,9 (0,09) |
| | i | 5,5 (1,4) [°] | 0,40 (0,10) [°] | 13,1 (0,5) [°] | 26,0 (6,5) [°] | 4,6 (0,7) [°] | 2,4 (0,5) [°] | 0,13 (0,03) [*] | 0,30 (0,05) [°] | 7,5 (1,1) [°] | 24,6 (6,0) [°] | 36,3 (5,5) [°] | 4,1 (0,1) [°] |
| trilha | v | 2,4 (0,4) | 0,21 (0,03) | 11,8 (0,4) | 5,6 (0,6) | 2,9 (0,8) | 0,8 (0,05) | 0,02 (0,01) | 0,17 (0,04) | 3,9 (0,9) | 11,2 (1,8) | 35,0 (4,4) | 4,4 (0,1) |
| | i | 1,8 (0,1) [°] | 0,13 (0,01) [*] | 13,7 (0,6) [*] | 4,0 (0,3) [*] | 1,5 (0,2) [°] | 0,7 (0,02) [°] | 0,02 (0,00) [°] | 0,10 (0,01) [°] | 2,3 (0,1) [°] | 6,4 (0,5) [*] | 38,7 (4,8) [°] | 4,6 (0,1) [°] |
| M x T | v | NS | NS | p= 0,05 | p= 0,001 | NS | p= 0,01 | p= 0,006 | NS | p= 0,05 | p= 0,05 | NS | p= 0,005 |
| | i | p= 0,02 | p= 0,01 | NS | p< 0,001 | p= 0,001 | p= 0,006 | p= 0,006 | p= 0,002 | p< 0,001 | p= 0,007 | NS | p= 0,01 |
| Horizonte A₁ | | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 1,7 (0,2) | 0,15 (0,01) | 11,1 (0,5) | 8,2 (0,3) | 0,9 (0,1) | 0,78 (0,09) | 0,04 (0,01) | 0,11 (0,01) | 1,5 (0,3) | 9,9 (1,2) | 16,8 (3,2) | 3,7 (0,05) |
| | i | 1,9 (0,3) [°] | 0,17 (0,02) [°] | 11,2 (0,5) [°] | 7,5 (0,6) [°] | 0,72 (0,07) [°] | 0,65 (0,05) [°] | 0,05 (0,01) [°] | 0,10 (0,01) [°] | 1,4 (0,1) [°] | 10,6 (2,1) [°] | 16,0 (3,2) [°] | 3,7 (0,04) [°] |
| trilha | v | 1,4 (0,1) | 0,12 (0,01) | 11,3 (0,2) | 5,2 (0,6) | 1,1 (0,3) | 0,6 (0,1) | 0,02 (0,00) | 0,08 (0,01) | 1,6 (0,5) | 6,8 (0,7) | 21,5 (3,3) | 3,9 (0,04) |
| | i | 1,3 (0,1) [°] | 0,12 (0,01) [°] | 11,3 (0,5) [°] | 5,0 (0,5) [°] | 0,80 (0,07) [°] | 0,67 (0,09) [°] | 0,02 (0,00) [°] | 0,08 (0,01) [°] | 0,9 (0,1) [°] | 7,1 (0,8) [°] | 16,7 (3,1) [°] | 4,0 (0,05) [°] |
| M x T | v | NS | NS | NS | p= 0,002 | NS | NS | p= 0,03 | p= 0,05 | NS | NS | NS | p= 0,05 |
| | i | NS | NS | NS | p= 0,01 | NS | NS | p= 0,01 | NS | p= 0,05 | NS | NS | p= 0,01 |

Tabela 6.11. Características químicas da fração fina dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações. Testes realizados com dados normalizados. n= 6.

| | | C | N | C/N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | BT | CTC | %SB | pH |
|--------------------------------|----------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | (%) | | | (mg/Kg) | (cmolc/Kg) | | | | | | | |
| Horizonte A_i | | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 1,8 (0,1) | 0,16 (0,01) | 11,5 (0,3) | 11,6 (0,9) | 3,0 (0,3) | 0,9 (0,2) | 0,05 (0,01) | 0,16 (0,01) | 4,1 (0,4) | 10,6 (1,0) | 39,0 (2,4) | 4,3 (0,09) |
| | i | 3,1 (0,6) [°] | 0,26 (0,04) [°] | 11,8 (0,4) [°] | 12,5 (1,2) [°] | 4,1 (0,8) [°] | 1,6 (0,4) [°] | 0,09 (0,01) [*] | 0,25 (0,04) [*] | 6,1 (1,1) [°] | 12,8 (1,8) [°] | 46,7 (3,5) [°] | 5,0 (0,1) [*] |
| trilha | v | 2,3 (0,5) | 0,19 (0,04) | 12,2 (0,3) | 10,3 (4,2) | 3,9 (1,0) | 1,5 (0,5) | 0,02 (0,01) | 0,18 (0,05) | 5,6 (1,5) | 10,4 (2,1) | 49,2 (4,6) | 5,0 (0,1) |
| | i | 2,3 (0,8) [°] | 0,16 (0,04) [°] | 13,0 (1,1) [°] | 4,7 (0,9) [°] | 2,2 (0,9) [°] | 0,8 (0,3) [°] | 0,03 (0,00) [°] | 0,11 (0,01) [°] | 3,0 (1,3) [°] | 8,2 (1,9) [°] | 30,7 (4,5) [*] | 4,8 (0,2) [°] |
| M x T | v | NS | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,01 | NS | NS | NS | NS | p= 0,001 |
| | i | NS | NS | NS | p< 0,001 | NS | p= 0,05 | p= 0,002 | p= 0,005 | p= 0,05 | NS | p= 0,02 | NS |
| Horizonte A₁ | | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 1,0 (0,1) | 0,12 (0,01) | 9,6 (0,4) | 5,8 (0,4) | 1,2 (0,2) | 0,8 (0,2) | 0,02 (0,00) | 0,10 (0,01) | 1,9 (0,4) | 6,9 (0,6) | 25,5 (3,3) | 4,1 (0,06) |
| | i | 1,3 (0,1) [°] | 0,14 (0,02) [°] | 9,5 (0,3) [°] | 4,8 (0,4) [°] | 1,2 (0,3) [°] | 0,60 (0,07) [°] | 0,03 (0,00) [*] | 0,10 (0,01) [°] | 1,7 (0,4) [°] | 7,4 (0,9) [°] | 23,3 (4,1) [°] | 4,5 (0,1) [°] |
| trilha | v | 1,1 (0,2) | 0,11 (0,02) | 9,8 (0,3) | 6,7 (1,2) | 1,3 (0,3) | 0,52 (0,07) | 0,02 (0,01) | 0,08 (0,01) | 1,7 (0,4) | 6,9 (1,5) | 25,7 (4,5) | 4,5 (0,1) |
| | i | 1,5 (0,2) [°] | 0,13 (0,01) [°] | 11,3 (0,5) [*] | 5,7 (0,4) [°] | 1,6 (0,8) [°] | 0,7 (0,1) [°] | 0,03 (0,01) [°] | 0,07 (0,01) [°] | 2,1 (1,0) [°] | 7,4 (0,8) [°] | 23,2 (7,8) [°] | 4,6 (0,2) [°] |
| M x T | v | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,009 |
| | i | NS | NS | p= 0,02 | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

B) análise das concentrações de nutrientes na fração agregada

Com respeito à fração agregada dos solos do fragmento Pasto Novo, os resultados revelam que as diferenças entre o horizonte A_i e o A_1 são menores nessa fração do que as observadas para a fração fina (tabela 6.12). Ou seja, as propriedades químicas dos agregados do horizonte A_i são, no máximo, duas vezes superiores ao do horizonte A_1 . Isto é válido tanto para a mata quanto para as trilhas. Outra observação importante é que os agregados concentram mais carbono, nitrogênio e nutrientes do que a fração fina. No entanto, isto é mais evidente para as áreas de mata do que para as trilhas, indicando que nas trilhas a função de retenção de nutrientes pelos agregados pode estar afetada.

Comparando os agregados do horizonte A_i das duas situações internas ao fragmento Pasto Novo verifica-se uma maior riqueza de carbono, nitrogênio e nutrientes para as áreas de mata (tabela 6.12). Neste caso, as diferenças mais importantes ocorrem na estação verão, quando os valores estimados para as trilhas representam cerca da metade do estimado para as áreas de mata. Com relação ao horizonte A_1 este padrão se repete, porém em menor grau, uma vez que as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} e conseqüentemente BT, não diferem significativamente entre as duas situações (tabela 6.12). Nessa tabela se destacam principalmente as diferenças nas concentrações de C e N (média de 3,2% de C e 0,26% de N para mata *versus* 1,9% de C e 0,16% de N para trilhas). Os baixos valores de porcentagem de saturação em bases (entre 14 e 17%) revelam o oligotrofismo comum tanto aos solos das áreas de mata como das trilhas nesse fragmento.

Para o fragmento Bionativa, as diferenças constatadas para a concentração de nutrientes entre o horizonte A_i e o A_1 são um pouco mais evidentes (tabela 6.13). As propriedades químicas dos agregados do horizonte A_i são da ordem de três vezes superiores aos do horizonte A_1 . Nesse fragmento, a fração agregada também se apresenta, em média, duas vezes mais rica em carbono, nitrogênio e nutrientes do que a fração fina.

A comparação entre as áreas de mata e as trilhas do fragmento Bionativa revela que essas duas situações não se diferenciam significativamente seja para o horizonte A_i , seja para o A_1 (tabela 6.13). Este fato pode ser explicado talvez pela forte variabilidade – expressa pelos altos valores de erro padrão – das concentrações de nutrientes dos agregados do solo das trilhas. Esta alta variabilidade parece ter contribuído também para a ausência de diferenças significativas entre as estações verão e inverno.

Tabela 6.12. Características químicas da fração agregada dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. Média (erro padrão). Teste U de Mann-Whitney entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações. n= 3.**

| | | <u>C</u> | <u>N</u> | <u>C/N</u> | <u>P</u> | <u>Ca²⁺</u> | <u>Mg²⁺</u> | <u>Na⁺</u> | <u>K⁺</u> | <u>BT</u> | <u>CTC</u> | <u>%SB</u> | <u>pH</u> |
|--------------------------------|----------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | <u>(%)</u> | | | <u>(mg/Kg)</u> | <u>(cmolc/Kg)</u> | | | | | | | |
| Horizonte A_i | | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 4,5 (0,3) | 0,40 (0,02) | 11,2 (0,3) | 19,3 (1,5) | 4,8 (0,6) | 1,9 (0,1) | 0,13 (0,01) | 0,40 (0,03) | 7,3 (0,7) | 23,9 (1,7) | 32,3 (4,7) | 4,1 (0,09) |
| | i | 6,0 (1,4) [°] | 0,47 (0,09) [°] | 12,0 (0,6) [°] | 19,7 (3,7) [°] | 4,2 (0,8) [°] | 2,6 (0,6) [°] | 0,23 (0,04) [°] | 0,34 (0,06) [°] | 7,4 (1,5) [°] | 28,8 (6,5) [°] | 27,0 (0,7) [°] | 4,0 (0,00) [°] |
| trilha | v | 3,1 (0,1) | 0,28 (0,01) | 11,0 (0,4) | 7,3 (0,5) | 2,3 (0,1) | 0,70 (0,03) | 0,06 (0,00) | 0,21 (0,02) | 3,3 (0,1) | 15,6 (1,1) | 22,0 (2,6) | 4,3 (0,07) |
| | i | 3,7 (0,2) [°] | 0,29 (0,01) [°] | 12,8 (0,6) [°] | 9,3 (1,0) [°] | 1,8 (0,2) [°] | 0,67 (0,02) [°] | 0,08 (0,01) [°] | 0,25 (0,02) [°] | 2,8 (0,2) [°] | 13,4 (1,8) [°] | 22,7 (2,2) [°] | 4,5 (0,03) [°] |
| M x T | v | p= 0,04 | p= 0,04 | NS | p= 0,04 | p= 0,04 | p= 0,04 | p= 0,04 | p= 0,04 | p= 0,04 | p= 0,04 | NS | NS |
| | i | NS | NS | NS | NS | p= 0,04 | p= 0,04 | NS | NS | p= 0,04 | NS | NS | p= 0,04 |
| Horizonte A₁ | | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 2,8 (0,3) | 0,24 (0,02) | 11,5 (0,5) | 10,0 (1,0) | 1,3 (0,1) | 0,77 (0,05) | 0,06 (0,01) | 0,16 (0,01) | 2,0 (0,2) | 15,2 (2,1) | 14,7 (3,3) | 3,7 (0,02) |
| | i | 3,6 (0,2) [°] | 0,28 (0,01) [°] | 13,0 (0,5) [°] | 10,0 (0,9) [°] | 2,0 (0,7) [°] | 0,87 (0,08) [°] | 0,09 (0,01) [°] | 0,17 (0,02) [°] | 3,2 (0,8) [°] | 19,8 (2,1) [°] | 17,0 (4,9) [°] | 3,8 (0,04) [°] |
| trilha | v | 1,7 (0,1) | 0,16 (0,01) | 11,0 (0,1) | 5,3 (0,4) | 1,1 (0,1) | 0,5 (0,1) | 0,02 (0,00) | 0,10 (0,00) | 1,4 (0,2) | 9,6 (0,8) | 14,0 (1,4) | 3,9 (0,02) |
| | i | 2,1 (0,2) [°] | 0,17 (0,01) [°] | 12,4 (0,7) [°] | 7,3 (0,5) [°] | 1,2 (0,1) [°] | 0,43 (0,04) [°] | 0,04 (0,00) [°] | 0,11 (0,00) [°] | 1,7 (0,1) [°] | 10,5 (0,9) [°] | 16,7 (0,5) [°] | 4,1 (0,02) [*] |
| M x T | v | p= 0,04 | p= 0,04 | NS | p= 0,04 | NS | NS | NS | p= 0,04 | NS | NS | NS | p= 0,04 |
| | i | p= 0,04 | p= 0,04 | NS | NS | NS | p= 0,04 | p= 0,04 | p= 0,04 | NS | p= 0,04 | NS | p= 0,04 |

Tabela 6.13. Características químicas da fração agregada dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. Média (erro padrão). Teste U de Mann-Whitney entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações. n= 3.**

| | | <u>C</u> | <u>N</u> | <u>C/N</u> | <u>P</u> | <u>Ca²⁺</u> | <u>Mg²⁺</u> | <u>Na⁺</u> | <u>K⁺</u> | <u>BT</u> | <u>CTC</u> | <u>%SB</u> | <u>pH</u> |
|--------------------------------|----------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | <u>(%)</u> | | | <u>(mg/Kg)</u> | <u>(cmolc/Kg)</u> | | | | | | | |
| Horizonte A_i | | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 4,3 (0,1) | 0,38 (0,01) | 11,3 (0,08) | 19,7 (1,3) | 9,6 (1,3) | 3,6 (0,4) | 0,13 (0,03) | 0,42 (0,03) | 13,8 (1,7) | 30,3 (1,2) | 45,3 (5,5) | 4,2 (0,05) |
| | i | 4,5 (0,05) [°] | 0,43 (0,01) [°] | 10,3 (0,2) [*] | 11,7 (0,2) [*] | 6,3 (0,3) [°] | 2,73 (0,04) [°] | 0,14 (0,00) [°] | 0,44 (0,04) [°] | 9,6 (0,2) [°] | 22,2 (1,0) [*] | 44,0 (1,5) [°] | 4,9 (0,05) [*] |
| trilha | v | 4,7 (0,3) | 0,37 (0,00) | 12,9 (0,9) | 11,0 (2,0) | 9,5 (2,2) | 2,6 (1,0) | 0,05 (0,01) | 0,34 (0,01) | 12,5 (2,2) | 21,5 (3,7) | 58,0 (1,9) | 4,9 (0,05) |
| | i | 5,5 (0,4) [°] | 0,42 (0,03) [°] | 13,2 (0,6) [°] | 7,3 (0,5) [°] | 7,4 (1,4) [°] | 2,6 (0,5) [°] | 0,11 (0,01) [*] | 0,25 (0,04) [°] | 10,3 (1,9) [°] | 23,1 (2,2) [°] | 44,0 (5,4) [°] | 4,7 (0,05) [°] |
| M x T | v | NS | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,04 | NS | NS | NS | NS | p= 0,04 |
| | i | NS | NS | p= 0,04 | p= 0,04 | NS | NS | p= 0,04 | NS | NS | NS | NS | NS |
| Horizonte A₁ | | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 2,3 (0,3) | 0,24 (0,03) | 9,7 (0,1) | 8,3 (0,5) | 2,7 (0,8) | 1,1 (0,2) | 0,05 (0,01) | 0,20 (0,01) | 4,1 (1,1) | 13,9 (1,9) | 26,3 (3,5) | 4,2 (0,04) |
| | i | 2,6 (0,1) [°] | 0,28 (0,01) [°] | 9,4 (0,1) [°] | 6,7 (0,7) [°] | 3,0 (0,4) [°] | 1,4 (0,1) [°] | 0,07 (0,00) [°] | 0,17 (0,01) [°] | 4,6 (0,6) [°] | 14,8 (0,8) [°] | 31,3 (3,0) [°] | 4,5 (0,05) [°] |
| trilha | v | 2,0 (1,0) | 0,23 (0,01) | 9,1 (0,2) | 8,3 (0,5) | 3,1 (0,5) | 0,80 (0,03) | 0,04 (0,01) | 0,16 (0,01) | 4,1 (0,6) | 12,2 (0,4) | 33,0 (3,6) | 4,5 (0,08) |
| | i | 2,7 (0,3) [°] | 0,24 (0,01) [°] | 11,3 (0,5) [°] | 7,0 (0,7) [°] | 4,2 (1,4) [°] | 1,3 (0,4) [°] | 0,04 (0,01) [°] | 0,12 (0,01) [°] | 5,7 (1,8) [°] | 15,9 (1,2) [°] | 33,0 (9,3) [°] | 4,6(0,2) [°] |
| M x T | v | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| | i | NS | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,04 | p= 0,04 | NS | NS | NS | NS |

C) análise das concentrações totais no horizonte A_i e A_1

A tabela 6.14 sintetiza os resultados das concentrações totais de nutrientes nos horizontes A_i e A_1 para fragmento Pasto Novo e a tabela 6.15 para o fragmento Bionativa.

Para o fragmento Pasto Novo, já foi descrita a marcante diferenciação das propriedades químicas entre os horizontes A_i e A_1 das áreas de mata. Para as trilhas esta diferenciação entre os horizontes não é tão expressiva, uma vez que as concentrações de C, N e nutrientes no horizonte A_i são, no máximo, duas vezes superiores às concentrações no horizonte A_1 .

A comparação do horizonte A_i entre áreas de mata e as trilhas do fragmento Pasto Novo revela diferenças altamente significativas em quase todos os atributos químicos em ambas as estações (tabela 6.14). As concentrações estimadas para as áreas de mata correspondem ao dobro ou triplo das estimadas para as trilhas. Por outro lado, para o horizonte A_1 as diferenças entre as situações internas são um pouco menos marcantes: as concentrações dos nutrientes das áreas de mata são aproximadamente duas vezes superiores às concentrações obtidas para as trilhas (tabela 6.14). Uma característica comum aos solos das áreas de mata e das trilhas pode ser observada: a pobreza em Ca^{2+} , que se reflete nos valores de BT e da %SB, evidenciando o oligotrofismo dos solos do fragmento Pasto Novo.

Quanto ao fragmento Bionativa verifica-se para as áreas de mata uma considerável diferenciação entre os horizontes A_i e A_1 , enquanto que para as trilhas essa diferenciação é menos evidente: as concentrações de C, N, P e nutrientes do horizonte A_1 das trilhas representam entre 50-70% das concentrações estimadas para o horizonte A_i (tabela 6.15).

Quando se compara o horizonte A_i das áreas de mata com as trilhas observa-se que as diferenças mais importantes ocorrem na estação seca. A maioria dos parâmetros químicos do horizonte A_i das trilhas tem seus valores reduzidos no inverno, o que se diferencia das áreas de mata (tabela 6.15). Por sua vez, os valores da relação C/N são significativamente superiores para as trilhas, o que indica uma menor velocidade de decomposição da matéria orgânica nesses sítios. Destaca-se nessa tabela o comportamento da porcentagem de saturação em bases (%SB). Este atributo é significativamente superior para as trilhas durante o verão e significativamente inferior às áreas de mata durante o inverno, ressaltando uma variabilidade sazonal da fertilidade do solo das trilhas.

Com respeito ao horizonte A_1 a comparação entre as duas situações revela, no geral, uma similaridade nas propriedades químicas do solo. Os teores de C, N, Ca^{2+} , BT, CTC e %SB não diferem em nenhuma estação (tabela 6.15).

Em se tratando da variação sazonal das concentrações de nutrientes no horizonte A_i verifica-se, para as áreas de mata dos dois fragmentos, uma tendência a valores superiores no inverno em

relação ao verão; o inverso pode ser observado para as trilhas. Por outro lado, para o horizonte A₁ as concentrações apresentaram-se estáveis tanto para as áreas de mata quanto para as trilhas dos dois fragmentos (tabelas 6.14 e 6.15).

Tabela 6.14. Características químicas dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações internas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| | | C | N | C/N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | BT | CTC | %SB |
|--------------------------------|----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | (%) | | | (mg/Kg) | (cmolc/Kg) | | | | | | |
| Horizonte A_i | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 3,9 (0,3) | 0,31 (0,02) | 12,4 (0,3) | 18,8 (1,6) | 4,1 (0,2) | 2,6 (0,4) | 0,10 (0,01) | 0,30 (0,02) | 7,1 (0,6) | 21,1 (1,9) | 35,0 (1,9) |
| | i | 5,5 (0,9) [*] | 0,41 (0,06) [*] | 13,0 (0,3) [*] | 24,2 (3,6) [°] | 4,5 (0,4) [°] | 2,4 (0,3) [°] | 0,15(0,02) ^{**} | 0,30 (0,03) [°] | 7,4 (0,7) [°] | 25,2 (3,7) [°] | 33,1 (2,9) [°] |
| trilha | v | 2,6 (0,2) | 0,23 (0,02) | 11,6 (0,21) | 6,2 (0,2) | 2,7 (0,4) | 0,77 (0,03) | 0,03 (0,00) | 0,18 (0,02) | 3,7 (0,4) | 12,5 (0,9) | 29,8 (2,2) |
| | i | 2,4 (0,1) [°] | 0,18 (0,01) [*] | 13,2 (0,4) ^{**} | 5,8 (0,3) [°] | 1,6 (0,1) ^{**} | 0,72 (0,01) [°] | 0,04 (0,00) [°] | 0,15 (0,01) [°] | 2,5 (0,1) ^{**} | 8,8 (0,4) ^{**} | 29,2 (1,9) [°] |
| M x T | v | p= 0,003 | p= 0,005 | p= 0,04 | p< 0,001 | p= 0,003 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | NS |
| | i | p= 0,001 | p< 0,001 | NS | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | NS |
| Horizonte A₁ | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 2,0 (0,1) | 0,18 (0,01) | 11,3 (0,3) | 8,7 (0,2) | 1,01 (0,08) | 0,78 (0,04) | 0,04 (0,00) | 0,13 (0,00) | 1,7 (0,1) | 11,5 (0,8) | 15,5 (1,8) |
| | i | 2,4 (0,2) [°] | 0,20 (0,01) [°] | 12,0 (0,3) [°] | 8,1 (0,3) [°] | 1,08 (0,09) [°] | 0,70 (0,02) [°] | 0,06 (0,01) [°] | 0,12 (0,00) [°] | 1,9 (0,1) [°] | 13,3 (1,4) [°] | 16,0 (2,0) [°] |
| trilha | v | 1,5 (0,05) | 0,14 (0,01) | 11,1 (0,1) | 5,1 (0,3) | 1,1 (0,1) | 0,55 (0,05) | 0,02 (0,00) | 0,09 (0,01) | 1,5 (0,2) | 7,8 (0,3) | 18,1 (1,4) |
| | i | 1,6 (0,08) [°] | 0,14 (0,00) [°] | 11,8 (0,3) [*] | 5,8 (0,2) [°] | 0,94 (0,03) [°] | 0,59 (0,04) [°] | 0,03 (0,00) [*] | 0,09 (0,01) [°] | 1,2 (0,1) [°] | 8,4 (0,5) [°] | 15,3 (1,4) [°] |
| M x T | v | p< 0,001 | p< 0,001 | NS | p< 0,001 | NS | p= 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | NS | p< 0,001 | NS |
| | i | p= 0,002 | p< 0,001 | NS | p< 0,001 | NS | p= 0,02 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p= 0,003 | NS |

Tabela 6.15. Características químicas dos horizontes hemiórgânicos A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações internas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.**

| | | C | N | C/N | P | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | BT | CTC | %SB |
|--------------------------------|----------|------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | (%) | | | (mg/Kg) | (cmolc/Kg) | | | | | | |
| Horizonte A_i | | | | | | | | | | | | |
| mata | v | 2,5 (0,1) | 0,22 (0,01) | 11,5 (0,1) | 13,7 (0,7) | 4,5 (0,3) | 1,5 (0,1) | 0,07 (0,01) | 0,23 (0,01) | 6,4 (0,4) | 15,6 (0,9) | 41,3 (1,5) |
| | i | 3,5 (0,3) [*] | 0,31 (0,02) ^{**} | 11,2 (0,2) [°] | 12,1 (0,6) [°] | 4,7 (0,4) [°] | 1,9 (0,2) [°] | 0,10 (0,01) [*] | 0,31 (0,02) [*] | 7,1 (0,6) [°] | 15,4 (1,1) [°] | 45,5 (1,4) [°] |
| trilha | v | 2,8 (0,3) | 0,23 (0,02) | 12,3 (0,2) | 10,4 (2,4) | 5,0 (0,7) | 1,7 (0,3) | 0,03 (0,00) | 0,21 (0,03) | 6,9 (1,0) | 12,6 (1,4) | 52,9 (2,0) |
| | i | 3,0 (0,5) [°] | 0,21 (0,03) [°] | 13,3 (0,5) [°] | 5,0 (0,5) [*] | 3,4 (0,7) [°] | 1,2 (0,2) [°] | 0,05 (0,00) [*] | 0,14 (0,01) [*] | 4,6 (0,9) [°] | 11,4 (1,4) [°] | 37,1 (2,6) [*] |
| M x T | v | NS | NS | p= 0,02 | NS | NS | NS | p< 0,001 | NS | NS | NS | p= 0,001 |
| | i | NS | p= 0,01 | p= 0,01 | p< 0,001 | p= 0,05 | p= 0,01 | p< 0,001 | p< 0,001 | p= 0,01 | p= 0,02 | p= 0,008 |
| Horizonte A₁ | | | | | | | | | | | | |
| mata | V | 1,47 (0,08) | 0,15 (0,01) | 9,7 (0,2) | 6,4 (0,2) | 1,6 (0,2) | 0,9 (0,1) | 0,03 (0,00) | 0,13 (0,01) | 2,4 (0,3) | 8,7 (0,5) | 26,9 (1,7) |
| | i | 1,6 (0,1) [°] | 0,17 (0,01) [*] | 9,3 (0,1) [°] | 5,2 (0,2) [*] | 1,7 (0,2) [°] | 0,79 (0,05) [°] | 0,04 (0,00) [*] | 0,12 (0,01) [°] | 2,5 (0,3) [°] | 9,2 (0,5) [°] | 26,6 (2,1) [°] |
| trilha | v | 1,4 (0,1) | 0,14 (0,01) | 10,0 (0,1) | 7,0 (0,6) | 1,7 (0,2) | 0,60 (0,04) | 0,03 (0,00) | 0,10 (0,01) | 2,3 (0,3) | 8,2 (0,8) | 28,1 (2,6) |
| | i | 1,8 (0,2) [°] | 0,15 (0,01) [°] | 11,3 (0,3) [*] | 5,9 (0,2) [°] | 2,3 (0,6) [°] | 0,9 (0,1) [°] | 0,03 (0,00) [°] | 0,08 (0,01) [°] | 3,1 (0,8) [°] | 9,6 (0,6) [°] | 28,3 (4,9) [°] |
| M x T | v | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,01 | NS | p= 0,03 | NS | NS | NS |
| | i | NS | NS | p= 0,001 | p= 0,03 | NS | NS | p= 0,01 | p= 0,001 | NS | NS | NS |

D) análise dos estoques de C, N, P e nutrientes no horizonte A_i

As estimativas dos estoques dos nutrientes na fração fina e agregada do horizonte A_i do fragmento Pasto Novo são apresentadas na tabela 6.16. Para o fragmento Bionativa, esses resultados estão apresentados na tabela 6.17.

Ao se comparar as estimativas dos estoques nutricionais da fração fina com as da fração agregada constata-se, de maneira geral, que apesar dos agregados serem inferiores em quantidade do que a fração fina, os estoques são relativamente semelhantes entre estas duas frações (tabela 6.16 e 6.17). Isto ocorre porque os agregados concentram mais carbono e nutrientes do que a fração fina. Assim, tanto nas trilhas quanto nas áreas de mata o solo é composto por dois compartimentos que estocam nutrientes em quantidades similares. Uma exceção a essa característica geral pode ser evidenciada para as áreas de mata do fragmento Pasto Novo que no inverno apresenta uma menor quantidade de carbono e nutrientes nos agregados, devido notadamente à diminuição significativa da sua quantidade.

Considerando somente os estoques na fração fina, os dois fragmentos apresentam padrões sazonais distintos. Para o fragmento Pasto Novo verifica-se uma estabilidade temporal dos estoques nutricionais tanto nas áreas de mata quanto nas trilhas. Em contraste, os estoques no solo do fragmento Bionativa, em ambas as situações, apresentam um decréscimo significativo do verão para o inverno para quase todos os elementos.

As diferenças dos estoques da fração fina entre as situações internas do fragmento Pasto Novo são altamente significativas para todos os elementos, com valores muito superiores nas áreas de mata (tabela 6.16). Os estoques estimados para as trilhas correspondem a 10-20% dos estimados para as áreas de mata. Considerando o fragmento Bionativa, as diferenças entre as situações internas também são significativas, com valores superiores para as matas, porém não tão expressivas como as observadas para o fragmento Pasto Novo. Os estoques da fração fina do solo das trilhas do fragmento Bionativa correspondem a 35-50% dos estimados para as áreas de mata (tabela 6.17).

Para fração agregada do horizonte A_i verifica-se, no caso das áreas de mata dos dois fragmentos, um padrão sazonal relativamente semelhante dos estoques: decréscimos significativos nos valores do verão para o inverno, em função de uma menor quantidade de agregados no período invernal. Para as trilhas, os estoques da fração agregada dos dois fragmentos não apresentam uma variação sazonal significativa. Isto ocorre porque nas trilhas verifica-se tanto uma estabilidade temporal das quantidades dos agregados no solo como das concentrações dos elementos nessa fração. Pode se sugerir, portanto, que nas matas há uma modificação sazonal da estrutura do solo. A diminuição dos estoques dos elementos nos agregados no período invernal pode ser interpretada como uma evidência da liberação dos nutrientes.

No que se refere às diferenças dos estoques nos agregados entre as duas situações internas ao fragmento Pasto Novo observa-se que elas são mais importantes na estação verão, quando os estoques das áreas de mata são cerca de 10 vezes superiores aos das trilhas (tabela 6.16). No inverno, os elementos que diferem entre as situações (P, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺) são de duas a quatro vezes superiores nas áreas de mata. A comparação entre as situações internas ao fragmento Bionativa revela também diferenças mais evidentes na estação verão, contudo, são menos importantes que as observadas para o fragmento Pasto Novo (tabela 6.17). Destacam-se aqui as diferenças entre os estoques de P (0,4 Kg/ha para a mata *versus* 0,08 kg/ha para a trilha, com p= 0,006) e Mg²⁺ (8,1 Kg/ha para a mata *versus* 1,9 Kg/ha para a trilha, com p= 0,001). As diferenças entre os estoques de C e N são igualmente importantes, uma vez que os valores estimados para as trilhas representam cerca de um terço dos estimados para as áreas de mata.

Tabela 6.16. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina e fração agregada do horizonte A_i nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. Teste M x T: comparação entre as duas áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.**

| Horizonte A _i | | C | N | P | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|--------------------------|---------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| fração fina | | | | | | | | |
| mata | verão | 1,5 (0,3) | 113,0 (22,0) | 0,8 (0,1) | 32,1 (5,0) | 14,2 (2,7) | 0,8 (0,2) | 4,1 (0,6) |
| | inverno | 1,5 (0,3) [°] | 110,0 (18,3) [°] | 0,7 (0,1) [°] | 28,5 (4,5) [°] | 8,4 (1,5) [*] | 0,8 (0,2) [°] | 3,4 (0,4) [°] |
| trilha | verão | 0,26 (0,06) | 21,3 (4,6) | 0,06 (0,02) | 6,3 (1,8) | 1,1 (0,2) | 0,05 (0,01) | 0,7 (0,1) |
| | inverno | 0,27 (0,07) [°] | 19,1 (4,6) [°] | 0,06 (0,02) [°] | 4,3 (1,2) [°] | 1,4 (0,4) [°] | 0,08 (0,02) [°] | 0,5 (0,1) [°] |
| M x T | verão | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 |
| | inverno | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 |
| fração agregada | | | | | | | | |
| mata | verão | 0,9 (0,1) | 83,9 (10,6) | 0,4 (0,05) | 21,7 (5,2) | 5,0 (0,9) | 0,63 (0,09) | 3,3 (0,5) |
| | inverno | 0,4 (0,1) [*] | 33,9 (8,5) [*] | 0,1 (0,0) ^{**} | 6,5 (2,0) [*] | 2,0 (0,4) [*] | 0,36 (0,09) [°] | 1,0 (0,2) ^{**} |
| trilha | verão | 0,1 (0,0) | 10,1 (2,1) | 0,03 (0,00) | 1,7 (0,4) | 0,30 (0,06) | 0,05 (0,01) | 0,30 (0,05) |
| | inverno | 0,2 (0,1) [*] | 18,7 (4,0) [°] | 0,05 (0,01) [*] | 2,5 (0,6) [°] | 0,5 (0,1) [°] | 0,12 (0,02) [*] | 0,6 (0,1) [*] |
| M x T | verão | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 |
| | inverno | NS | NS | P= 0,03 | p= 0,05 | p= 0,007 | p= 0,01 | NS |

Tabela 6.17. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina e fração agregada do horizonte A_i nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste M x T: comparação entre as duas áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| Horizonte A _i | | C | N | P | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|--------------------------|---------|------------------------|--------------|--------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|
| | | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| | | fração fina | | | | | | |
| mata | verão | 1,3 (0,3) | 107,2 (21,8) | 0,8 (0,2) | 39,5 (8,1) | 7,3 (1,9) | 0,7 (0,1) | 4,5 (1,2) |
| | inverno | 0,7 (0,2)* | 58,5 (15,8)* | 0,3 (0,1)** | 19,2 (5,6)** | 4,2 (1,1)* | 0,4 (0,1)° | 2,2 (0,6)* |
| trilha | verão | 0,7 (0,2) | 54,9 (15,6) | 0,3 (0,1) | 23,3 (8,9) | 5,3 (2,0) | 0,14 (0,05) | 1,9 (0,6) |
| | inverno | 0,4 (0,1)° | 26,6 (7,0)* | 0,08 (0,01)* | 7,5 (3,0)* | 1,6 (0,6)* | 0,13 (0,02)° | 0,7 (0,1)* |
| M x T | verão | p= 0,01 | p= 0,008 | p= 0,001 | p= 0,03 | NS | p< 0,001 | p= 0,005 |
| | inverno | NS | p= 0,02 | p< 0,001 | p= 0,01 | p= 0,008 | p< 0,001 | p= 0,002 |
| | | fração agregada | | | | | | |
| mata | verão | 0,9 (0,2) | 78,7 (15,9) | 0,4 (0,1) | 35,9 (6,3) | 8,1 (1,5) | 0,7 (0,3) | 3,7 (0,9) |
| | inverno | 0,4 (0,1)* | 36,9 (8,2)* | 0,1 (0,0)** | 11,1 (2,6)* | 2,8 (0,7)* | 0,3 (0,1)° | 1,4 (0,3)* |
| trilha | verão | 0,3 (0,1) | 22,5 (4,1) | 0,08 (0,02) | 13,5 (4,6) | 1,9 (0,4) | 0,07 (0,01) | 0,8 (0,1) |
| | inverno | 0,2 (0,0)° | 17,6 (2,3)° | 0,03 (0,00)° | 6,2 (1,5)° | 1,3 (0,3)° | 0,10 (0,01)° | 0,40 (0,05)* |
| M x T | verão | p= 0,01 | p= 0,006 | p= 0,005 | p= 0,02 | p= 0,001 | p= 0,009 | p= 0,01 |
| | inverno | NS | NS | P= 0,01 | NS | NS | p= 0,04 | p= 0,01 |

E) análise dos estoques de C, N, P e nutrientes no horizonte A₁

Os resultados referentes aos estoques de nutrientes na fração fina e agregada do horizonte A₁ do fragmento Pasto Novo são sintetizadas na tabela 6.18. Para o fragmento Bionativa, esses resultados estão apresentados na tabela 6.19.

Para o horizonte A₁, os estoques na fração agregada são, em geral, um pouco inferiores aos estoques na fração fina.

Para o fragmento Pasto Novo, a comparação entre as áreas de mata e as trilhas revela para os estoques da fração fina, valores significativamente superiores nas áreas de mata (tabela 6.18). Os estoques de Na⁺ e K⁺ são aproximadamente 50% menores nas trilhas, indicando uma provável lixiviação desses elementos. Com respeito ao C, N, e P os estoques estimados para as trilhas representam 70% dos estimados para as áreas de mata. O único elemento que de fato não difere entre as áreas de mata e as trilhas é o Ca²⁺, indicando uma pobreza geral na principal base trocável do solo.

Quanto ao fragmento Bionativa, os resultados revelam que os estoques dos elementos na fração fina do horizonte A₁ são similares entre as áreas de mata e as trilhas. Apenas o estoque de K⁺ no período invernal apresenta-se significativamente superior na mata (27,8 Kg/ha para mata *versus* 20,6 Kg/ha para a trilha, com p= 0,02) (tabela 6.19).

Com relação, notadamente, à pobreza em Ca²⁺ do solo do fragmento Pasto Novo, vale ressaltar que as estimativas médias para as áreas de mata e para as trilhas (105,2 Kg/ha para mata e 115,0 Kg/ha para trilha) são muito inferiores as estimativas para a mata e as trilhas do fragmento Bionativa: 177,0 Kg/ha de Ca²⁺ para a mata e 203,7 Kg/ha de Ca²⁺ para as trilhas.

A comparação sazonal dos estoques dos elementos na fração fina do horizonte A₁ evidencia uma estabilidade em quase todos os parâmetros tanto nas áreas de mata quanto nas trilhas dos dois fragmentos.

Os estoques estimados na fração agregada do solo evidenciam, de maneira geral, uma certa semelhança entre áreas de mata e trilhas (tabelas 6.18 e 6.19). Assim, para o fragmento Pasto Novo, apenas o P, no verão, e o Na⁺, nas duas estações, apresentam diferenças significativas, porém com pequenas quantidades destes nutrientes em ambas as situações internas. No caso do fragmento Bionativa, somente para os elementos Na⁺ e K⁺ pode se verificar uma pequena diferença entre as situações, com valores superiores para as áreas de mata. Na comparação sazonal nenhum parâmetro (exceto o P e Na⁺ para as trilhas do fragmento Pasto Novo) diferiu entre as estações.

Tabela 6.18. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina e fração agregada do horizonte A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento PastoNovo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. Teste M x T: comparação entre as duas áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.**

| Horizonte A ₁ | | C | N | P | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|--------------------------|---------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| | | fração fina | | | | | | |
| mata | verão | 11,8 (1,1) | 1065,9 (72,6) | 5,8 (0,4) | 112,4 (18,2) | 59,7 (5,8) | 5,5 (0,9) | 28,3 (1,9) |
| | inverno | 13,7 (1,9) [°] | 1202,8 (119,0) [°] | 5,4 (0,3) [°] | 98,1 (12,5) [°] | 51,7 (3,5) [°] | 6,7 (1,2) [°] | 26,2 (1,7) [°] |
| trilha | verão | 8,9 (0,8) | 796,1 (75,9) | 3,3 (0,4) | 127,2 (26,1) | 42,1 (8,4) | 2,0 (0,2) | 18,7 (1,9) |
| | inverno | 9,2 (0,7) [°] | 815,5 (53,7) [°] | 3,5 (0,4) [°] | 102,9 (11,7) [°] | 51,5 (8,3) [°] | 2,6 (0,4) [°] | 18,8 (1,7) [°] |
| M x T | verão | p= 0,008 | p= 0,002 | p< 0,001 | NS | p= 0,02 | p< 0,001 | p< 0,001 |
| | inverno | p= 0,004 | p< 0,001 | p< 0,001 | NS | NS | p< 0,001 | p< 0,001 |
| | | fração agregada | | | | | | |
| mata | verão | 8,7 (0,9) | 750,1 (52,5) | 3,1 (0,3) | 76,0 (11,0) | 26,5 (2,6) | 3,8 (0,6) | 17,9 (1,1) |
| | inverno | 11,3 (1,6) [°] | 865,3 (110,2) [°] | 3,1 (0,5) [°] | 112,2 (43,6) [°] | 29,5 (5,0) [°] | 6,1 (0,8) [°] | 18,2 (3,0) [°] |
| trilha | verão | 7,3 (0,6) | 665,9 (60,8) | 2,2 (0,2) | 82,8 (11,6) | 22,0 (5,3) | 2,1 (0,2) | 15,1 (1,5) |
| | inverno | 8,8 (1,0) [°] | 708,8 (75,6) [°] | 3,0 (0,2) [*] | 88,5 (10,7) [°] | 20,0 (2,9) [°] | 3,2 (0,3) [*] | 16,0 (1,3) [°] |
| M x T | verão | NS | NS | p= 0,05 | NS | NS | p= 0,02 | NS |
| | inverno | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,01 | NS |

Tabela 6.19. Estoque de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes na fração fina e fração agregada do horizonte A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. Teste M x T: comparação entre as duas áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.

| Horizonte A ₁ | | C | N | P | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|--------------------------|---------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| fração fina | | | | | | | | |
| mata | verão | 9,8 (0,7) | 1018,6 (65,6) | 5,1 (0,4) | 183,1 (25,5) | 77,1 (17,4) | 3,8 (0,6) | 31,6 (2,4) |
| | inverno | 9,8 (1,1) [°] | 1041,0 (115,5) [°] | 3,8 (0,3) [*] | 170,6 (46,8) [°] | 51,7 (6,4) [°] | 5,2 (0,6) [*] | 27,8 (3,1) [°] |
| trilha | verão | 10,2 (1,7) | 1023,7 (139,4) | 6,0 (0,9) | 203,7 (39,3) | 52,5 (8,8) | 3,9 (1,0) | 26,6 (3,4) |
| | inverno | 11,4 (1,4) [°] | 996,0 (84,1) [°] | 4,6 (0,5) [°] | 203,7 (84,1) [°] | 57,5 (9,5) [°] | 4,3 (1,2) [°] | 20,6 (2,8) [°] |
| M x T | verão | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| | inverno | NS | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,02 |
| fração agregada | | | | | | | | |
| mata | verão | 6,8 (1,0) | 696,9 (99,0) | 2,4 (0,2) | 147,8 (49,7) | 34,9 (9,2) | 3,1 (0,2) | 20,2 (2,3) |
| | inverno | 7,0 (0,6) [°] | 750,3 (60,6) [°] | 1,8 (0,2) [°] | 155,7 (32,3) [°] | 41,1 (5,4) [°] | 3,9 (0,2) [°] | 16,8 (1,8) [°] |
| trilha | verão | 6,4 (0,9) | 716,5 (114,5) | 2,7 (0,3) | 185,6 (46,5) | 27,6 (4,2) | 2,6 (0,9) | 18,2 (3,2) |
| | inverno | 8,0 (1,4) [°] | 689,5 (89,3) [°] | 1,9 (0,1) [°] | 252,7 (99,9) [°] | 46,7 (18,7) [°] | 2,0 (0,2) [°] | 11,2 (0,3) [°] |
| M x T | verão | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| | inverno | NS | NS | NS | NS | NS | p< 0,001 | p= 0,01 |

F) análise dos estoques totais de C, N, P e nutrientes no horizonte A_i e A_1

Os estoques totais de nutrientes para o horizonte de interface A_i são inferiores aos estoques do primeiro horizonte mineral A_1 para ambos os fragmentos (tabelas 6.20 e 6.21).

A comparação dos estoques do horizonte A_i para as situações internas do fragmento Pasto Novo evidencia valores muito superiores para as áreas de mata em relação às trilhas, em qualquer estação do ano (tabela 6.20). O estoque médio de nutrientes como P, Ca^{2+} e Mg^{2+} nas áreas de mata chega a ser oito vezes maior que nas trilhas. Para o acúmulo médio de C e N observam-se valores da ordem de quatro a cinco vezes superiores para as áreas de mata: 2,2 t/ha de C e 175 Kg/ha de N para mata *versus* 0,5 t/ha de C e 38,5 Kg/ha de N para as trilhas.

Com relação aos estoques médios do horizonte A_i no fragmento Bionativa as diferenças entre áreas de mata e trilhas são significativas apenas na estação verão, com valores superiores para as áreas de mata (tabela 6.21). Essas diferenças não são tão expressivas como as observadas para o fragmento Pasto Novo. Ou seja, para o fragmento Bionativa o elemento Ca^{2+} , por exemplo, não difere significativamente entre as situações. Por sua vez, os estoques de P e Mg^{2+} são quatro vezes maiores nas áreas de mata e os valores estimados de C e N correspondem ao dobro dos estimados para as trilhas (1,6 t/ha de C e 137,4 Kg/ha de N para a mata *versus* 0,9 t/ha de C e 66,8 Kg/ha de N para trilhas).

Quanto aos estoques totais no horizonte A_1 do fragmento Pasto Novo observa-se que os estoques de C e N se diferenciam entre as situações somente na estação inverno, quando os valores para as trilhas correspondem a 70% dos valores para as áreas de mata (tabela 6.20). Com relação aos estoques das bases trocáveis do solo pode se verificar padrão semelhante ao encontrado para os estoques na fração fina do horizonte A_1 : ausência de diferenças significativas nos estoques de Ca^{2+} e Mg^{2+} e estoques de Na^+ e K^+ da ordem de 1,5 a 2 vezes superior para as áreas de mata.

Para os estoques totais do horizonte A_1 do fragmento Bionativa não foram observadas diferenças significativas entre as áreas de mata e as trilhas (exceto para o elemento K^+), o que sugere uma similaridade das propriedades químicas do solo desse fragmento (tabela 6.21). Mais uma vez, quando se confrontam os estoques de Ca^{2+} e Mg^{2+} obtidos para o fragmento Bionativa com os obtidos para o fragmento Pasto Novo observamos um acúmulo consideravelmente maior no solo do fragmento Bionativa. Na realidade, isso indica ou uma pobreza em bases para o solo do fragmento Pasto Novo, ou uma imobilização desses elementos no horizonte mineral A_1 do fragmento Bionativa, fruto talvez de uma perturbação do fragmento como um todo.

Independente da estação considerada, a ordem decrescente da importância dos estoques nutricionais nos horizontes hemiórgânicos dos dois fragmentos pode ser assim estabelecida: $N > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > (P \cong Na^+)$.

A comparação sazonal dos resultados revela que os estoques do horizonte A₁ do fragmento Bionativa apresentaram uma variação considerável para as áreas de mata e uma certa estabilidade para as trilhas. Na realidade, essa estabilidade para as trilhas parece ser promovida por uma alta variabilidade nos valores, sugerindo a ocorrência de pontos de grande acumulação e pontos de acúmulo muito baixo de nutrientes. No caso do fragmento Pasto Novo verifica-se uma redução significativa nos estoques de Ca²⁺ e Mg²⁺ para as áreas de mata. Os demais nutrientes se comportam de maneira pouco variável tanto nas áreas de mata quanto nas trilhas. Com relação aos resultados referentes aos estoques do horizonte A₁ pode se inferir uma certa estabilidade sazonal.

Tabela 6.20. Estoque total de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes dos horizontes A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Pasto Novo. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. Teste M x T: comparação entre as duas áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.**

| Pasto Novo | | C | N | P | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|------------|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| | | Horizonte A_i | | | | | | |
| mata | verão | 2,5 (0,3) | 202,1 (25,6) | 1,2 (0,2) | 53,9 (7,7) | 22,8 (2,6) | 1,5 (0,2) | 7,6 (0,9) |
| | inverno | 2,0 (0,2) [°] | 148,0 (15,1) [°] | 0,8 (0,1) [°] | 31,4 (4,0) [*] | 10,4 (1,6) [*] | 1,2 (0,2) [°] | 3,9 (0,3) [*] |
| trilha | verão | 0,40 (0,07) | 32,6 (6,1) | 0,10 (0,02) | 8,0 (2,1) | 1,5 (0,3) | 0,11 (0,02) | 0,8 (0,1) |
| | inverno | 0,6 (0,1) [°] | 44,5 (8,1) [°] | 0,14 (0,02) [°] | 8,1 (1,9) [°] | 2,4 (0,5) [°] | 0,23 (0,04) [*] | 1,3 (0,2) [°] |
| M x T | verão | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 |
| | inverno | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 | p< 0,001 |
| | | Horizonte A₁ | | | | | | |
| mata | verão | 19,6 (1,4) | 1754,2 (72,2) | 8,8 (0,3) | 167,6 (17,1) | 79,2 (4,5) | 9,9 (1,2) | 45,1 (2,1) |
| | inverno | 24,9 (2,6) [*] | 2049,0 (172,1) [°] | 8,2 (0,7) [°] | 202,1 (45,1) [°] | 81,8 (4,7) [°] | 13,3 (1,6) [°] | 42,3 (3,6) [°] |
| trilha | verão | 16,8 (0,6) | 1536,5 (80,5) | 5,9 (0,5) | 192,0 (16,9) | 67,9 (7,2) | 4,3 (0,3) | 33,4 (2,1) |
| | inverno | 18,0 (1,5) [°] | 1499,2 (60,4) [°] | 6,9 (0,4) [°] | 184,8 (7,7) [°] | 76,8 (5,5) [°] | 5,9 (0,5) [*] | 33,8 (1,5) [°] |
| M x T | verão | NS | NS | p< 0,001 | NS | NS | p= 0,001 | p= 0,006 |
| | inverno | p= 0,05 | p= 0,01 | NS | NS | NS | p= 0,001 | p= 0,01 |

Tabela 6.21. Estoque total de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e macro-nutrientes dos horizontes A_i e A₁ nas situações de mata e trilhas internas do fragmento Bionativa. Média (erro padrão). Teste t de Student entre verão e inverno: °: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; *: $\alpha < 0,001$. Teste M x T: comparação entre as duas áreas. Testes realizados com dados normalizados. n= 12.**

| Bionativa | | C | N | P | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|-----------|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------|
| | | t/ha | Kg/ha | | | | | |
| | | Horizonte A_i | | | | | | |
| mata | verão | 2,2 (0,4) | 187,9 (35,1) | 1,3 (0,3) | 73,6 (13,4) | 16,7 (3,0) | 1,5 (0,4) | 8,3 (1,9) |
| | inverno | 1,0 (0,3)* | 86,9 (23,8)* | 0,3 (0,1)* | 27,7 (7,9)* | 6,5 (1,7)* | 0,6 (0,1)* | 3,3 (0,9)* |
| trilha | verão | 1,0 (0,2) | 78,9 (16,7) | 0,32 (0,09) | 43,0 (14,7) | 6,7 (1,9) | 0,20 (0,04) | 2,3 (0,4) |
| | inverno | 0,8 (0,2) [°] | 54,7 (9,2) [°] | 0,11 (0,01)* | 17,5 (5,0) [°] | 3,3 (1,1) [°] | 0,27 (0,03) [°] | 1,1 (0,1)* |
| M x T | verão | p= 0,04 | p= 0,02 | p= 0,004 | NS | p= 0,02 | p= 0,001 | p= 0,008 |
| | inverno | NS | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,04 |
| | | Horizonte A₁ | | | | | | |
| mata | verão | 17,4 (0,9) | 1815,4 (83,8) | 7,9 (0,4) | 348,5 (52,0) | 127,2 (21,8) | 7,5 (0,5) | 55,5 (1,6) |
| | inverno | 17,5 (0,7) [°] | 1878,5 (77,8) [°] | 5,4 (0,4)* | 313,1 (57,8) [°] | 89,7 (6,8) [°] | 8,9 (0,7) [°] | 46,1 (2,7)* |
| trilha | verão | 15,2 (0,9) | 1647,9 (90,9) | 8,0 (0,4) | 409,9 (85,6) | 87,7 (6,7) | 6,2 (1,4) | 43,9 (3,9) |
| | inverno | 21,9 (2,3)* | 1821,6 (116,0) [°] | 6,0 (0,3)* | 558,8 (201,8) [°] | 110,9 (27,6) [°] | 6,3 (1,0) [°] | 29,3 (1,5)** |
| M x T | verão | NS | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,02 |
| | inverno | NS | NS | NS | NS | NS | NS | p= 0,001 |

A figura 6.1 ilustra o resultado do somatório dos estoques dos horizontes A_1 e A_2 para o C, N, P e Ca^{2+} em cada fragmento. As diferenças dos estoques entre áreas de mata e trilhas são maiores no solo do fragmento Pasto Novo (exceto para o Ca^{2+}) que no fragmento Bionativa, onde estas quantidades são, em geral, semelhantes.

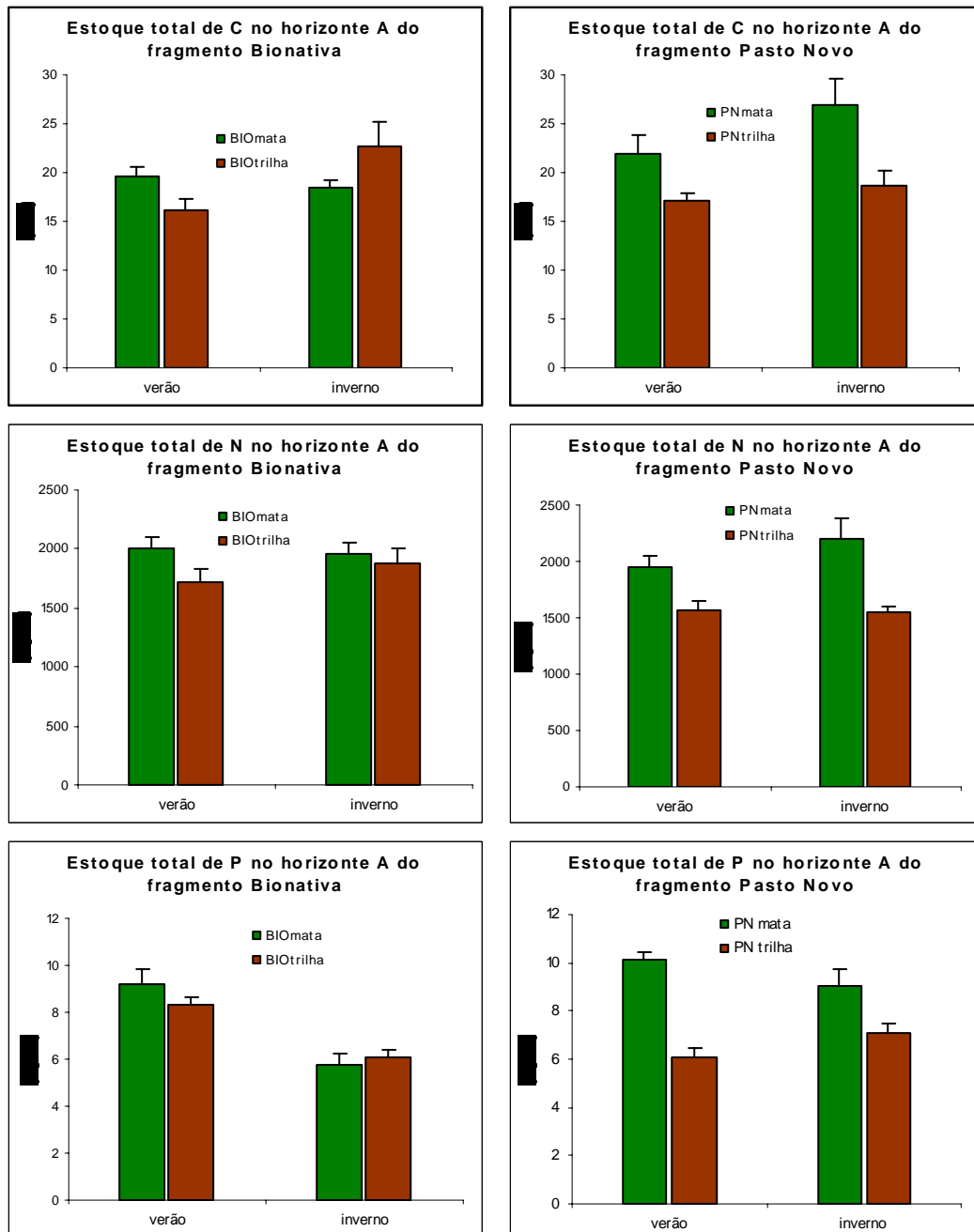


Figura 6.1. Estoques totais de C, N, P e Ca^{2+} no horizonte A das áreas de mata e trilhas dos dois fragmentos. Valores médios. n=6.

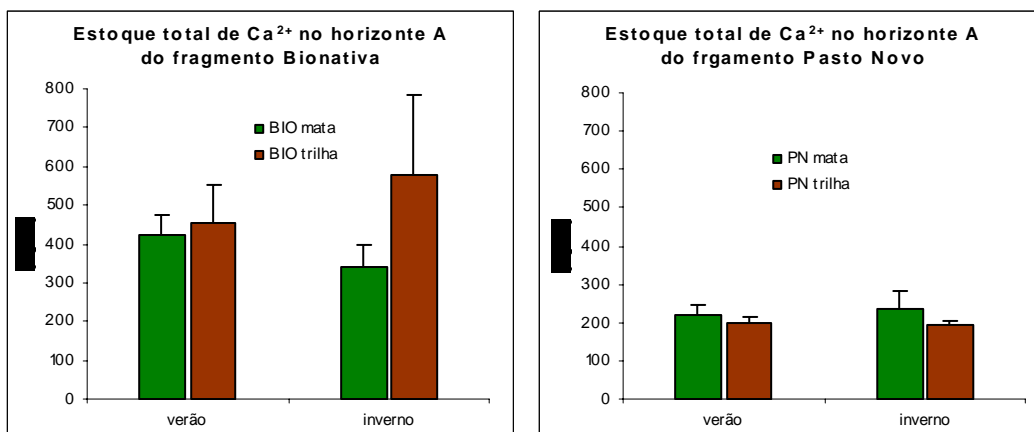


Figura 6.1 continuação. Estoques totais de C, N, P e Ca²⁺ no horizonte A das áreas de mata e trilhas dos dois fragmentos. Valores médios. n=6.

6.4 Biomassa e distribuição de raízes finas no perfil húmico

A biomassa e a distribuição de raízes finas nas camadas holorgânicas e nos horizontes hemiorgânicos das áreas de mata e das trilhas dos fragmentos são apresentadas na figura 6.2. Uma característica comum às áreas estudadas é a ausência de raízes finas na camada F₂ – exceto para as áreas de mata no fragmento Pasto Novo na estação inverno, quando foi estimado um estoque de 24,0 g/m². No caso das áreas de mata do fragmento Bionativa e das trilhas dos dois fragmentos essa ausência ocorreu certamente por não haver a formação da camada F₂ no perfil húmico. Outra característica comum é a significativa redução na biomassa de raízes do horizonte A_i das trilhas em relação às áreas de mata. No horizonte hemiorgânico A₁ verifica-se a maior biomassa de raízes no perfil de todas as situações amostradas.

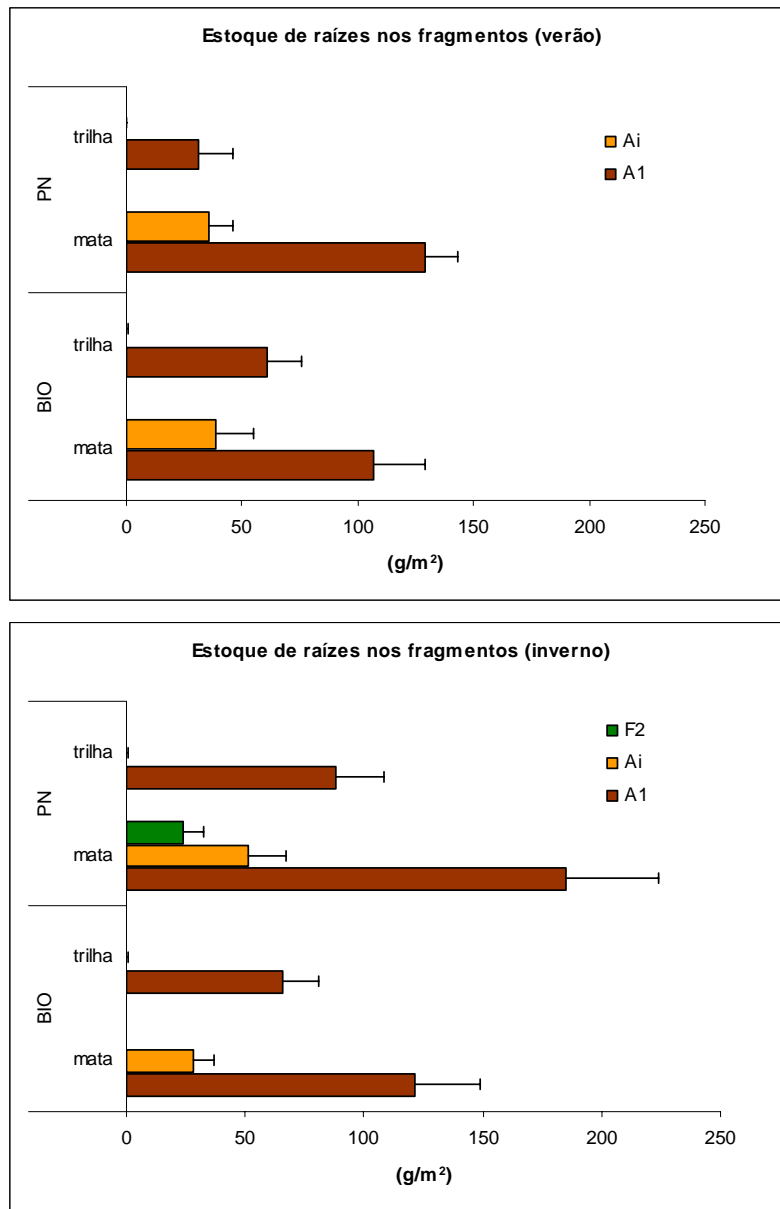


Figura 6.2. Distribuição da biomassa de raízes finas no perfil húmico das áreas de mata e das trilhas dos fragmentos. Valores médios. n = 6 (F₂, A_i e A₁).

A tabela 6.22 apresenta os valores dos estoques de raízes em cada horizonte. Observa-se que no caso das áreas de mata, tanto do fragmento Pasto Novo quanto do Bionativa, o estoque de raízes no horizonte hemiorgânico A₁ corresponde à cerca de 70% do estoque total de raízes no perfil húmico. Por outro lado, nas trilhas dos fragmentos o estoque de raízes no horizonte A₁ corresponde a 99% do estoque total de raízes. Isso significa que no caso das áreas de mata 30% do estoque de raízes encontra-se nas camadas orgânicas mais superficiais, indicando um funcionamento superficial da ciclagem de nutrientes. No entanto, o mesmo não pode ser dito a respeito das trilhas uma vez que o horizonte de interface A_i parece estar consideravelmente perturbado.

Com relação à comparação entre as situações internas a cada fragmento pode se verificar que para o fragmento Pasto Novo as diferenças são mais marcantes do que as observadas para o fragmento Bionativa. No primeiro, as áreas de mata apresentam valores significativamente muito superiores às trilhas em todos os horizontes (exceto para o horizonte A₁ no período invernal). O estoque total médio estimado para as trilhas nesse fragmento representa cerca de 25% do estoque total médio estimado para as áreas de mata. Em contrapartida, para o fragmento Bionativa foi estimado um estoque total médio de raízes para as trilhas correspondente a 45% do estimado para as áreas de mata. Essa menor diferença entre as situações é decorrente, provavelmente, da ausência de diferenças significativas no estoque de raízes do horizonte A₁, local de maior acúmulo de raízes no perfil húmico.

Tabela 6.22. Biomassa de raízes finas (g m⁻²) nas camadas holorgânicas e hemiorgânicas nas áreas de mata e trilhas dos fragmentos. Média (erro padrão); t: Teste t de Student entre o verão (v) e o inverno (i). o: $\alpha > 0,05$; *: $0,05 > \alpha > 0,01$; **: $0,01 > \alpha > 0,001$; ***: $\alpha < 0,001$. M x T: comparação entre as duas situações.

| | Pasto Novo | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|-----------------|---|----------------|----------------|---|----------|----------|
| | Mata | | | Trilha | | | M x T | |
| | v (n=6) | i (n=6) | t | v (n=6) | i (n=6) | t | verão | inverno |
| F₂ | – | 24,0 (8,5) | – | – | – | – | – | – |
| A_i | 35,8 (9,9) | 51,5 (16,0) | o | 0,2 (0,1) | 0,4 (0,2) | o | p< 0,001 | p< 0,001 |
| A₁ | 128,8 (14,1) | 185,0 (39,1) | o | 31,4 (14,3) | 88,3 (20,2) | * | p= 0,001 | NS |
| Total | 164,6 (19,7) | 260,5 (47,9) | o | 31,6 (14,4) | 88,7 (20,2) | * | p< 0,001 | p= 0,01 |
| | Bionativa | | | | | | | |
| | Mata | | | Trilha | | | M x T | |
| | v (n=6) | i (n=6) | t | v (n=6) | i (n=6) | t | verão | inverno |
| A_i | 38,7 (15,9) | 28,4 (8,1) | o | 0,4 (0,1) | 0,7 (0,3) | o | p= 0,005 | p= 0,001 |
| A₁ | 107,0 (21,8) | 121,4 (27,1) | o | 60,7 (15,0) | 65,8 (15,1) | o | NS | NS |
| Total | 145,7 (14,3) | 149,8 (27,4) | o | 61,1 (15,1) | 66,5 (15,4) | o | p= 0,003 | p= 0,02 |

7. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O conjunto dos resultados obtidos permite afirmar que a variabilidade das características da forma de húmus responde a padrões distintos nas duas escalas de análise consideradas: as modificações na estrutura e nas propriedades químicas de uma mesma forma de húmus são mais drásticas no interior dos fragmentos do que entre os fragmentos, o que evidencia o forte impacto da abertura de vias de passagem no funcionamento interno dos remanescentes.

7.1 Modificações nas características das formas de húmus entre os fragmentos

A estabilidade da forma de húmus da mata primária da REBIO Sooretama e da Reserva de Linhares

A forma de húmus que ocorre nestas duas reservas foi classificada por Garay *et al.* (2004) como mull mesotrófico tropical. Em um estudo comparativo, os autores verificaram que, apesar das diferenças observadas para o acúmulo de matéria orgânica nas camadas holorgânicas (4,0 t/ha para a Reserva de Linhares e 7,0 t/ha para a REBIO Sooretama), as características da forma de húmus de ambas as reservas são similares e estáveis.

Esse tipo de húmus se caracteriza por um pequeno acúmulo de matéria orgânica nas camadas holorgânicas, ausência da camada H, presença de agregados organo-minerais nos horizontes hemiorgânicos, concentrações de carbono, nitrogênio e nutrientes no horizonte A_i entre quatro e cinco vezes superiores às do horizonte A_1 (média de 3,1% de C no A_i e de 0,7% no A_1 ; média de 8,7cmolc/Kg de Ca^{2+} no A_i e 2,0cmolc/Kg no A_1) e baixa relação C/N, em torno de 11.

O processo de decomposição da matéria orgânica e a reciclagem de nutrientes apresentam um funcionamento superficial de maneira que as raízes finas se concentram no topo do solo. A velocidade de decomposição da matéria orgânica é rápida (aproximadamente 1 ano). Louzada *et al.* (1997) estimaram para a Reserva de Linhares um aporte orgânico da ordem de 7,0 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e o acúmulo de matéria orgânica estimado na camada L é de 1,0 t/ha, em média (Garay *et al.*, 2004). Isso indica uma rápida transformação das folhas de uma camada a outra. Porém, esses autores supõem que a velocidade de decomposição é um pouco mais lenta na REBIO Sooretama do que na Reserva de Linhares, já que observam-se um maior acúmulo de matéria orgânica nas camadas holorgânicas e a presença da camada F_2 de acumulação no perfil húmico. Como o tipo de solo é o mesmo (Argissolo Amarelo; Santos *et al.* (2004)) e a concentração de nitrogênio das folhas da camada L é semelhante, com média de 1,8%, segundo Kindel & Garay (2002), a velocidade de decomposição um pouco mais lenta na REBIO pode ser explicada talvez pelo maior afastamento da

linha de costa e a maior espessura dos depósitos sedimentares , com conseqüente aprofundamento do lençol freático (Garay, com. pess.).

Kindel (2001) e Castro Jr. (2002) estudaram a forma de húmus da REBIO no ano de 1998. A comparação desses resultados com os obtidos no presente estudo evidencia estoques médios de matéria orgânica relativamente semelhantes: 6,7 t/ha para Kindel (2001) e Castro Jr. (2002) e 4,6t/ha para o presente estudo (figura 7.1). Esta semelhança é válida principalmente para o verão, pois no inverno observa-se um maior acúmulo de matéria orgânica nos trabalhos dos dois autores do que no presente estudo.

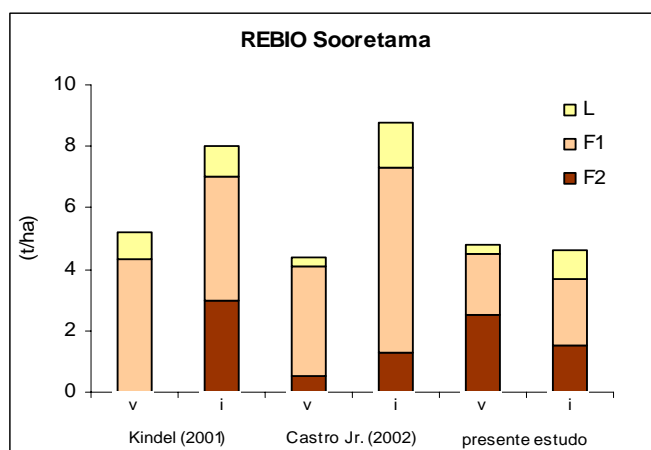


Figura 7.1. Estoque de matéria orgânica e estrutura das camadas holorgânicas na REBIO Sooretama. v: verão; i: inverno.

Como a qualidade das folhas, expressa pela razão C/N da camada L, é da mesma ordem de grandeza nos três estudos (entre 24 e 27), as diferenças observadas no inverno podem ser explicadas pelas diferenças registradas nos índices pluviométricos do ano de 1998. Além disso, Louzada *et al.* (1997) demonstraram que os aportes foliares estão submetidos a forte variabilidade interanual relacionada à precipitação, de forma que suas quantidades podem praticamente dobrar como resposta a seca. Em particular, os quatro meses que antecederam a coleta relativa ao inverno de 1998 foram extremamente secos: 70mm *versus* 254mm para o ano 2000. Kindel (2001) e Castro Jr. (2002) atribuíram o elevado acúmulo de matéria orgânica no inverno à ocorrência dessa forte estiagem. Para os quatro meses que antecederam a coleta do verão foram registrados índices pluviométricos semelhantes nos dois anos.

Apesar das diferenças observadas nos estoques de matéria orgânica das camadas holorgânicas, as características estruturais e as propriedades químicas dos horizontes A_i e A₁ são similares entre os resultados obtidos por Kindel (2001) e o presente estudo, o que sugere uma certa estabilidade desses parâmetros.

Quanto à estrutura dos horizontes hemiórgânicos, verifica-se que o horizonte de interface A_i encontra-se bem estruturado na REBIO, apresentando uma estabilidade temporal dos parâmetros estruturais e uma porcentagem de agregados entre 5 e 15 % em ambos os estudos. Esses agregados são mais argilosos e mantêm maiores conteúdos de carbono, nitrogênio e nutrientes do que a matriz arenosa na qual estão imersos, indicando a importância deles como uma fração que concentra e estoca nutrientes com maior estabilidade que a fração fina. Os dados de granulometria do presente estudo estão condizentes com o tipo de solo predominante da região, o Argissolo Amarelo.

Quanto às propriedades químicas, os resultados obtidos por Kindel (2001) e pelo presente estudo evidenciam que o horizonte A_i é nitidamente mais orgânico e mais rico em nutrientes do que o horizonte A_1 , com valores entre quatro e cinco vezes superiores (figura 7.2), confirmando os resultados de Garay *et al.* (1995) referentes a este tipo de húmus florestal. As estimativas do conteúdo de carbono, nitrogênio e bases trocáveis são da mesma ordem de grandeza nos dois trabalhos. Os valores um pouco superiores para a concentração de C no horizonte A_i obtidos por Kindel (2001) podem estar relacionados com o maior estoque de matéria orgânica nas camadas holórgânicas no período invernal. Como demonstrado no presente estudo, a significativa correlação existente entre essas duas variáveis (figura 5.7) reforça esta constatação. A relação C/N do horizonte A_i é de 11, indicando a presença de uma matéria orgânica evoluída e uma rápida velocidade de decomposição, própria de um mull. As porcentagens de saturação em bases podem ser consideradas médias nos dois trabalhos, pois se situam entre 50 e 70% em ambos os horizontes (figura 7.2).

Em suma, o conjunto desses resultados permite afirmar que as características do húmus tipo mull mesotrófico tropical da mata primária da REBIO Sooretama são semelhantes e relativamente estáveis nos estudos ora confrontados. A presença das camadas L, F_1 e F_2 e um acúmulo da camada L que representa cerca de 10% do estoque total de folhiço evidencia uma rápida velocidade de transformação das folhas de uma camada a outra. Os conteúdos de carbono e nutrientes significativamente superiores no horizonte A_i , acompanhado de uma considerável biomassa de raízes finas superficiais (da ordem de 200g/m^2) indicam um funcionamento superficial do subsistema de decomposição e da reciclagem de nutrientes. Todas essas características são observadas nestes estudos e em resultados precedentes (Garay *et al.*, 2004). A estabilidade funcional das formas de húmus em ecossistemas primários e não interferidos foi constatada por outros autores e é a justificativa pela qual a forma de húmus pode servir como indicador do funcionamento dos ecossistemas (Garay & Kindel, 2001; Kindel & Garay, 2002; Ponge *et al.*, 2002; Ponge, 2003).

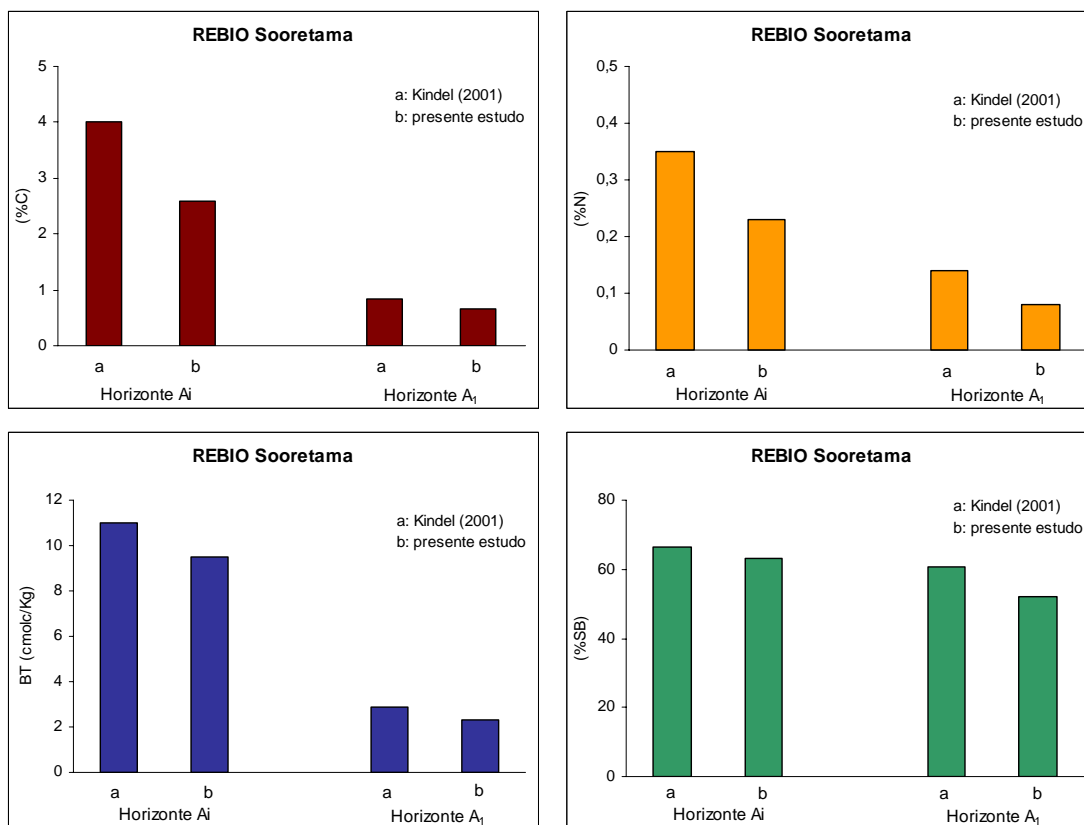


Figura 7.2. Conteúdo de carbono, nitrogênio, bases trocáveis e porcentagem de saturação em bases na fração fina dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 na REBIO Sooretama. Valores médios entre verão e inverno tanto para Kindel (2001) quanto para o presente estudo.

As características da forma de húmus nos fragmentos Pasto Novo e Bionativa

Considerando que o tipo de húmus (mull mesotrófico tropical; segundo Kindel & Garay, 2002) e a classe de solo (Argissolo Amarelo distrófico; ver Santos *et al.* 2004) são as mesmas na REBIO e nos dois fragmentos, as diferenças verificadas nas características da forma de húmus de cada fragmento poderiam ser explicadas pelas características da comunidade arbórea em cada sítio. As alterações da comunidade arbórea, que refletem os efeitos da intensidade da extração de madeira nos fragmentos, diferenciam significativamente o fragmento Bionativa dos demais sítios. Neste fragmento, Agarez *et al.* (2004) estimaram uma menor diversidade arbórea, menor densidade de Leguminosae e Myrtaceae e menor área basal média, o que levou sua inclusão no grupo dos fragmentos com média diversidade. As características da forma de húmus desse fragmento, que sofreram as modificações mais consideráveis estimadas no presente estudo, estão de acordo com os resultados de Agarez *et al.* (2004). Seguindo este mesmo critério, o dendograma de similaridade florística entre os fragmentos florestais estudados mostra que o fragmento Pasto Novo se aproxima relativamente das características levantadas na REBIO, sendo ele integrante do grupo dos

fragmentos com alta diversidade (Agarez *et al.*, 2004). Neste caso, o mesmo pode ser evidenciado pelas características da forma de húmus deste fragmento, que não sofreram modificações tão evidentes se comparado à REBIO, como o fragmento Bionativa.

As modificações evidenciadas no húmus mull mesotrófico tropical dos fragmentos se referem ao menor acúmulo de matéria orgânica nas camadas holorgânicas, notadamente no caso do fragmento Bionativa, e à diferenças na estrutura e nas propriedades químicas do horizonte A_i , que aparenta estar perturbado nos dois fragmentos.

Em relação ao fragmento Pasto Novo, o húmus se caracteriza por um pequeno acúmulo de matéria orgânica nas camadas holorgânicas (média de 4,4 t/ha), ausência da camada H, presença de agregados orgâno-minerais nos horizontes hemiorgânicos, concentração de carbono, nitrogênio e nutrientes no horizonte A_i entre duas e três vezes superiores à do horizonte A_1 (média de 4,5% de C no A_i e de 2,0% no A_1 ; média de 4,1cmolc/Kg de Ca^{2+} no A_i e 2,0cmolc/Kg no A_1) e relação C/N de 13.

Comparado à REBIO, os estoques totais de matéria orgânica são da mesma ordem de grandeza. Porém, foram observadas diferenças na estrutura das camadas holorgânicas, o que indica um funcionamento distinto em Pasto Novo. Observa-se no verão a presença das camadas L e F_1 , sendo o acúmulo na camada de folhas fragmentadas significativamente superior ao estimado para a REBIO. Por outro lado, no inverno observa-se uma redução significativa no estoque da camada F_1 em detrimento da formação de um perfil húmico com a presença da camada F_2 (tabela 5.1 e figura 7.3). Essa diferença na estrutura das camadas holorgânicas entre as estações supõe uma velocidade mais lenta de transformação das folhas de uma camada a outra, apesar da qualidade das folhas serem semelhantes entre Pasto Novo e REBIO.

Nossos resultados sugerem que o processo de decomposição da matéria orgânica e a reciclagem de nutrientes no fragmento Pasto Novo também apresentam funcionamento superficial, acompanhado por uma considerável biomassa de raízes finas no topo do solo (média de 210g/m²). No entanto, os valores superiores dos conteúdos de carbono e nitrogênio no horizonte A_i e principalmente no horizonte A_1 em relação à REBIO, podem ser interpretados como a consequência de um bloqueio do processo de decomposição. A menor concentração de bases trocáveis nos horizontes hemiorgânicos do fragmento revela um oligotrofismo associado a concentrações baixas de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis. Isto se traduz em valores baixos de porcentagem de saturação em bases (<50%), o que sugere uma lixiviação de nutrientes no horizonte A_i .

As características particulares do horizonte de interface A_i , expressas na alta variabilidade sazonal dos parâmetros estruturais, reforçam a hipótese de perturbação do funcionamento do processo de decomposição no fragmento. No horizonte A_i os estoques de C, N e Ca^{2+} são superiores

na REBIO. No caso do C e do N isto ocorre porque, mesmo o solo da REBIO apresentando menores concentrações de carbono e nitrogênio, a maior espessura e a melhor estrutura do horizonte de interface A_i se acompanham de um maior estoque desses elementos. No caso do Ca^{2+} , a escassez desse elemento no solo do fragmento Pasto Novo, aliada a desestruturação do horizonte de interface faz com que os estoques de Ca^{2+} sejam significativamente inferiores nesse sítio.

Por outro lado, para o horizonte A_1 os estoques de C e N são inferiores no solo da REBIO, mas os estoques de Ca^{2+} continuam sendo superiores. Como o peso seco médio do horizonte A_1 coletado é semelhante nos dois sítios e, como no solo do fragmento o carbono orgânico e o nitrogênio parecem se acumular no horizonte mais profundo devido provavelmente a alterações no processo de decomposição, observa-se um estoque significativamente superior desses elementos no solo do fragmento. No entanto, esses elementos parecem estar imobilizados no perfil.

Com relação à comparação dos resultados obtidos por Kindel (2001) e Castro Jr. (2002) com o presente estudo observam-se também resultados concordantes (figura 7.3): foram estimados para Pasto Novo estoques totais de matéria orgânica da mesma ordem de grandeza dos estimados para a REBIO.

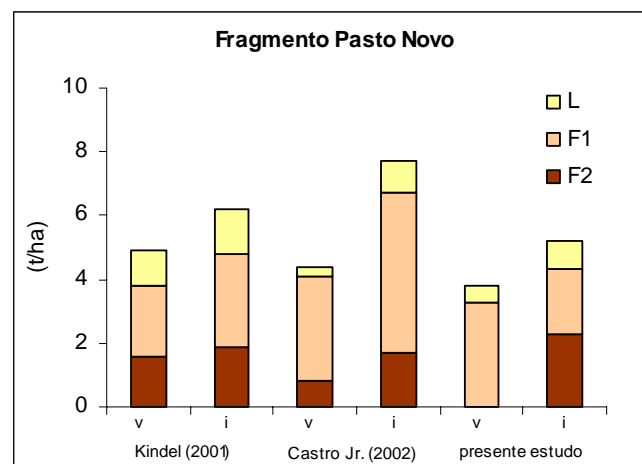


Figura 7.3. Estoque de matéria orgânica e estrutura das camadas holorgânicas no fragmento Pasto Novo. v: verão; i: inverno.

Além disso, as estimativas de porcentagem de agregados no solo desse fragmento foram semelhantes às do trabalho de Kindel (2001) (entre 20 e 30%). O conjunto de resultados sugerem que no solo da REBIO, o papel dos agregados é mais eficiente na retenção dos nutrientes que no fragmento: eles são mais ricos em carbono e nutrientes.

Quanto às características químicas, entretanto, as semelhanças entre os resultados de Kindel (2001) e o presente estudo não são tão evidentes quanto as observadas para os resultados

correspondentes à REBIO (figura 7.4). Verifica-se, por exemplo, uma maior concentração de bases trocáveis nas estimativas de Kindel (2001). No presente estudo, a porcentagem de saturação em bases pode ser considerada baixa para ambos os horizontes (<50%), enquanto que para Kindel (2001), este valor pode ser considerado médio para o horizonte A_i (entre 50 e 70%).

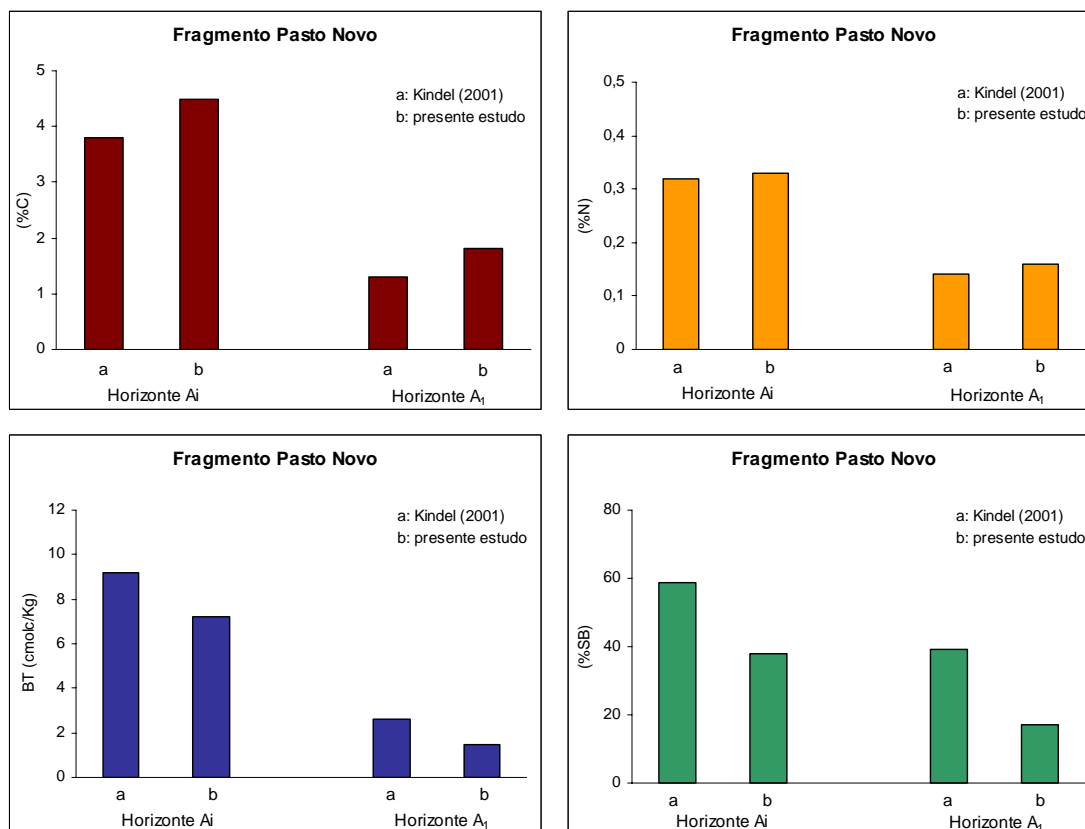


Figura 7.4. Conteúdo de carbono, nitrogênio, bases trocáveis e porcentagem de saturação em bases na fração fina dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_{i1} do fragmento Pasto Novo. Valores médios entre verão e inverno tanto para Kindel (2001) quanto para o presente estudo.

Quando Kindel (2001) compara as características químicas do solo da REBIO com as do fragmento Pasto Novo não encontra diferenças significativas, enquanto que no presente estudo alguns parâmetros foram significativamente diferentes. Essas constatações gerais permitem levantar a hipótese seja de uma forte variabilidade interanual, seja de uma variabilidade interna significativa, apesar da aparente homogeneidade visual das áreas internas menos impactadas.

Em relação ao fragmento Bionativa, o húmus se caracteriza por um acúmulo muito pequeno de matéria orgânica nas camadas holorgânicas (média de 2,0 t/ha), ausência das camadas F_2 e H, presença de agregados orgâno-minerais nos horizontes hemiórgânicos, concentração de carbono, nitrogênio e nutrientes no horizonte A_i somente duas vezes superior à do horizonte A_{i1} (média de

2,4% de C no A_i e de 1,3% no A_1 ; média de 3,5cmolc/Kg de Ca^{2+} no A_i e 1,2cmolc/Kg no A_1) e relação C/N de 12.

Nesse fragmento, os estoques totais de matéria orgânica nas camadas holorgânicas representam entre um terço e metade do estimado para a REBIO. Apesar de se verificar padrões semelhantes entre as estações, com presença das camadas L e F_1 , os estoques significativamente inferiores em relação à REBIO podem ser devido a uma rápida velocidade de decomposição ou mais provavelmente a uma queda menor de folhas nesse fragmento. A significativa redução da área basal média da comunidade arbórea desse fragmento em comparação com a REBIO reforça esta última hipótese. Outras evidências que também apóiam esta hipótese são as menores concentrações de nitrogênio das folhas da camada L e os maiores valores da relação C/N dessa camada. Neste aspecto, Garay & Rizinni (2004) demonstraram que existe uma relação entre a menor quantidade de aporte foliar e o grau de esclerofilia maior da comunidade arbórea em uma mata ciliar comparada com a Mata Alta da Reserva de Linhares.

O processo de decomposição da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes no fragmento Bionativa também se caracteriza por um funcionamento superficial. No entanto, a biomassa de raízes finas superficiais nesse fragmento se diferencia da REBIO pelos valores significativamente inferiores (média de 140g/m²). Outras três características evidenciam alterações no processo de decomposição e reciclagem de nutrientes no fragmento Bionativa: a pequena diferenciação entre os horizontes A_i e A_1 para os conteúdos de carbono e nitrogênio, o acúmulo desses dois elementos no horizonte mais profundo e baixas concentrações de Ca^{2+} no horizonte de interface.

Este conjunto de características conduzem a considerar que existe desestruturação do horizonte A_i . Os resultados sugerem que esta desestruturação leva ao bloqueio do carbono e do nitrogênio no horizonte mais profundo e à lixiviação dos nutrientes. As quantidades de agregados e de material fino do horizonte de interface sofrem variação altamente significativa, de maneira que os valores estimados para o inverno são três vezes inferiores aos estimados para o verão. No período invernal, os estoques de todos os elementos no horizonte A_i são significativamente inferiores em Bionativa, com valores de duas a cinco vezes menores em relação à REBIO. Quanto ao horizonte A_1 , em decorrência do acúmulo de C e N, os estoques desses elementos são significativamente superiores no fragmento.

Kindel (2001) e Castro Jr. (2002) não estudaram a forma de húmus do fragmento Bionativa, no entanto, eles estudaram um fragmento denominado São Pedro. A forma de húmus deste fragmento pode ser confrontada com a do fragmento Bionativa, pois eles apresentam um histórico de retirada mais intensa de madeira e foram incluídos por Agarez *et al.* (2004) no grupo dos fragmentos com média diversidade.

A comparação entre esses fragmentos revela padrões contrastantes (figura 7.5). Observam-se diferenças consideráveis nos estoques de matéria orgânica e na estrutura das camadas holorgânicas entre os dois fragmentos. O que pode se constatar de comum entre esses fragmentos é que o maior grau de perturbação deles causou provavelmente uma alteração nos processos de decomposição que os diferenciaram muito do funcionamento do húmus da REBIO.

Kindel (2001) e Castro Jr. (2002) não observaram um padrão regular nos estoques de matéria orgânica no fragmento São Pedro, de forma que foi estimado ora um estoque inferior, com a presença da camada F₂ em apenas 3 das 12 amostras coletadas, ora um estoque muito superior ao estimado para a REBIO. Isso evidencia uma heterogeneidade da velocidade de decomposição da matéria orgânica, mas que não pode ser explicada pela qualidade das folhas, pois o conteúdo médio de nitrogênio da folhas da camada L é similar entre os dois sítios.

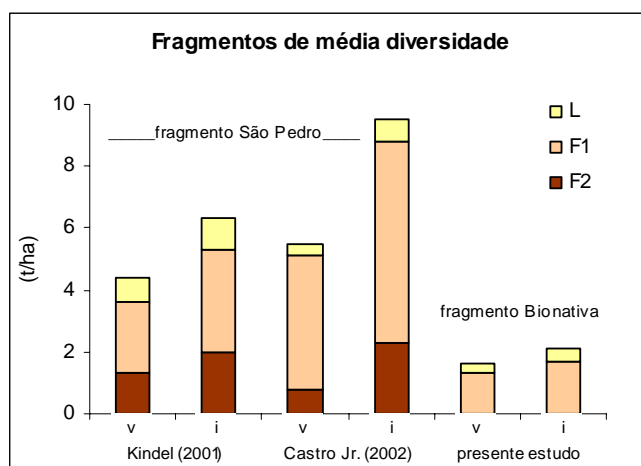


Figura 7.5. Estoque de matéria orgânica e estrutura das camadas holorgânicas no fragmento São Pedro e no fragmento Bionativa. v: verão; i: inverno.

Quanto às características químicas do solo do fragmento São Pedro estimadas por Kindel (2001) e as do fragmento Bionativa estimadas pelo presente estudo, a comparação revela novamente resultados muito contrastantes (figura 7.6). Pode se levantar, então, a hipótese da existência de um ponto limite de perturbação que a partir daí não é mais possível se observar um padrão de funcionamento para este grupo de fragmentos. As concentrações dos parâmetros edáficos são consideravelmente superiores no fragmento São Pedro.

Kindel (2001), ao comparar os resultados do fragmento São Pedro com os obtidos para a REBIO, considera que as altas concentrações de nutrientes no solo do fragmento são indicadores de intervenção que evidenciam alterações no processo de decomposição nos sistemas perturbados.

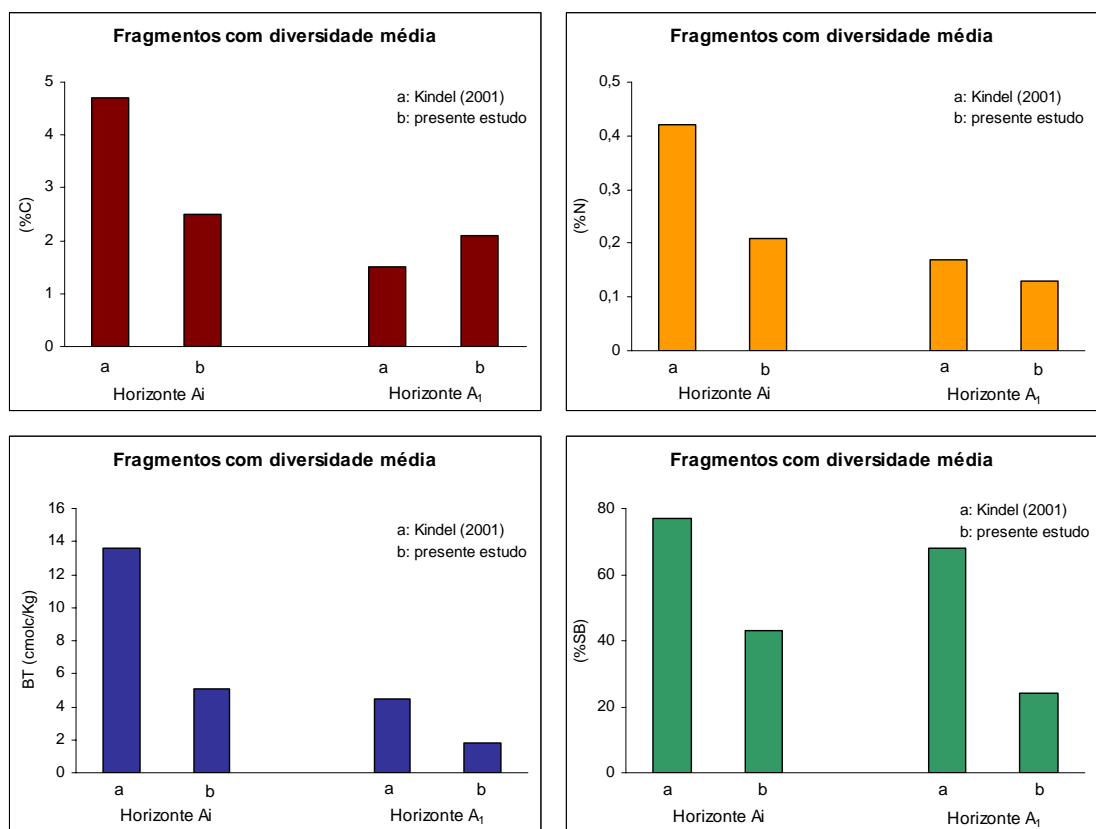


Figura 7.6. Conteúdo de carbono, nitrogênio, bases trocáveis e porcentagem de saturação em bases na fração fina dos horizontes hemiórgânicos A_i e A_1 do fragmento São Pedro e Bionativa. Valores médios entre verão e inverno tanto para Kindel (2001) quanto para o presente estudo.

Por outro lado, comparado à REBIO, o solo do fragmento Bionativa apresenta valores significativamente inferiores de concentração de bases trocáveis, o que se reflete em valores baixos de porcentagem de saturação em bases. Esses resultados podem também ser interpretados como um indicador de perturbação. Além disso, a pequena diferenciação entre os horizontes A_i e A_1 para os conteúdos de carbono e nitrogênio, indicando uma desestruturação do topo do solo no fragmento, também sugerem uma importante alteração resultante do impacto antrópico. Ou seja, o horizonte de interface A_i , que funciona como um reservatório de nutrientes em solos florestais (Kindel & Garay, 2002), encontra-se nitidamente perturbado no fragmento Bionativa.

Considerando todos os sítios, a análise das concentrações e dos estoques dos elementos nos horizontes A_i e A_1 reforça a hipótese de uma desestruturação mais ou menos importante do horizonte de interface nos fragmentos. Esta desestruturação pode então tanto aumentar a lixiviação das bases de troca do horizonte A_i , quanto diminuir o *turn-over* de matéria orgânica que se acumula junto com o nitrogênio orgânico no horizonte A_1 . Essa diminuição do *turn-over* de matéria orgânica

nos fragmentos se reflete nos valores da relação C/N, superiores com respeito a REBIO. Observa-se então uma menor velocidade de decomposição nos fragmentos, principalmente no fragmento Pasto Novo. Esta interpretação é apoiada pelo maior teor de carbono orgânico e maior estoque de matéria orgânica nas camadas holorgânicas nesse fragmento. No horizonte A₁, este comportamento se acentua. Em suma, nos fragmentos observa-se tanto uma maior concentração de carbono, nitrogênio, CTC e C/N em ambos os horizontes quanto uma pequena diferenciação entre o horizonte superficial e o mais profundo.

Por outro lado, o Ca²⁺, nutriente mais importante na concentração das bases de troca (BT) e na determinação da porcentagem de saturação em bases (%SB), é marcado pelos menores valores principalmente no horizonte A_i dos fragmentos em ambas as estações. Comparativamente, isso indica que a reciclagem, refletida no processo de mineralização dos nutrientes, está ocorrendo de forma íntegra no horizonte de interface da REBIO. Entretanto, nos fragmentos os resultados observados sugerem uma redução da reciclagem de nutrientes ocasionada pela lixiviação dos nutrientes e por um certo bloqueio do processo de decomposição da matéria orgânica. Estas alterações, por sua vez, refletem uma desestruturação do horizonte de interface A_i e uma menor velocidade de decomposição.

Quanto à essa última observação, não se deve deixar de considerar a questão do estoque de galhos. A média do conjunto dos dados obtidos por Kindel (2001), Castro Jr. (2002) e o presente estudo evidencia que este é superior nos fragmentos com respeito à REBIO: 6,0 t/ha para o fragmento Pasto Novo, 5,8 t/ha para os fragmentos São Pedro e Bionativa conjuntamente, e 4,6 t/ha para a REBIO Sooretama. Isso indica que nas áreas perturbadas o estoque de galhos é um importante componente do aporte orgânico, o que pode, em parte, contribuir para a diminuição da velocidade de decomposição da matéria orgânica.

Ainda assim, parece ser que a sustentabilidade destes fragmentos florestais não está completamente comprometida, apesar de uma certa alteração da integridade funcional à causa das atividades de extração de madeira.

7.2 Modificações nas características das formas de húmus no interior dos fragmentos

Os resultados referentes à análise no interior dos fragmentos evidenciam que as vias de passagem abertas devido às atividades extrativistas provocam alterações significativas nas características das formas de húmus. Os fragmentos possuem uma heterogeneidade espacial interna que não é apenas função dos efeitos de borda, mas também das diversas pressões a que estão submetidos no seu interior. De acordo com nossos resultados, pode-se afirmar que a abertura de trilhas ocasiona forte impacto sobre a integridade funcional dos fragmentos.

Alterações observadas no interior do fragmento Pasto Novo

As características da forma de húmus das trilhas do fragmento Pasto Novo apresentam-se fortemente alteradas: verifica-se significativa redução do acúmulo de matéria orgânica nas camadas holorgânicas (média de 0,6 t/ha; sete vezes inferior às áreas de mata), pequena quantidade de agregados no horizonte A_i , concentrações de carbono, nitrogênio e nutrientes no horizonte A_i no máximo duas vezes superiores à do horizonte A_1 (média de 2,1% de C no A_i e de 1,3% no A_1 ; média de 2,2cmolc/Kg de Ca^{2+} no A_i e 1,0cmolc/Kg no A_1) e relação C/N de 12.

A significativa redução no estoque de matéria orgânica pode, por um lado, ser considerada uma consequência de um menor aporte foliar, uma vez que a camada L apresenta valores muito baixos apesar da qualidade das folhas serem similares entre os sítios e, por outro, resultado do efeito do pisoteio excessivo proveniente das frequentes visitas.

Várias características sugerem que o funcionamento superficial do processo de decomposição da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes está comprometido nas trilhas: a expressiva desestruturação do horizonte de interface, que se apresenta pouco espesso e com pouca quantidade de agregados; a pequena diferenciação nas propriedades químicas entre o horizonte A_i e o A_1 , marcada por um acúmulo de carbono e nitrogênio no horizonte mais profundo; a quase ausência de raízes finas no horizonte A_i e; uma densidade aparente do horizonte A_1 significativamente superior, resultante, em princípio, da compactação pelo pisoteio.

Em relação às características químicas, as diferenças mais importantes entre as áreas de mata e as trilhas referem-se ao horizonte A_i . As concentrações das bases trocáveis na fração fina são significativamente muito inferiores nas trilhas, o que indicaria uma intensa lixiviação de nutrientes. Os agregados do horizonte A_i das áreas de mata são mais ricos em carbono e nitrogênio do que os agregados das trilhas, o que pode comprometer a retenção de nutrientes. No horizonte A_1 , não se verificam diferenças consideráveis entre as áreas de mata e as trilhas.

A perturbação do horizonte A_i concerne principalmente aos estoques dos elementos. Nas trilhas, os estoques na fração fina desse horizonte representam de 10 a 20% dos estoques nas áreas de mata. Na fração agregada, os estoques nas trilhas são 10 vezes inferiores aos das áreas de mata. De fato, esses resultados são bons indicadores do grau de perturbação do horizonte de interface, pois revelam as quantidades quase desprezíveis de carbono, nitrogênio e nutrientes estocados no topo do solo das trilhas.

Alterações observadas no interior do fragmento Bionativa

As características da forma de húmus das trilhas do fragmento Bionativa apresentam-se modificadas em relação às áreas de mata, porém em menor grau do que as alterações observadas no fragmento Pasto Novo. Verifica-se, para as trilhas, significativa redução do acúmulo de matéria orgânica nas camadas holorgânicas (média de 0,8 t/ha; três vezes inferior às áreas de mata), pequena quantidade de agregados no horizonte A_i , concentrações de carbono, nitrogênio e nutrientes no horizonte A_i cerca de uma vez e meia superiores à do horizonte A_1 (média de 2,1% de C no A_i e de 1,3% no A_1 ; média de 2,2cmolc/Kg de Ca^{2+} no A_i e 1,0cmolc/Kg no A_1) e relação C/N de 13.

A significativa redução no estoque de matéria orgânica também pode ser consequência do excessivo pisoteio nessas áreas. Porém, uma constatação interessante é que nas trilhas, a camada L contribui com 50% do estoque total de matéria orgânica, o que corresponde a não mais que 20g de folhas m^{-2} . Isso evidencia um aporte mínimo nestes sítios, fazendo com que o solo se encontre exposto em vários pontos ao longo das trilhas. A redução altamente significativa nas densidades da mesofauna que participa ativamente da rede trófica de decompositores mostra igualmente a forte alteração do subsistema de decomposição (Noronha *et al.*, 2006).

A estrutura do horizonte A_i das trilhas também é significativamente diferente da estrutura do horizonte de interface das áreas de mata. Porém, nesse fragmento a diferença mais importante se refere à quantidade de agregados, inferiores nas trilhas. Assim como no fragmento Pasto Novo, essa desestruturação é acompanhada de uma quase ausência de raízes finas no horizonte A_i e de uma pequena diferenciação nas concentrações de carbono e nitrogênio entre esse horizonte e o horizonte A_1 . Isso sugere uma alteração no funcionamento superficial da dinâmica de decomposição da matéria orgânica.

No entanto, para o fragmento Bionativa não foram constatadas diferenças tão importantes entre as áreas de mata e as trilhas para as propriedades químicas, seja do horizonte A_i ou do A_1 . Apenas os conteúdos significativamente inferiores de Na^+ e K^+ no horizonte A_i das trilhas indicam uma lixiviação mais intensa desses nutrientes.

Como a estrutura do horizonte A_1 apresenta grande variabilidade sazonal tanto nas áreas de mata como nas trilhas, indicando sua considerável desestruturação, as diferenças observadas nos estoques dos elementos na fração fina foram, em geral, da ordem do dobro. Para a fração agregada desse horizonte, as diferenças foram um pouco maiores: de três a quatro vezes superiores nas áreas de mata. No entanto, em todos os casos os valores estimados para o fragmento Bionativa são muito baixos se comparado à REBIO ou até mesmo ao fragmento Pasto Novo. Na realidade, o fragmento Bionativa se encontra mais perturbado como um todo, de forma que o subsistema de decomposição sofreu alterações gerais no seu funcionamento.

Em suma, as diferenças observadas entre áreas de mata e trilhas são mais marcantes no fragmento Pasto Novo. No interior deste fragmento a heterogeneidade espacial das características da forma de húmus é muito acentuada, o que indica uma forte alteração no funcionamento do processo de decomposição nas trilhas. O impacto provocado pelas atividades pontuais de arrastão para extração de madeira de grande porte parece ter conduzido o processo de decomposição da matéria orgânica a um outro estado de funcionamento. Isto é, para as áreas de mata do fragmento Pasto Novo observa-se uma dinâmica relativamente próxima a das áreas de floresta da REBIO, enquanto que para as trilhas do fragmento Pasto Novo verificam-se modificações altamente significativas em relação às áreas de mata. Sugere-se, portanto, que a intensidade e a forma de uso desse fragmento afetaram sobremaneira as trilhas, mas mantiveram as áreas de mata relativamente bem conservadas.

Por outro lado, para Bionativa verifica-se um menor grau de heterogeneidade interna no fragmento pelo fato das características da forma de húmus das áreas de mata não se diferenciarem com tanta importância das observadas para as trilhas. Além disso, quando se comparam as características da forma de húmus das áreas de floresta da REBIO com as das áreas de mata do fragmento Bionativa constatam-se diferenças significativas. Supõe-se, portanto, que o impacto da atividade mais intensa de extração de madeira tenha causado uma maior perturbação do fragmento como um todo. Outro fator que pode estar contribuindo para esta maior perturbação é o fato do fragmento Bionativa estar situado numa zona de fronteira da periferia urbana do Município de Sooretama. Foram registrados indícios de freqüente visitação de pessoas e realização de rituais religiosos no interior desse fragmento.

De maneira geral, as inúmeras trilhas que cortam os fragmentos representam verdadeiras vias de efeito de borda no interior dos fragmentos, ampliando as alterações observadas para as suas áreas adjacentes. No interior desses dois fragmentos foram delimitadas também parcelas de estudo a

40m das trilhas, em áreas denominadas “bordas de trilhas”. Os resultados das características da forma de húmus referentes a essas áreas de bordas de trilhas ainda se encontram em tratamento. No entanto, pode se afirmar, em uma primeira aproximação, que os sítios próximos às trilhas podem apresentar um grau de impacto importante, por vezes, similares às próprias trilhas.

A constatação de que as trilhas e as bordas das trilhas constituem áreas fortemente alteradas no que diz respeito aos processos de decomposição da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes revela a necessidade de se realizar a quantificação da importância relativa das trilhas para o fragmento como um todo. Isto é, saber o quanto as trilhas e as bordas de trilhas representam em área dentro do fragmento e a proporção delas em relação às áreas de mata do fragmento. Dessa forma, se terá mais uma informação importante para a elaboração de planos de manejo adequados que visem tanto a sustentabilidade funcional interna dos fragmentos como a conservação da biodiversidade nos remanescentes de Floresta Atlântica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. F. 1943. Feições morfológicas e demográficas do litoral do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Geografia*, (27): 215-237.
- AGAREZ, F. V. 2002. Contribuição para a gestão de fragmentos florestais com vista à conservação da biodiversidade em Floresta Atlântica de Tabuleiros. Rio de Janeiro; Tese de Doutorado do PPGG / UFRJ, 237p.
- AGAREZ, F. V., GARAY, I. & VICENS, R. S. 2004. A floresta em pé: heterogeneidade de fragmentos e conservação. In: GARAY, I. & RIZZINI, C. M. (orgs.). *A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea*. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro. p. 27-34.
- AGUIRRE, A. 1951. Sooretama: Estudo sobre o parque de reserva, refúgio e criação de animais silvestres, Sooretama, no Município de Linhares, Estado de Espírito Santo. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola do Ministério da Agricultura, 50p.
- AMADOR, E. S. 1982. Depósitos relacionados à unidade inferior do Grupo Barreiras no Estado do Espírito Santo. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*. Salvador, Bahia. Anais do Congresso, v (4): 01-61.
- AMADOR, E. S. & DIAS, G. T. M. 1978. Considerações Preliminares sobre depósitos do terciário superior do norte do Espírito Santo. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v (50): 121-132.
- BABEL, U. 1975. Micromorphology of soil organic matter. In: *Soil components. Vol. II Organic Components*. Gieseking, J. E. (Ed.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, p. 369-473.
- BERTHELIN, J. LEYVAL, C. & TOUTAIN, F. 1994. Biologie des sols: rôle des organismes dans l'alteration et l'humification. In: *Pédologie 2. Constituans et propriétés du sol*. BONNEAU, M. & SOUCHIER, B. (eds). Masson, Paris, Milan, Barcelona, p.143-211.
- BRETHES, A.; BRUN, J.J.; JABIOL, B.; PONGE, J. & TOUTAIN, F. 1995. Classification of forest humus forms: a French proposal. *Ann. Sci. For.*, (52): 535-546.
- CAMARGO, J. L. C. & KAPOS, V. 1995. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in Central Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, (11) : 205-221.
- CASTRO JÚNIOR, E. 2002. Valor Indicador da Fauna de Macroartrópodos Edáficos em Fragmentos Primários e Secundários do Ecossistema de Floresta Atlântica de Tabuleiros, ES. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado do PPGG / UFRJ. 285p.

- CHAPMAN, C. A. & CHAPMAN, L. J. 1995. Survival without dispersers: seedling recruitment under parents. *Conservation Biology* 9, p. 675-678.
- CONDIT, R., HUBBELL, S. P. & FOSTER, R. 1996. Changes in tree species abundance in a neotropical forest – impact of climate change. *Journal of Tropical Ecology* 12, p. 231-256.
- DALE, V. H, PEARSON, S. M., OFFERMAN, H. L., O'NEIL, R. V. 1994. Relating patterns of land use change to faunal biodiversity in Central Amazon. *Conservation Biology* 8, p. 1027-1036.
- DEAN, W. 1997. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira. São Paulo, Ed. Companhia das Letras, 380p.
- DIDHAM, R. K. 1998. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. *Oecologia*, (116): 397-406.
- DIDHAM, R. K. & LAWTON, J. H. 1999. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. *Biotropica* 31 (1): 17-30.
- DELECOUR, Ph. 1980. Essai de classification pratique des humus. *Pédologie*, (30): 225-241.
- DUCHAUFOUR, Ph. & TOUTAIN, F. 1985. Apport de la pédologie à l'étude des écosystèmes. *Bulletin d'Écologie*, (17): 1-19.
- EGLER, W. A. 1992. A zona pioneira ao norte do Espírito Santo. In: *Coletânea dos trabalhos de Walter A. Egler*. LISBOA, P. L. B., EGLER, C. A. G. & OVERLA, W. L. (orgs.). Coleção Adolpho Ducke, Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi. MCT/CNPq. 179p.
- EMBRAPA. 1997. *Manual de métodos de análise de solos*. EMBRAPA-CNPS, Rio de Janeiro, 255p.
- FAHRIG, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34, p. 487-515.
- FIGUEIRÓ, A. S. 2005. Mudanças ambientais na interface floresta-cidade e a propagação do efeito de borda no Maciço da Tijuca – Rio de Janeiro, RJ. Tese de Doutorado do PPG em Geografia – UFRJ.
- FONS, J. & KLINKA, K. Chemical and biotic properties and temporal variation of moder humus forms in the rain forest near Vancouver, British Columbia. *Geoderma*, 86, p. 83-98.
- FORMAN, R. T. T. 1995. *Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge. 632p.
- FORMAN, R. T. T. & GODRON, M. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York. 620p.

- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. *Atlas de evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados de Floresta Atlântica*. Disponível na Internet via <http://www.sosmataatlantica.org.br/atlas>. Arquivos consultados em 2006.
- GARAY, I. 2000. Biodiversidade e Fragmentação Florestal no Brasil. Relatório de atividades 1999/2000. Cooperação Internacional CNPq-CNRS (Brasil – França). Processo n° 910158/98 e Processo n° 910076/99-5.
- GARAY, I. 2001. Avaliação do status da biodiversidade ao nível do ecossistema. In: *Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. GARAY, I. & DIAS, B. (orgs.), Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, p. 399-411.
- GARAY, I. 2006. Construir as dimensões humanas da biodiversidade: um enfoque transdisciplinar para a conservação da floresta atlântica. In: GARAY, I. & BECKER, B. K. (orgs.), *Dimensões humanas da biodiversidade: o desafio de novas relações sociedade-natureza no século XXI*, Ed. Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, p. 413-445.
- GARAY, I. & NATAF, L. 1982. Microarthropods as indicators of human trampling in suburban forests. In: BORNKAMN, J. A., LEE, J. A. & SEAWARD, M. R. D. (eds.) *Urban Ecology*, Blackwell Scientific Publication, Oxford, p. 201-207.
- GARAY, I., NAZOA, S. & ABBADIE, L. 1986. Étude d'une litière forestière mixte à charme et à chêne. I. Décomposition de la matière organique et dynamique des éléments biogènes. *Acta Oecologica*, (7): 151-169.
- GARAY, I., KINDEL, A., JESUS, R.M. 1995a. Diversity of humus forms in the Atlantic Forest ecosystems (Brazil). The Table-land Atlantic Forest. *Acta Oecologica*. (16): 553-570.
- GARAY, I., KINDEL, A., CALLIPO, A., BARROS, M. E., JESUS, R. M. 1995b. Formas de húmus em ecossistemas de floresta costeira intertropical. I. A Mata Atlântica de Tabuleiros. In: *OEcologia Brasiliensis I. Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas*. ESTEVES, F. (ed.). UFRJ, Rio de Janeiro. p.1-18.
- GARAY, I. & SILVA, B.A.O. 1995c. Húmus florestais: síntese e diagnóstico das inter-relações vegetação/solo. In: *OEcologia Brasiliensis I. Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas*. ESTEVES, F. (ed.). UFRJ, Rio de Janeiro, p.19-46.
- GARAY, I. & KINDEL, A. 2001. Diversidade Funcional em Fragmentos de Floresta Atlântica: valor indicador das formas de húmus florestais. In: *Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. GARAY, I. & DIAS, B. (orgs.), Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, p. 350-368.
- GARAY, I. & RIZZINI, C. M. (orgs.). 2004. *A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea*. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro. 255p.

- GARAY, I., KINDEL, A., LOUZADA, M. A. P. & SANTOS, R. D. 2004. Diversidade funcional dos solos da Floresta Atlântica de Tabuleiros. In: GARAY, I. & RIZZINI, C. M. (orgs.). *A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea*. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro. p. 16-26.
- GOOSEM, M. 1997. Internal fragmentation: the effects of roads, highways and powerline clearings on movements and mortality of rainforest vertebrates. In: *Tropical Forest Remnants: ecology, managements and conservation of fragmented communities*. BIERREGAARD Jr, R. O. & LAURANCE, W. F. (Eds.). The University of Chicago Press, Chicago, p. 241-255.
- GREEN, R.N.; TROWBRIDGE, R.L. & KLINKA, K. 1993. Towards a taxonomic classification of humus forms. *For. Sci. Monogr.* (29): 1-48.
- HASKELL, D. G. 2000. Effects of forest roads on macroinvertebrate soil fauna of the southern Appalachian Mountains. *Conservation Biology*, 14, p. 57-63.
- IBDF-MMA. 1981. *Plano de Manejo da Reserva Biológica de Sooretama*. Brasília, 70p.
- JENERETTE, G. D., WU, J., GRIMM, N. B. & HOPE, D. 2006. Points, patches and regions: scaling soil biogeochemical patterns in an urbanized arid ecosystem. *Global Change Biology*, 12, p. 1532-1544.
- JESUS, R. M. 1987. Mata Atlântica de Linhares – aspectos florestais: a experiência da CVRD. In: *Seminário sobre desenvolvimento econômico e impacto ambiental em áreas de trópico úmido brasileiro*. Rio de Janeiro, Anais do Seminário v(1): 35-71.
- JESUS, R. M. 1988. A Reserva Florestal da Companhia Vale do Rio Doce. In: *Congresso Florestal Estadual*. Nova Prata, Rio Grande do Sul. Anais do Congresso, v(2): 59-112.
- KINDEL, A. 2001. A fragmentação real: heterogeneidade de remanescentes florestais e valor indicador das formas de húmus. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado do PPGG / UFRJ. 188p.
- KINDEL, A., BARBOSA, P. M. S., PÉREZ, D. V. & GARAY, I. 1999. Efeito do extrativismo seletivo de espécies arbóreas da Floresta Atlântica de Tabuleiros na matéria orgânica e outros atributos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23, p. 465-474.
- KINDEL, A. & GARAY, I. 2001. Caracterização de ecossistemas da Floresta Atlântica de Tabuleiros por meio das formas de húmus. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, p. 551-563.
- KINDEL, A. & GARAY, I. 2002. Humus forms in ecosystems of the Atlantic Forest, Brazil. *Geoderma*, (108): 101-118.
- KLINKA, K., GREEN, R. N., TROWBRIDGE, R. L. & LOWE, L. E. 1981. *Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia: first approximation*. Ministry Forest Program, British Columbia.

- LAURENCE, W. F. 2001. Tropical logging and human invasions. *Conservation Biology*, 15, p. 4-5.
- LEWIS, S. L. 2006. Tropical forest and the changing earth system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 361, p. 195-210.
- LINDENMAYER, D. B., MARGULES, C. R. & BOTKIN, D. B. 2000. Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conservation Biology*, 14, p.941-950.
- LORANGER, G., PONGE, J. F. & LAVELLE, P. 2003. Humus forms in two secondary semi-evergreen tropical forests. *European Journal of Soil Science*, 54, p. 17-24.
- LOUZADA, M. A. P. 2004. As características quantitativas e qualitativas dos aportes orgânicos em Floresta Atlântica de Tabuleiros: uma avaliação do papel da diversidade arbórea no funcionamento do ecossistema. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado do PPGE / UFRJ. 253p.
- LOUZADA, M. A. P., CURVELLO, A., BARBOSA, J. H. C. & GARAY, I. 1997. O aporte de matéria orgânica ao solo: quantificação, fenologia e suas relações com a composição específica em área de Floresta Atlântica de Tabuleiros. *Leandra*, 12, p. 27-32.
- MALAGON, D., SEVINK, J., GARAY, I. 1989. Methods for soil analysis. In: *Manual of methods for mountain transect studies: comparative studies of tropical mountain ecosystems*. VAN DER HAMMEN, T., MÜELLER-DOMBOIS, D., LITTLE, M.A. (Eds.). IUBS, Paris, p.29-40.
- MANGENOT, F. & TOUTAIN, F. 1980. Les litières et leur évolution. In: PESSON, P. (org.). *Actualités d'écologie forestière: sol, flore, faune*. Ed. Gauthier-Villars, Paris. p. 3-60.
- MEDINA, E. 1981. Nitrogen content, leaf structure and photosynthesis in higher plants: a report to the United Nation Environmental Program study group on photosynthesis end bioproductivity. *Instituto Venezolano de Investigaciones Cientificas*, Caracas, 47p.
- MEIS, M. R. M. 1976. Contribuição ao Estudo do Terciário Superior e Quaternário da Baixada da Guanabara. Lisboa, Portugal. Tese de Doutorado da Universidade de Lisboa. 238p.
- METZGER, J. P. 1999. Estrutura da paisagem e fragmentação: uma análise bibliográfica. *An. Acad. Bras. Ci.* (71): 445-463.
- NIEMI, G. J. & McDONALD, M. E. 2004. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 35, p. 89-111.
- NIMER, E. 1989. Climatologia do Brasil. 2ª. Edição, Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 422p.
- NORONHA, F., QUEIROZ, G., LEAL, A. & GARAY, I. 2006. Impacto das trilhas sobre as características do solo e da fauna edáfica em fragmentos de Floresta Atlântica de Tabuleiros, Sooretama, ES. *Trabalho completo nos Anais do I Congresso Nacional de Planejamento e Manejo de Trilhas*, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, RJ. 13p.

- PEIXOTO, A. L. & GENTRY, A. 1990. Diversidade e composição florística da Mata de Tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). *Revista Brasileira de Botânica*, v. 13 (1): 19-25.
- PELLENS, R. 2002. Fragmentação Florestal em Mata Atlântica de Tabuleiros: os efeitos da heterogeneidade da paisagem sobre a diversidade de artrópodos edáficos. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado do PPGG / UFRJ. 198p.
- PHILLIPS, O. L. 1997. The changing ecology of tropical forests. *Biodiversity and Conservation*, 6, p. 291-311.
- PONGE, J. F., CHEVALIER, R. & LOUSSOT, P. 2002. Humus index: an integrated tool for the assessment of forest floor and topsoil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 66, p. 1996-2001.
- PONGE, J. F. 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, p. 935-945.
- RADAMBRASIL. 1987. Folha SE. 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro. Levantamento de Recursos Naturais, v. 34: 548p.
- RIZZINI, C.T. 1979. *Tratado de fitogeografia do Brasil, aspectos sociológicos e florísticos*. Ed. Âmbito Cultural, Rio de Janeiro. 747p.
- RIZZINI, C.M. 2000. Diversidade funcional do estrato arbóreo como indicador do status da biodiversidade em Floresta Atlântica de Tabuleiros (Linhares – ES). Rio de Janeiro, Tese de Doutorado do PPGG / UFRJ. 150p.
- ROLIM, S. G. & NASCIMENTO, H. E. M. 1997. Análise da riqueza, diversidade e relação espécie-abundância de uma comunidade arbórea vegetal tropical em diferentes intensidades amostrais. *Scientia Forestalis*, n. 1: 7-16.
- ROLIM, S. G., COUTO, H. T. Z. & JESUS, R. M. 2001. Fluctuaciones temporales en la composición florística del Bosque Tropical Atlántico. *Biotropica*, 33 (1): 12-22.
- SANTOS, R. D. dos., BARRETO, W. O., ARAÚJO, W. S., CLAESSEN, M. E. C., PÉREZ, D. V., DE PAULA, J. L., SOUSA, J. L. R. & SOUZA, J. S. 2004. Levantamento expedito dos solos das Reserva Florestais de Linhares e Sooretama no estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPq, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n^o 49, 68p.
- SAUNDERS, D. A., HOBBS, R. J. & MARGULES, C. R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 5, p. 18-32.
- SMITH, P. 2005. An overview of the permanence of soil organic carbon stocks: influence of direct human-induced, indirect and natural effects. *European Journal of Soil Science*, 56, p. 673-680.

- SOKAL, R. R. & ROHLF, F. J. 1981. *Biometry*. 2^a. Edição, Freeman, San Francisco.
- SWIFT, M. J., HEAL, O. W. & ANDERSON, J. M. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. The University of California Press, Berkley, Los Angeles, 372p.
- TERBORGH, J. 1992. Maintenance of diversity in tropical forests. *Biotropica* 24, p. 283-292.
- TOUTAIN, F. 1981. Les humus forestiers. Structures et modes de fonctionnement. *Rev. For. Fr.* (33): 449-477.
- TURNER, M. G. 2005. Landscape Ecology: what is the state of the science? *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 36, p. 319-344.
- TURNER, M. G., ROMME, W. H., GARDNER, R. H., O'NEILL, R. V. & KRATZ, T. K. 1993. A revised concept of landscape equilibrium: disturbance and stability on scaled landscapes. *Landscape Ecology*, 8, p. 213-227.
- VIANA, V.M. & TABANEZ, A.A.J. 1996. Biology and conservation of forest fragments in the Brazilian Atlantic Moist Forest. In: *Forest Patches in Tropical Landscapes*. SCHELLAS, J. & GREENBERG, R. (Eds.). Island Press, Washington D.C., p. 151-167.
- VICENS, R. S. 2003. Abordagem Geoecológica Aplicada às Bacias Fluviais de Tabuleiros Costeiros no Norte do Espírito Santo: Uma Contribuição para a Avaliação e Gestão de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado do PPGG / UFRJ. 253p.
- VICENS, R. S., AGAREZ, F. V. & GARAY, I. 2004. A região da REBIO Sooretama e da Reserva de Linhares e seu entorno: das características físico-geográficas ao uso da terra. In: GARAY, I. & RIZZINI, C. M. (orgs.). *A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea*. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro. p. 7-15.
- WHITMORE, T. C. 1997. Tropical forest disturbance, disappearance and species loss. In: LAURANCE, W. F. & BIERREGAARD, R. O. (eds.) *Tropical forests remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities*. University of Chicago Press, Chicago. p. 3-12.