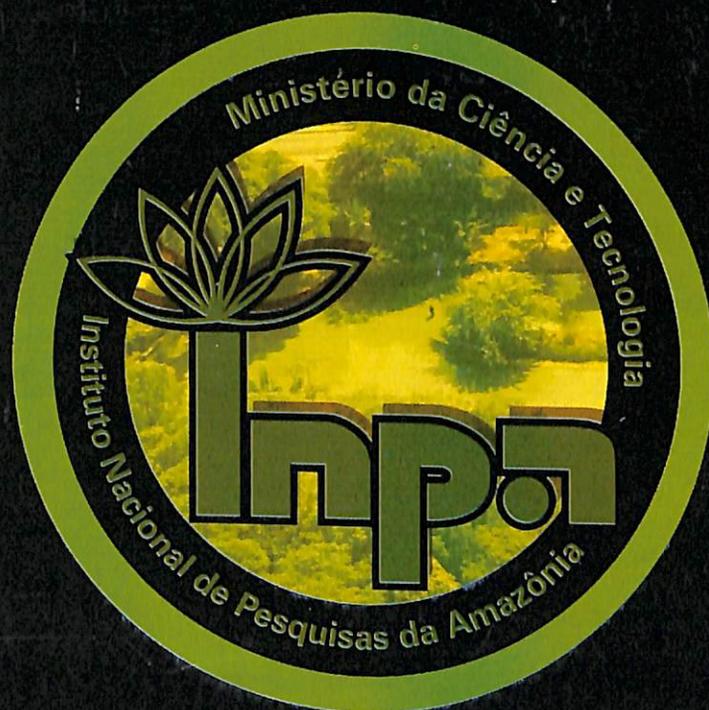


Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia
Tropical e Recursos Naturais - PIPG BTRN



**MACRO-INVERTEBRADOS DO SOLO E ESTOQUES DE CARBONO E NUTRIENTES EM
DIFERENTES TIPOS DE VEGETAÇÃO DE TERRA FIRME NA AMAZÔNIA PERUANA.**

SANDRA CELIA TAPIA CORAL

T
574.52642
T172m
ex. 2

**Manaus-AM
2004**

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM

BIBLIOTECA DO INPA

**MACRO-INVERTEBRADOS DO SOLO E ESTOQUES DE CARBONO E
NUTRIENTES EM DIFERENTES TIPOS DE VEGETAÇÃO DE TERRA FIRME
NA AMAZÔNIA PERUANA**

SANDRA CELIA TAPIA CORAL

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em ECOLOGIA.

MANAUS - AM
Junho, 2004

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM

BIBLIOTECA DO INPA

**MACRO-INVERTEBRADOS DO SOLO E ESTOQUES DE CARBONO E
NUTRIENTES EM DIFERENTES TIPOS DE VEGETAÇÃO DE TERRA FIRME
NA AMAZÔNIA PERUANA**

SANDRA CELIA TAPIA CORAL

ORIENTADOR: Dr. FLÁVIO J. LUIZÃO

CO-ORIENTADORES: Dra. ELEUSA BARROS
Dr. DENNIS DEL CASTILLO

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em ECOLOGIA.

Fonte Financiadora: "Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana"; Projeto de Grande Escala Biosfera-Atmosfera (LBA/INPA) e Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

MANAUS - AM
Março, 2004

Tapia-Coral, Sandra Celia

Macro-invertebrados do solo e estoques de carbono e nutrientes em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana / Sandra Celia Tapia-Coral – Manaus, 2004.

134 p.

Tese de Doutorado – INPA/UFAM.

1. Ecologia-macro-invertebrados 2. Estoque-carbono 3. Estoque-nutrientes 4. Floresta de Terra Firme 5. Amazônia peruana

CDD19^a ed.

Sinopse:

Estudou-se as relações entre os macro-invertebrados do solo, a disponibilidade de nutrientes no solo e os estoques de carbono e nutrientes na liteira em floresta primária, floresta secundária e plantações florestais de *Cedrelinga catenaeformis* e *Simarouba amara*, em áreas de terra firme na Amazônia peruana.

Palavras-chaves: biomassa de macro-invertebrados; carbono; nutrientes; liteira; plantios florestais.

*Aos meus pais, Sandra e
Javier e ao meu sobrinho
Diego. dedico*

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado na Amazônia;

Ao "Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana" (IIAP), pelo financiamento do projeto;

Ao "Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera" (CIJH) do IIAP, pela realização deste estudo no CIJH;

Ao projeto "Experimento de Grande Escala Biosfera-Atmosfera" (LBA), pelo apoio nas análises de carbono e nutrientes na liteira;

Ao "Instituto Nacional de Investigación Agrária" (INIA/ICRAF), em especial aos Drs. Julio Alegre e Angel Salazar, pelo apoio nas análises de carbono e nutrientes do solo;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo concedida no último ano;

Ao Dr. Flávio J. Luizão, pela orientação em todos os momentos, pela paciência e pela confiança em mim depositada para desenvolver esta pesquisa no Peru;

À Dra. Eleusa Barros, pela co-orientação nos capítulos de macro-invertebrados e de mesocosmos;

Ao Dr. Dennis del Castillo, pela orientação constante durante minha estada em Jenaro Herrera e Iquitos, e pela contribuição à minha formação acadêmica;

Ao Ing. Beto Pashanasi, pela orientação inicial na obtenção dos dados com a metodologia do TSBF para a coleta dos macro-invertebrados do solo, pelas longas conversas em Jenaro Herrera e pela hospitalidade em Yurimaguas;

Aos revisores de meu plano de tese e aos membros avaliadores da minha aula de qualificação, pelas valiosas sugestões e contribuições ao trabalho;

À Coordenação do Curso de Ecologia e a todos os pesquisadores do curso de Mestrado e Doutorado em Ecologia do INPA, por suas relevantes contribuições ao ensino e à pesquisa na Região Amazônica bem como à minha formação profissional;

À Dra. Albertina P. Lima, pelo apoio com as análises multivariadas de PCA;

À Geize Araújo, por sua amizade, pela eficiência à frente da secretaria do curso de Ecologia e por sua eterna disposição em ajudar aos alunos desesperados;

Ao Carlos Frago, Alex Feijoo, George Brown, Patrícia Rojas e Beto Pashanasi pelo seu constante e contagiante estímulo à pesquisa com os macro-invertebrados, e pelas sugestões ao trabalho de campo em Iquitos 2001;

Ao pessoal do "Programa de Biodiversidad" (PBIO), "Laboratório de Entomologia", "Programa de Ecossistemas Terrestres" (PET) e ao pessoal do CIJH do IIAP em especial ao Robert Aspajo e Gustavo Torres, pelo apoio logístico e amizade durante o trabalho de campo;

Aos meus assistentes de campo em Jenaro Herrera, Carlo Magno Shapiama e Hugo Vasquez, pela incansável ajuda nos trabalhos de campo e laboratório no CIJH;

À Silvia del Aguila e ao Joel Vasquez, pela ajuda nas coletas iniciais e identificação dos macro-invertebrados no CIJH;

À Sandra Rios, pelo apoio na triagem e identificação dos macro-invertebrados no laboratório de Entomologia di IIAP e da UNAP;

Ao pessoal do "Laboratório de Investigaciones" da UNAP, pelo uso de suas instalações e equipamentos durante a pesagem dos macro-invertebrados;

Ao pessoal do "Laboratório Temático de Solos e Plantas" do INPA/CPCA; Tânia, Edivaldo, Patricia, Karime, Jonas e Orlando, pela ajuda nas análises de carbono e nutrientes na liteira e pela colaboração constante e amizade;

Ao pessoal do Anexo BIONTE/INPA, Luciano e Sérgio, pelo apoio e força no socorro com as análises de laboratório;

Ao pessoal do "Laboratório de Suelos y Plantas" do INIA/ICRAF em Pucallpa, Carlos Soncco e Luis Arévalo, pela ajuda nas análises de nutrientes do solo;

Aos colegas da sala dos "Luizão", Lucerina, Romilda, Socorro, Terezinha, Cláudio, Jorge, Ivan, Fabiana, Rejane e Fabiane, pela amizade e colaboração;

À minha amiga e colega Carmen Rosa García, pelo incentivo para estudar pós graduação no Brasil, pela amizade e apoio desde sempre;

À Marlen Villacorta, Patricia Dresch e família e à Cristiane Ferreira, pela amizade e acolhida em Manaus;

Aos meus amigos Richard Bustamante e Luis Alfaro pelo apoio e carinho durante o tempo de estudo e sempre;

Ao Fabiano Waldez S. Guimarães, pelo apoio, carinho e pelos bons momentos durante essa última etapa do curso;

Aos meus pais, Sandra e Javier, minha avó Lucía, meus irmãos Fernando e Carlos, minha cunhada Claudia e ao meu sobrinho querido Diego, pelo carinho e por estarem sempre comigo apesar da distância;

Finalmente, a Deus, por me permitir chegar ao final deste trabalho.

Sumário

Lista de Tabelas.....	x
Lista de Figuras.....	xiii
Resumo.....	xvi
Resumén.....	xviii
Abstract.....	xx
Introdução Geral.....	1
Objetivo Geral.....	4
Área de Estudo.....	4
Histórico da Área de estudo.....	5
Delineamento experimental.....	5
Descrição das espécies.....	5
Clima no CIJH.....	6
CAPÍTULO I.....	7
Carbono e nutrientes na interface solo – liteira em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana.....	7
1.1 Introdução.....	7
1.2 Objetivos.....	8
1.3 Métodos.....	8
1.3.1 Clima no período de estudo.....	8
1.3.2 Metodologia das coletas.....	9
1.3.2.1 Coleta de solo.....	9
1.3.2.2 Coleta da liteira.....	9
1.3.3 Triagem inicial do solo.....	10
1.3.4 Triagem inicial da liteira.....	10
1.3.5 Análises do solo.....	10
1.3.5.1 Granulometria, pH e acidez trocável.....	10
1.3.5.2 Carbono orgânico e nutrientes.....	10
1.3.5.3 Disponibilidade de nitrogênio.....	11
1.3.6 Análises de carbono orgânico, nutrientes, polifenóis e lignina da liteira.....	11
1.3.7 Estoque de carbono e nutrientes na liteira.....	11
1.3.8 Análises dos dados.....	12
1.4 Resultados.....	12
1.4.1 Caracterização do solo.....	12
1.4.1.1 Granulometria, pH e acidez trocável.....	12
1.4.1.2 Carbono orgânico e nutrientes no solo.....	13
1.4.2 Caracterização da liteira.....	15
1.4.2.1 Massa da liteira acumulada sobre o solo.....	15
1.4.2.2 Carbono orgânico e nutrientes na liteira.....	16
1.4.3 Estoque de carbono e nutrientes na liteira.....	18
1.5 Discussão.....	19
1.5.1 Caracterização do solo.....	19
1.5.2 Massa e nutrientes da liteira.....	22
1.6 Conclusão.....	30
CAPÍTULO II.....	31
Decomposição de <i>Cedrelinga catenaeformis</i> e <i>Simarouba amara</i> em diferentes tipos de vegetação na Amazônia peruana.....	31

2.1	Introdução	31
2.2	Objetivos	31
2.3	Métodos.....	32
2.3.1	Clima durante o período de estudo.....	32
2.3.2	Coleta das folhas e delineamento experimental	32
2.3.3	Coleta dos sacos de malha de náilon	33
2.3.4	Taxas de decomposição (<i>k</i>).....	33
2.3.5	Análises da liteira	33
2.3.6	Análises dos dados	33
2.4	Resultados	34
2.4.1	Qualidade inicial das folhas de <i>Cedrelinga</i> e <i>Simarouba</i>	34
2.4.2	Perda de peso da liteira nos sacos de náilon.....	34
2.4.3	Taxas de decomposição.....	37
2.4.4	Atividades dos cupins na decomposição da liteira.....	37
2.4.5	Colonização da liteira pelas raízes finas.....	38
2.4.6	Conteúdos residuais de carbono e nitrogênio e a relação C:N nas folhas em decomposição.....	41
2.4.7	Conteúdos residuais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio na liteira em decomposição	45
2.5	Discussão.....	51
2.6	Conclusão.....	56
CAPÍTULO III		57
Macro-invertebrados do solo em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana.....		57
3.1	Introdução	57
3.2	Objetivo.....	58
3.3	Métodos.....	58
3.3.1	Coleta dos macro-invertebrados do solo e liteira	58
3.3.2	Coleta da macrofauna da liteira.....	58
3.3.3	Identificação e pesagem dos macro-invertebrados	61
3.3.4	Análises dos dados	61
3.4	Resultados	62
3.4.1	Macro-invertebrados do solo.....	62
3.4.1.1	Densidade e diversidade	62
3.4.1.2	Biomassa.....	63
3.4.1.3	Distribuição vertical	64
3.4.1.4	Grupos funcionais.....	65
3.4.1.5	Engenheiros-do-solo.....	66
3.4.1.6	Análise de Componentes Principais (PCA).....	67
3.4.2	Macro-invertebrados da liteira.....	69
3.4.2.1	Densidade e diversidade.....	69
3.4.2.2	Biomassa dos macro-invertebrados da liteira	71
3.4.2.3	Grupos funcionais dos macro-invertebrados da liteira	72
3.4.2.4	Engenheiros-do-solo.....	72
3.4.2.5	Análises de Componentes Principais (PCA)	73
3.4.3	Comparação dos macro-invertebrados da liteira pelas duas metodologias	75
3.4.4	Comparação dos grupos funcionais dos macro-invertebrados da liteira pelas duas metodologias.....	75
3.5	Discussão.....	76
3.6	Conclusão.....	86
CAPÍTULO IV		87
Relação entre a biomassa dos macro-invertebrados e o estoque de carbono e nutrientes na liteira em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana.....		87

4.1	Introdução	87
4.2	Objetivo.....	87
4.3	Métodos.....	88
4.4	Resultados	88
4.5	Discussão.....	93
4.6	Discussão.....	97
CAPÍTULO V.....		98
Efeito da inoculação de <i>Pontoscolex corethrurus</i> Muller (Oligochaeta: Glossoscolecidae) sobre a disponibilidade de nitrogênio mineral em casa-de-vegetação.....		98
5.1	Introdução	98
5.2	Objetivo.....	99
5.3	Métodos.....	99
5.3.1	Delineamento experimental.....	99
5.3.2	Mesocosmos e inoculação de <i>P. corethrurus</i>	100
5.3.3	Local e condições do experimento	100
5.3.4	Clima durante o experimento.....	101
5.3.5	Coleta das amostras	102
5.3.6	Análises de laboratório	102
5.3.7	Análises dos dados	102
5.4	Resultados	103
5.4.1	Nutrientes do solo inicial	103
5.4.2	Perda de peso da liteira nos mesocosmos	103
5.4.3	Densidade e biomassa de minhocas.....	103
5.4.4	Atividade das minhocas.....	104
5.4.5	Nutrientes nas fezes das minhocas	104
5.4.6	Concentrações de amônio e nitrato no solo	105
5.5	Discussão.....	106
5.6	Conclusão.....	111
Considerações Finais.....		112
Referências Bibliográficas.....		115
Apêndices.....		136

4.1	Introdução	87
4.2	Objetivo.....	87
4.3	Métodos.....	88
4.4	Resultados	88
4.5	Discussão.....	93
4.6	Discussão.....	97
CAPÍTULO V.....		98
Efeito da inoculação de <i>Pontoscolex corethrurus</i> Muller (Oligochaeta: Glossoscolecidae) sobre a disponibilidade de nitrogênio mineral em casa-de-vegetação.....		98
5.1	Introdução	98
5.2	Objetivo.....	99
5.3	Métodos.....	99
5.3.1	Delineamento experimental.....	99
5.3.2	Mesocosmos e inoculação de <i>P. corethrurus</i>	100
5.3.3	Local e condições do experimento	100
5.3.4	Clima durante o experimento.....	101
5.3.5	Coleta das amostras	102
5.3.6	Análises de laboratório	102
5.3.7	Análises dos dados	102
5.4	Resultados	103
5.4.1	Nutrientes do solo inicial.....	103
5.4.2	Perda de peso da liteira nos mesocosmos	103
5.4.3	Densidade e biomassa de minhocas.....	103
5.4.4	Atividade das minhocas.....	104
5.4.5	Nutrientes nas fezes das minhocas	104
5.4.6	Concentrações de amônio e nitrato no solo	105
5.5	Discussão.....	106
5.6	Conclusão.....	111
Considerações Finais.....		112
Referências Bibliográficas.....		115
Apêndices.....		136

Lista de Tabelas

Tabela 1: Precipitação anual (mm) e temperatura media anual máximas e mínimas (°C) no período 1997 – 2002 no CIJH.....	6
CAPÍTULO I.....	7
Tabela 1.1: Granulometria, pH e acidez trocável do solo na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e a Capoeira (CAP), nas duas épocas de coleta, no CIJH. Os valores são médias \pm desvio-padrão. (n=3).....	13
Tabela 1.2: Carbono orgânico (g.kg ⁻¹) e concentrações dos nutrientes minerais disponíveis no solo, na camada de 0-10 cm de profundidade na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e a Capoeira (CAP) nas duas épocas de coleta, no CIJH. Os valores são médias \pm desvio-padrão (n=3).	14
Tabela 1.3: Massa de liteira acumulada sobre o solo (g m ⁻²), na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), nas duas épocas de coleta, no CIJH. Os valores são médias \pm desvio-padrão (n=3).....	16
Tabela 1.4: Concentrações de carbono orgânico (%), nutrientes (g kg ⁻¹), polifenóis (%) e lignina (%) na liteira em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), nas duas épocas de coleta, no CIJH. Os valores são médias \pm desvio-padrão (n=3).	17
Tabela 1.5: Estoques de carbono e nutrientes na liteira (kg.ha ⁻¹) na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), nas duas épocas de coleta no CIJH. Os valores são medias \pm desvio-padrão (n=3). .	18
Tabela 1.6: Produção anual de liteira fina, e do componente ‘folhas’ (t.ha ⁻¹), com as concentrações de nutrientes na liteira em florestas tropicais, capoeiras e plantios florestais de terra firme e inundáveis dos trópicos úmidos.....	23
Tabela 1.7: Camada de liteira e de folhas sobre o solo (t.ha ⁻¹), com as concentrações de nutrientes na liteira em florestas tropicais maduras, capoeiras e plantios florestais de terra firme.....	24
Tabela 1.8: Concentração (%) e estoque (kg.ha ⁻¹) de carbono na liteira em diferentes tipos de vegetação da Amazônia brasileira e peruana.....	27
CAPÍTULO II.....	31
Tabela 2.1: Teores iniciais de nutrientes de folhas novas e maduras de <i>Cedrelinga</i> e <i>Simarouba</i> . Os valores são médias de amostras compostas (n=3), seguidas do desvio-padrão.	34
Tabela 2.2: Taxas de decomposição (<i>k ano⁻¹</i>) e tempo de meia-vida (dias) das folhas de <i>Cedrelinga</i> , <i>Simarouba</i> e a mistura das duas espécies nos diferentes tipos de vegetação no CIJH.....	37
Tabela 2.3: Taxas de decomposição em diferentes tipos de vegetação.....	53
CAPÍTULO III.....	56
Tabela 3.1: Composição dos grupos funcionais e dos engenheiros-do-solo dos macro-invertebrados do solo.	60

- Tabela 3.2: Densidade (ind.m^{-2}) e diversidade (Nº de grupos) dos macro-invertebrados do solo na Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são médias de três blocos ($n=3$) e os erros-padrão da média estão representados entre parênteses. As letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 0,5% ($p<0,05$)..... 62
- Tabela 3.3: Biomassa (g.m^{-2}) dos macro-invertebrados do solo em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são médias de três blocos ($n=3$) e os erros-padrão da média estão representados entre parênteses. As letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 0,5% ($p<0,05$). 63
- Tabela 3.4: Densidade dos grupos funcionais dos macro-invertebrados do solo (ind.m^{-2}) em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são a média de três blocos ($n=3$) e os erros-padrão da média estão representados entre parênteses. As letras iguais nas colunas indicam que não apresentaram diferenças significativas ao nível de 0,5% ($p<0,05$). 64
- Tabela 3.5: Maiores correlações entre fatores extraídos na análises de PCA da densidade e biomassa dos macro-invertebrados do solo. 66
- Tabela 3.6: Densidade dos macro-invertebrados da liteira (ind.m^{-2}) e diversidade (Nº de grupos) na estação chuvosa e seca, em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são médias de três blocos ($n=3$) e os erros-padrão estão representados entre parênteses. As letras indicam as diferenças entre os tratamentos ao nível de 0,5% ($p<0,05$) em cada estação..... 69
- Tabela 3.7: Biomassa dos macro-invertebrados da liteira (g.m^{-2}), nas estações chuvosa e seca, em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As letras indicam a diferenças entre os tratamentos ao nível de 5% ($p<0,05$) em cada estação..... 70
- Tabela 3.8: Densidade dos grupos funcionais dos macro-invertebrados da liteira (ind.m^{-2}) (sem os grupos sociais) na estação chuvosa e seca, em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores entre parênteses são os erros-padrão da média e as letras diferentes nas colunas indicam a diferenças entre os tratamentos. 71
- Tabela 3.9: Densidade dos grupos funcionais dos macro-invertebrados da liteira (ind.m^{-2}) (sem os grupos sociais) pelo método TSBF e do quadro de madeira, durante a estação chuvosa em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são as médias de três blocos ($n=3$) e os valores entre parênteses são os erros-padrão da média. As letras diferentes nas colunas indicam a diferenças ao nível de 5% ($p>0,05$). 75
- Tabela 3.10: Densidade (ind.m^{-2}) e biomassa (g.m^{-2}) de alguns grupos de macro-invertebrados do solo pelo método TSBF em diferentes sistemas florestais e agroflorestais na Amazônia..... 77
- Tabela 3.11: Densidade de alguns grupos dos macro-invertebrados e biomassa total da liteira com o métodos do quadro de madeira e manual em diversos plantios florestais perenes..... 78

CAPÍTULO IV

- Tabela 4.1: Valores significativos das análises de regressão linear da biomassa total dos macro-invertebrados da liteira com a quantidade de folhas e material lenhoso e o estoque de Mg e as

relações C:N e N:P na liteira. Os valores representam o número de monolitos do TSBF (n=15).....89

CAPÍTULO V

Tabela 5.1: Concentrações de carbono, N total, nutrientes totais, amônio, nitrato e N mineral do solo inicial do experimento de mesocosmos. 101

Tabela 5.2: Peso remanescente (residual) (%), 360 dias após a inoculação de minhocas, no experimento de mesocosmos com e sem inoculação de *P. corethrurus*. Os valores indicam a média \pm desvio padrão (n=4). As letras diferentes nas colunas indicam as diferenças entre os tratamentos. 101

Tabela 5.3: Densidade inicial, densidade final e biomassa média de *P. corethrurus* juvenis e adultas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm no experimento de mesocosmos (n=4)..... 102

Tabela 5.4: Concentrações de carbono e nutrientes nas fezes de *P. corethrurus* juvenis e adultas no experimento de mesocosmos (n=4). 104

Tabela 5.5: Concentrações de amônio (NH₄), nitrato (NO₃) e N mineral do solo (mg/kg) no experimento de mesocosmos com e sem inoculação de *P. corethrurus* nos tratamentos de liteira, 360 dias após a inoculação. Os valores indicam a média de quatro tratamentos (n=4) \pm desvio padrão entre parêntesis. As letras indicam as diferenças entre os tratamentos ao nível de 0,5% (p<0,05).....104

Lista de Figuras

Figura 1: Figura 1: Localização da área de estudo, mostrando o “Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera” na Amazônia peruana.....4

CAPÍTULO I

Figura 1.1: Totais mensais de precipitação pluviométrica (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) do ano 2001, registrados na estação meteorológica do CIJH.....9

Figura 1.2: Quantidade de folhas e material lenhoso (g.m²), nas épocas chuvosa e seca na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e a Capoeira (CAP). As barras representam a média de três parcelas (n=3)..... 15

CAPÍTULO II

Figura 2.1: Média total de precipitação mensal (mm) e média mensal das temperaturas máximas e mínimas (°C) durante o período do experimento de decomposição no ano de 2001-2002 no CIJH.....32

Figura 2.2: Peso médio residual (%) do material remanescente de *C. catenaeformis*, *S. amara* e da mistura das duas espécies, na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nos diferentes períodos de decomposição, no CIJH. As linhas pontilhadas correspondem aos totais de precipitação pluviométrica que antecederam cada período de coleta (no caso do tempo inicial, foi considerado o total de chuva do mês anterior à instalação do experimento).....36

Figura 2.3: Folhas atacadas por cupins (%) nos sacos de malha com *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nos diferentes períodos de decomposição no CIJH.....38

Figura 2.4: Percentagem (%) de folhas colonizadas por raízes finas nos sacos de malha com *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nos diferentes períodos de decomposição, no CIJH.....39

Figura 2.5 Conteúdos residuais de carbono (%) na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.....42

Figura 2.6: Conteúdos residuais de nitrogênio (%) na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.....43

Figura 2.7: Relação C:N, na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.....44

Figura 2.8: Conteúdos residuais de fósforo (%) na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados

em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.....	46
Figura 2.9: Conteúdos residuais de potássio (%) na liteira de <i>C. catenaeformis</i> , <i>S. amara</i> e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.....	47
Figura 2.10: Conteúdos residuais de cálcio (%) na liteira de <i>C. catenaeformis</i> , <i>S. amara</i> e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.....	48
Figura 2.11: Conteúdos residuais de magnésio (%), na liteira de <i>C. catenaeformis</i> , <i>S. amara</i> e a mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP) no CIJH.....	50
CAPÍTULO III.....	56
Figura 3.1: Desenho esquemático do método TSBF e do quadro de madeira empregados nas coletas dos macro-invertebrados do solo e da liteira.....	58
Figura 3.2: Amostragem do monólito do TSBF (A) e triagem dos macro-invertebrados no campo (B).....	59
Figura 3.3: Densidade total e diversidade dos macro-invertebrados do solo em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam a média de três blocos (n=3) e as barras verticais são os erros-padrão da média.....	61
Figura 3.4: Distribuição vertical da densidade dos macro-invertebrados do solo (%) na Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam a média de três blocos (n=3).....	64
Figura 3.5: Densidade (A) e Biomassa (B) dos Engenheiros-do-solo e de 'outros' grupos e sua porcentagem em relação do total dos indivíduos encontrados em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam as médias de três blocos (n=3) e as barras verticais são o erros-padrão da media.....	65
Figura 3.6: Correlação das variáveis densidade e biomassa dos macro-invertebrados do solo com os eixos fatoriais 1 (horizontal) e 2 (vertical).....	67
Figura 3.7: Distribuição dos ecossistemas Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC) e Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), de acordo com os fatores 1 (horizontal) e 2 (vertical), no CIJH.....	67
Figura 3.8: Densidade total e diversidade dos macro-invertebrados da liteira em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam as médias de três blocos (n=3) e as barras verticais são o erros-padrão da média.....	68

Figura 3.9: Densidade dos Engenheiros-do-solo e sua porcentagem em relação do total de indivíduos encontrados nas estações chuvosa (A) e seca (B) em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam as médias de três blocos (n=3).....	72
Figura 3.10: Biomassa dos Engenheiros-do-solo e sua porcentagem em relação do total de indivíduos encontrados nas estações chuvosa (A) e seca (B) em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam as médias de três blocos (n=3).....	72
Figura 3.11: Correlação da variável densidade dos macro-invertebrados da liteira com os eixos fatoriais 1 (horizontal) e 2 (vertical).....	73
Figura 3.12: Distribuição dos ecossistemas Floresta primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), nas estações chuvosa (C) e seca (S), de acordo com os fatores 1 (horizontal) e 2 (vertical), no CIJH.....	73
Figura 3.13: Densidade e diversidade dos macro-invertebrados da liteira (ind.m ⁻²) pelo método TSBF e do quadro de madeira em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> (PFC), Plantação Florestal de <i>Simarouba</i> (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As linhas verticais são os erros-padrão da média.....	74

CAPÍTULO IV

Figura 4.1: Relação da biomassa de Formicidae com a massa total da liteira, o estoque de fósforo e cálcio na Floresta Primária no CIJH. Os pontos representam cada monolito do TSBF (n=15).....	88
Figura 4.2: Relação da biomassa de Isopoda com a relação C:N na Floresta Primária no CIJH. Os pontos representam cada monolito do TSBF (n=15).....	89
Figura 4.3 Relação da biomassa de Diplopoda com o material lenhoso, o estoque de carbono, nitrogênio, potássio, cálcio e as bases trocáveis na Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> no CIJH. Os pontos representam cada monolito do TSBF (n=15).....	90
Figura 4.4: Relação da biomassa de Isopoda com o estoque de cálcio e as bases trocáveis na Plantação Florestal de <i>Cedrelinga</i> no CIJH. Os pontos representam cada monolito do TSBF (n=15).....	91
Figura 4.5: Relação da biomassa de Formicidae com a relação C:N na Capoeira, no CIJH. Os pontos representam cada monolito do TSBF (n=15).....	92

CAPÍTULO V

Figura 5.1: Esquema dos tratamentos no experimento de mesocosmos em casa de vegetação: 16 caixas com <i>P. corethrurus</i> juvenis e 16 com adultos. Total geral: 32 caixas.....	97
Figura 5.2: Caixas de mesocosmos em casa-de-vegetação no CIJH.....	99
Figura 5.3: Temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) ao longo do experimento de mesocosmos (setembro 2001 – outubro 2002), registrados na Estação Climatológica do CIJH.....	99
Figura 5.4: Atividade (%) de <i>Pontoscolex corethrurus</i> juvenis e adultos nos diferentes tratamentos de liteira, no experimento de mesocosmos. As barras representam as médias de quatro tratamentos (n=4).....	103

Resumo

O presente trabalho procurou identificar as relações entre os macro-invertebrados do solo, a disponibilidade de nutrientes no solo e os estoques de carbono e nutrientes na liteira de quatro tipos de formação vegetal: floresta primária (FP), floresta secundária ou capoeira (FS ou CAP), plantações florestais de *Cedrelinga catenaeformis* (PFC ou *Cedrelinga*) e de *Simarouba amara* (PFS ou *Simarouba*). O estudo foi desenvolvido no “Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera” (CIJH) do “Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana” (IIAP), situado 200 km ao sul da cidade de Iquitos (Região de Loreto-Perú), com uma precipitação anual de 2674 mm e uma temperatura média mensal de 26°C. A FP apresentou a maior quantidade de liteira acumulada sobre o solo durante a época seca, sendo que os estoques de carbono foram maiores na floresta primária durante a época chuvosa, decrescendo nos quatro tipos de vegetação na época seca. No entanto, as plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba* apresentaram as maiores concentrações de carbono no solo, principalmente na época seca. A plantação florestal de *Cedrelinga* apresentou altas concentrações e estoques de nitrogênio, possivelmente por ser uma leguminosa e estar fixando e liberando este nutriente. No processo de decomposição, os conteúdos residuais de carbono foram baixos e similares nos quatro tipos de vegetação até o final do experimento, coincidindo com a perda de peso da liteira; os conteúdos residuais de P, K, Ca e Mg apresentaram-se variáveis e baixos no início e durante a decomposição, em todos os tratamentos. A plantação florestal de *Simarouba* foi o sistema que apresentou as mais altas densidades de macro-invertebrados do solo, seguida pela FP, com predominância dos grupos sociais (cupins e formigas), garantindo uma eficiente colonização e atividade da fauna do solo na decomposição da matéria orgânica e na estruturação do solo. Houve evidência pontual de relações (positivas e negativas) com alguns grupos específicos dos macro-invertebrados (formicídeos, diplópodos e isópodos). Os formicídeos tiveram relações positivas com a massa total da liteira e seu estoque de fósforo e cálcio na floresta primária. Os diplópodos tiveram uma relação positiva com a massa do material lenhoso, com o estoque de carbono, nitrogênio, potássio, cálcio e as bases trocáveis na plantação florestal de *Cedrelinga*. Os isópodos foram positivamente relacionados com o estoque de cálcio, a relação C:N e as bases trocáveis na floresta primária e na plantação florestal de *Cedrelinga*. A inoculação dos *P. corethrurus* adultos e juvenis, no experimento de mesocosmos aumentaram consideravelmente as concentrações de nitrato, amônio e N-mineral no solo, especialmente no tratamento com as minhocas

adultas. Ambos os tipos de minhocas foram mais ativos no tratamento com a liteira de *Cedrelinga*, espécie de liteira que perdeu mais peso durante o experimento de mesocosmos. Assim, os macro-invertebrados estão intimamente associados aos processos de decomposição e da ciclagem de nutrientes, que são de fundamental importância para a manutenção da produtividade dos sistemas de produção.

Resumen

Se identificaron las relaciones entre los macro-invertebrados del suelo, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y los stocks de carbono y nutrientes en la hojarasca, en cuatro tipos de formaciones vegetales: bosque primario, bosque secundario, plantaciones forestales de *Cedrelinga catenaeformis* y de *Simarouba amara*. El estudio se ejecutó en el "Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera" (CIJH) del "Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana" (IIAP), situado 200 km al sur de la ciudad de Iquitos (Región de Loreto, Perú); la precipitación anual fue de 2674 mm y la temperatura media mensual fue de 26°C. El bosque primario presentó la mayor cantidad de hojarasca acumulada sobre el suelo durante la época seca; el stock de carbono almacenado en la hojarasca fue mayor en el bosque primario que en otros tratamientos en la época lluviosa, decreciendo en los cuatro tipos de vegetación en la época seca. Las plantaciones forestales de *C. catenaeformis* y *S. amara* presentaron las mayores concentraciones de carbono en el suelo, principalmente en la época seca. La plantación forestal de *C. catenaeformis* presentó altas concentraciones y stocks de nitrógeno, posiblemente por ser una leguminosa y estar fijando y liberando este nutriente. Durante el proceso de descomposición, los contenidos residuales de carbono fueron bajos y similares en los cuatro tipos de vegetación hasta el final del experimento, coincidiendo con la pérdida de peso de la hojarasca; los contenidos residuales de P, K, Ca y Mg se presentaron variables y bajos al inicio y durante la descomposición, en todos los tratamientos. La plantación forestal de *S. amara* presentó las más altas densidades de macro-invertebrados del suelo, seguida por el bosque primario, con predominancia de los grupos sociales (Isoptera y Formicidae), garantizando así una eficiente colonización y actividad de la fauna del suelo en la descomposición de la materia orgánica y en la estructuración del suelo. Hubo evidencia puntual de relaciones (positivas y negativas) con algunos grupos específicos de los macro-invertebrados (Formicidae, Diplopoda e Isopoda). Formicidae tuvo relaciones positivas con la masa total de la hojarasca y su stock de fósforo y calcio en el bosque primario. Diplopoda tuvo una relación positiva con las ramas, stock de carbono, nitrógeno, potasio, calcio y las bases intercambiables en la plantación forestal de *C. catenaeformis*. Isopoda fue positivamente relacionado con el stock de calcio, la relación C:N y las bases intercambiables en el bosque primario y en la plantación forestal de *C. catenaeformis*. La inoculación de la lombriz de tierra *Pontoscolex corethrurus* (juveniles y adultos), en el experimento en invernadero, aumentó considerablemente las concentraciones de nitrato, amonio y N-

mineral en el suelo, especialmente en el tratamiento con las lombrices adultas. Ambos tipos de lombrices fueron más activos en el tratamiento con la hojarasca de *C. catenaeformis*; especie de hojarasca que perdió más peso durante el experimento en invernadero. Así, los macro-invertebrados están íntimamente asociados a los procesos de descomposición y de reciclaje de nutrientes, que son de fundamental importancia para la conservación del ciclo de nutrientes y el mantenimiento de la productividad de los bosques y plantaciones forestales en la Amazonía peruana.

Abstract

The present study tested for relationships between the soil macro-invertebrates and the availability of carbon and nutrient stocks in the litter layer and in the soil, in four types of vegetation: primary forest (FP), secondary forest (FS), and in forest plantations of *Cedrelinga catenaeformis* (PFC or *Cedrelinga*) and *Simarouba amara* (PFS or *Simarouba*). Field work data were collected at the "Jenaro Herrera Research Station" (CIJH) of the "Peruvian Amazonia Research Institute" (IIAP), located 200 km above the city of Iquitos (Loreto-Perú), with annual precipitation of 2,674 mm and a monthly mean temperature of 26°C. Primary forest had the largest quantities of accumulated litter on the soil surface during the dry season. Carbon stocks were also highest in the primary forest during the rainy season, decreasing in all four vegetation types during the dry season. The forest plantations of *Cedrelinga* and *Simarouba* had the largest concentrations of carbon in soil, especially during the dry season. The forest plantation of *Cedrelinga* presented high concentrations and stocks of nitrogen, probably because *Cedrelinga* is a leguminous tree and might be fixing this nutrient and releasing it into the soil. The residual contents of carbon were low and similar in the four vegetation types at the end of the decomposition process, coinciding with the weight loss of the litter layer; the residual contents of P, K, Ca and Mg were variable and low after the first month and during the decomposition process in all of the experimental treatments. The forest plantation of *Simarouba* was the ecosystem that had the highest densities of macro-invertebrates in the soil, followed by FP, with predominance of the social insect groups (termites and ants), guaranteeing an efficient colonization and activity of the soil fauna in the decomposition of the organic matter and in structuring the soil. There were significant relationships (positive and negatives) for some selected groups of macro-invertebrates (ants, diplopods and isopods). In the primary forest; ants showed a positive relationship with the total mass of litter and with its phosphorus and calcium stocks; the diplopods had a positive relationship with fine woody mass, with litter carbon, nitrogen, potassium and calcium stocks, and with exchangeable bases in the forest plantation of *Cedrelinga*; isopods were positively related with the litter stocks of calcium and of the exchangeable bases in the primary forest and in the forest plantation of *Cedrelinga*. The inoculation of adult and juvenile *P. corethrurus*, in the mesocosmos increased considerably the concentrations of nitrate, ammonium and mineral-N in the soil, especially in the treatment with the adult earthworms. Both earthworm types (adults and juvenils) were more active in the treatment with the litter

layer of *Cedrelinga*, the faster-decomposing litter during the mesocosmos experiment. Thus, the macro-invertebrates are intimately associated to the decomposition processes and to the different nutrients cycles that are of fundamental importance for the maintenance of the productivity of natural and agricultural production systems. The introduction and manipulation of soil macro-invertebrates in production systems then appears as a promising tool to improve Amazonian soil fertility and productivity.

Introdução geral

A bacia Amazônica contém a maior extensão de florestas tropicais na Terra, com uma área estimada de 6,2 milhões de km² (Skole & Tucker, 1993). Mais da metade dela está em território brasileiro (Pires & Prance, 1985), enquanto que a Amazônia peruana representa uma superfície de aproximadamente 770.000 km² (12,5 % do total da superfície amazônica, aproximadamente) (Kalliola & Puhakka, 1993). A maior parte da Amazônia peruana é constituída por floresta de baixa altitude (80-600 m s.n.m.), caracterizando-se por sua pouca variação topográfica, por seu complicado sistema de bacias hidrográficas e por suas grandes áreas de terra firme ou colinosas não-inundáveis (Kalliola & Puhakka, 1993). A floresta de terra firme cobre a maior parte da Amazônia peruana e pode ser considerada o principal ecossistema da região, com duas características básicas: estruturalmente homogênea em áreas muito extensas e geralmente com alta riqueza de espécies vegetais (Ruokolainen & Tuomisto, 1993).

Os solos da maioria dos ecossistemas florestais tropicais são antigos, muito intemperizados, pobres em nutrientes, com baixas reservas minerais e baixa capacidade de troca catiônica (Franken *et al.*, 1985). A manutenção do equilíbrio nutricional entre os diversos componentes de um ecossistema de alta biomassa sobre solos quimicamente pobres só é possível através da existência de uma alta diversidade biológica e de um eficiente mecanismo de conservação de nutrientes (Herrera *et al.*, 1978; Schubart *et al.*, 1984). As florestas parecem estar bem adaptadas para sobreviver nesses solos devido à eficiente e rápida reciclagem de nutrientes, ou seja, o processo em que estes são mineralizados através da decomposição da matéria orgânica que é o processo-chave da manutenção do equilíbrio natural do ecossistema tornando os nutrientes novamente disponíveis no sistema, (Jordan & Herrera, 1981).

A floresta possui mecanismos adaptativos que permitem a retenção de nutrientes, para otimizar o sistema, destacando-se entre eles o desenvolvimento de uma densa e superficial camada de raízes, que, funcionando como um filtro, evita perdas por lixiviação (Jordan & Stark, 1978). Estudos recentes dentro do projeto LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera), mostraram que a variabilidade interanual na precipitação afeta a hidrologia das bacias de drenagem e a vegetação terrestre. Observações e modelos indicam que a vegetação responde a variações na precipitação com uma maior produtividade e armazenamento de carbono durante anos mais úmidos (Artaxo *et al.*, 2001).

Porém, apesar dos resultados existentes sobre a entrada de carbono e nutrientes no sistema, pouco ainda se sabe sobre a qualidade da liteira entrando nos sistemas e a disponibilidade de nutrientes no solo para as plantas, sendo que os teores de carbono, nitrogênio e lignina determinam a qualidade inicial do material vegetal e conseqüentemente, a velocidade de sua decomposição e da liberação de seus nutrientes para o solo (Aber & Melillo, 1991).

A fauna do solo desempenha um papel importante na regulação dos processos que determinam a fertilidade do solo no tropico úmido (Lavelle, 1988), sendo que na floresta madura e sistemas diversificados, a composição florística garantiu uma comunidade diversa de macro-invertebrados (Tapia-Coral, 1998). Assim mesmo, as minhocas, influem na distribuição da matéria orgânica, participando na estrutura física do solo e influenciando a mineralização do nitrogênio (Lavelle & Pashanasi, 1989).

Na Amazônia, a interferência humana está causando mudanças nos processos que mantêm a sustentabilidade de seus ecossistemas (Fearnside, 1992; Fearnside, 1996; Barbosa & Fearnside, 1996), sendo que o desmatamento é a ameaça mais séria para a conservação dos recursos naturais. O desmatamento tem impactos ambientais severos, perda de biodiversidade (Myers, 1992), perda das funções da floresta na ciclagem de água (Lean *et al.*, 1996) exposição do solo à erosão (Barbosa & Fearnside, 2000) e armazenamento do carbono (Fearnside, 2000). No Brasil, o desmatamento foi de 583.300 km² até 2000 (INPE, 2001). No Perú, o desmatamento alcançou 69,482 km² até 1990, o que representava 7,26 % do total coberto por floresta (INRENA, 1997).

Na Amazônia, pelo menos 80% das áreas desmatadas estão agora sob pastagens; e, por conta de sua baixa sustentabilidade, metade destas pastagens encontram-se atualmente em diferentes níveis de degradação e abandono (Fearnside, 1996; 1997). No sistema tradicional de cultivo praticado pelos pequenos produtores na região, após a derruba manual e queima da floresta segue-se um período relativamente curto de produção agrícola; logo há uma forte queda na produtividade e estas áreas são abandonadas, formando-se no lugar uma floresta secundária (capoeira) por um período prolongado de abandono ou pousio (Mesquita *et al.*, 1998). A maioria das práticas usuais de manejo do solo tem efeito negativo sobre a comunidade da fauna do solo, independentemente de seus eventuais efeitos positivos sobre o pH do solo, porque as comunidades de invertebrados do solo são muito sensíveis às mudanças da cobertura do solo (Lavelle & Pashanasi, 1989; Lavelle *et al.*, 1992). Na Amazônia toda, cerca de 53 milhões de ha (INPE, 2001) necessitam ser recuperados e reintroduzidos ao processo produtivo com o objetivo

simultâneo de reduzir os impactos ecológicos de novos desmatamentos e aumentar a produtividade e rentabilidade econômica de forma sustentável (Vieira *et al.*, 1993).

No lugar de estudo (Jenaro Herrera, na Amazônia peruana), em 1967 iniciou-se um projeto de instalação de pastagens para criação de gado e culturas anuais, promovido pelo Ministério de Agricultura com o apoio da COTESU - Cooperação Técnica Suíça (Claussi *et al.*, 1992). Depois que estas áreas ficaram degradadas, pelas razões já conhecidas, foram instaladas plantações florestais de árvores madeiráveis de espécies promissoras da época, para a recuperação das áreas degradadas da região (Claussi *et al.*, 1992). Os plantios florestais seriam capazes de tornar produtivas as áreas degradadas, melhorando sua função ecológica (Szott *et al.*, 1991; Fernandes *et al.*, 1994), incentivar o fornecimento de sementes para a produção de mudas florestais, além de permitir um retorno econômico com a produção de madeira e contribuir para a conservação das florestas originais, que não precisariam, mais serem cortadas para fornecer madeira (Magalhães, 1979).

Assim, em condições favoráveis, após 16 anos, as plantações florestais teriam recomposto o ciclo de nutrientes, estimulado e incrementado a atividade biológica do solo favorecendo a fertilidade e produtividade do sistema, permitindo a obtenção de um maior conhecimento sobre a ecologia da fauna do solo e o seu papel na recuperação do solo em ambientes manejados na Amazônia.

No capítulo 1, são apresentados os resultados das concentrações e estoque de carbono e nutrientes na interface solo - liteira nos diferentes tipos de vegetação; no capítulo 2, apresenta-se o experimento de decomposição das folhas das duas plantações florestais: *Cedrelinga catenaeformis* e *Simarouba amara* e a mistura de ambas as espécies; colocando-as nos quatro diferentes tipos de vegetação estudados (além das duas plantações florestais, também capoeira e floresta); no capítulo 3, apresenta-se as densidades, biomassas e diversidades dos macro-invertebrados nos diferentes tipos de vegetação; no capítulo 4, verifica-se a relação existente entre a biomassa dos macro-invertebrados e o estoque de carbono e nutrientes na liteira e, no capítulo 5, apresenta-se o efeito da inoculação de *Pontoscolex corethrurus* (uma das minhocas comumente encontrada durante o estudo) sobre a disponibilidade de nitrogênio mineral, em experimento de casa-de-vegetação.

Objetivo Geral

Estabelecer a relação entre os macro-invertebrados do solo e a disponibilidade de nutrientes no solo e os estoques de carbono e nutrientes na liteira em diferentes tipos de vegetação de terra firme da Amazônia peruana.

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no “Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera” (CIJH) do “Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana” (IIAP), com uma área de 2567 ha, situado 200 km ao sul da cidade de Iquitos, na margem direita do Rio Ucayali, na província de Requena (Distrito de Jenaro Herrera, Região de Loreto-Perú), nas coordenadas 73°40' O e 4°54' S (Claussi *et al.*, 1992) (Figura 1.1).

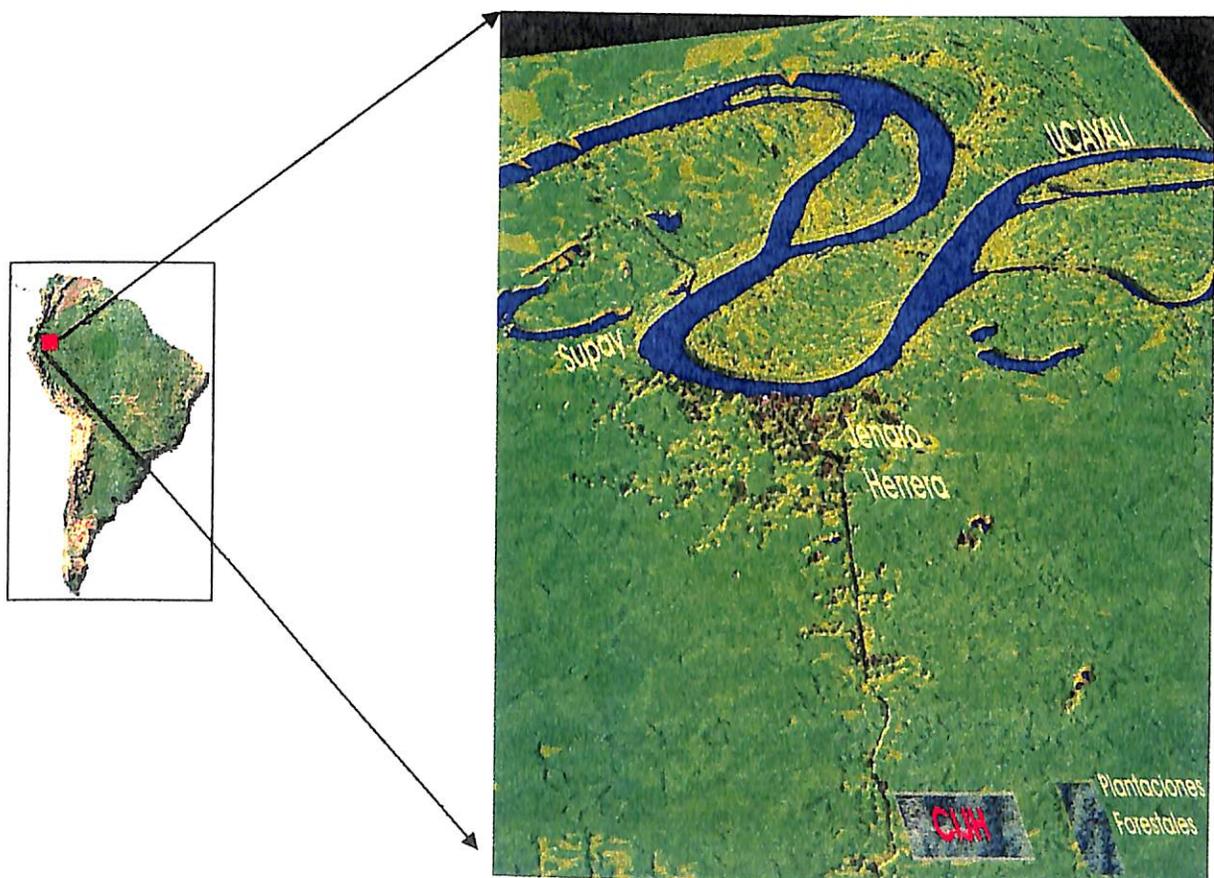


Figura 1: Localização da área de estudo, mostrando o “Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera” na Amazônia peruana.

Histórico da área de estudo

A história do CIJH iniciou-se em 1967, quando a floresta foi derrubada para a instalação de cultivos anuais e de pastagens para criação de gado. Depois que estas ficaram degradadas, em 1969, começaram as primeiras plantações florestais de *Swietenia macrophylla* e *Cedrella odorata*, as quais não deram certo, já que foram atacados pela larva de *Hypsiphilla*. Assim, em 1971 começaram as plantações de *Cedrelinga catenaeformis*, que se constituem nas plantações mais antigas do CIJH. Em 1972, foram feitos plantios de mais espécies madeireiras consideradas promissoras na época: além da *C. catenaeformis*, foram plantadas *Simarouba amara* e *Guateria elata* (Claussi *et al.*, 1992).

Em 1983, o IIAP assumiu as responsabilidades das pesquisas no CIJH, continuando em 1985 com a instalação de novas plantações florestais de *C. catenaeformis* e *S. amara*, chamadas “ensaios de seleção”, com um desenho estatístico formal de tratamentos simples ao acaso com três repetições.

As árvores florestais foram instaladas sobre Ultissolos nas ladeiras de terraços altos, caracterizados por um pH muito ácido e com uma disponibilidade de nutrientes muito baixa (Abadie, 1976, apud Claussi *et al.*, 1992).

As capoeiras se estabeleceram sobre as pastagens abandonadas de diferentes idades e apresentam uma vegetação pioneira típica das capoeiras da Amazônia, dominada por *Vismia* sp. e *Cecropia* sp. A floresta primária é do tipo Floresta Densa Tropical Úmida de Terra Firme (Claussi *et al.*, 1992).

Delineamento experimental

O delineamento foi estabelecido em quatro tipos de vegetação (ou tratamentos) com três repetições cada uma, em parcelas de 50 x 50 m, todas em terra firme: Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga catenaeformis* (Ducke) Ducke (PFC ou *Cedrelinga*), Plantação Florestal de *Simarouba amara* Aublet (PFS ou *Simarouba*) de 15 e 16 anos de idade, respectivamente e Floresta Secundária ou Capoeira (FS ou CAP) abandonada faz 16 anos aproximadamente (Apêndice 1).

Descrição das espécies

Cedrelinga catenaeformis Ducke (Mimosaceae (Leguminosae)) “cedrorana”, é uma árvore grande, de casca grossa, rugosa, de pouca ocorrência na floresta nativa de terra firme; preferencialmente com bom drenagem, tem flores sésses, verde-amareladas; frutos

legume equidistantemente articulados, pendentes: quando maduro quebra-se nas articulações. A madeira lembra à primeira vista o cedro, porém é um pouco mais grosseira, recebendo bom acabamento (Silva *et al.*, 1977).

Simarouba amara Aubl (Simarubaceae) "marupá", é uma árvore grande, produtora de boa madeira, muito resistente ao ataque de insetos; a casca, principalmente da raiz, tem aplicações medicinais. Ocorre na floresta nativa de terra firme, em solo argiloso ou arenoso, e em capoeiras. A madeira é usada para caixotaria, forros, palitos de fósforos, tamancos, marcenaria em geral, etc. (Silva *et al.*, 1977).

Clima no CIJH

Os dados de clima, registrados na Estação Climatológica do CIJH nos últimos seis anos mostraram uma precipitação anual que varia de 1384 mm.ano (1998) a 2674 mm.ano (2001). A temperatura média variou de 31,1 °C como máxima no ano 2002 e 21,8°C como mínima nos anos 1999 e 2000 (Tabela 1).

Tabela 1: Precipitação anual (mm) e temperatura media anual máximas e mínimas (°C) no período 1997 – 2002 no CIJH.

<i>Anos</i>	<i>Precipitação (mm)</i>	<i>Temperatura máxima (°C)</i>	<i>Temperatura mínima (°C)</i>
1997	1695	29,1	22,7
1998	1384	29,2	22,4
1999	1547	28,7	21,8
2000	1521	29,4	21,8
2001*	2674	30,1	22,0
2002	2593	31,1	22,0

Fonte: Estação Climatológica do CIJH. * Ano do estudo

CAPÍTULO I

Carbono e nutrientes na interface solo – liteira em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana

1.1 Introdução

Os solos da maioria dos ecossistemas florestais tropicais úmidos são antigos, muito intemperizados, ácidos, pobres em nutrientes, com baixas reservas minerais e baixa capacidade de troca catiônica (Franken *et al.*, 1985; Sanchez *et al.*, 1989). No entanto, as florestas parecem estar bem adaptadas para sobreviver nesses solos pobres, devido à eficiente e rápida reciclagem de nutrientes, o processo-chave da manutenção do equilíbrio natural dos ecossistemas em que os nutrientes são mineralizados através da decomposição da matéria orgânica, tornando-se novamente disponíveis no sistema (Jordan & Herrera, 1981).

A manutenção deste equilíbrio nutricional entre os diversos componentes de um ecossistema de alta biomassa sobre solos quimicamente pobres só é possível através da existência de uma alta diversidade biológica e de eficientes mecanismos de conservação de nutrientes (Herrera *et al.*, 1978; Schubart *et al.*, 1984). A retenção de nutrientes é feita, em parte, pelo desenvolvimento de uma densa e superficial camada de raízes, que, funcionando como um filtro, evita perdas por lixiviação (Jordan & Stark, 1978; Ribeiro *et al.*, 2002).

Na superfície do solo destas florestas tropicais, temporariamente acumula-se a liteira, que é o conjunto de resíduos orgânicos, principalmente vegetais depositados sobre o solo (Vieira, 1988), que se constitui na principal fonte de matéria orgânica nestes ecossistemas, sendo rapidamente decomposta pela ação de macro e microrganismos do solo (Luizão & Schubart, 1987; Teixeira & Bastos, 1989). A liteira é reconhecida como uma das principais fontes de nutrientes para o solo das florestas tropicais (Aber & Melillo, 1980; Blair, 1988), desempenhando também outros papéis importantes, como o de proteção física do solo, impedindo ou diminuindo fortemente a erosão superficial do solo (Ross *et al.*, 1990). As variações nas concentrações de nutrientes na liteira indicam a intensidade da ciclagem de nutrientes contidas nelas (Gama-Rodrigues & Barros, 2002).

Na Amazônia central, alguns estudos realizados em floresta de terra firme, indicam que o ecossistema tem uma contínua entrada anual de liteira de 8-10 t.ha⁻¹, cuja rápida

decomposição libera anualmente cerca de 4 t.ha⁻¹ de carbono (Kiinge & Rodrigues, 1968; Luizão, 1989; Luizão *et al.*, 1992).

Estudos recentes indicam que a floresta amazônica pode ter um papel substancial como sorvedouro de carbono da atmosfera (Grace *et al.*, 1995; Phillips *et al.*, 1998). Assim, utilizando-se medidas de “eddy correlation” (correlação de vórtices turbulentos) do fluxo de CO₂ em torres instalados em três sítios da Amazônia brasileira, estimou-se que a floresta estaria absorvendo entre 1-2 toneladas C ha⁻¹ a⁻¹ (Pesquisa FAPESP, 2003). Outras estimativas, usando métodos diferentes no Peru e no Ecuador, na sua maioria indicam uma fixação de carbono mais alta (6-8 toneladas C ha⁻¹ a⁻¹) (Malhi *et al.*, 1998; Malhi & Grace, 2000; Lewis *et al.*, 2004).

Porém, apesar dos resultados existentes sobre a entrada de carbono e nutrientes nos sistemas, pouco ainda se conhece sobre a disponibilidade de nutrientes no solo e sobre a qualidade da liteira que estaria entrando nos diferentes tipos de vegetação estudados neste trabalho, sendo que os teores de carbono, nitrogênio e lignina determinam a qualidade inicial do material vegetal (Aber & Melillo, 1991).

1.2 Objetivos

- Estimar a massa de liteira acumulada sobre o solo em floresta madura, plantações florestais e capoeira de terra firme.
- Estimar as concentrações e estoques de carbono e nutrientes na camada superior do solo e na liteira em floresta madura, plantações florestais e capoeira de terra firme.

1.3 Métodos

A área de estudo, o delineamento experimental e as espécies das plantações florestais: *Cedrelinga catenaeformis* e *Simarouba amara* foram explicados na seção anterior.

1.3.1 Clima no período de estudo

Durante o período de estudo (2001), verificou-se uma precipitação anual de 2674 mm, com totais mensais variando de 410 mm (março) a 129 (setembro). Para o presente estudo, considerou-se como estação “chuvosa” os dois meses mais chuvosos do ano (março e abril) e como estação “seca” aquela com menos chuvas (agosto e setembro). A

temperatura média variou de 32,5 (setembro) como máxima e 20,3 (junho) como mínima (Figura 1.1).

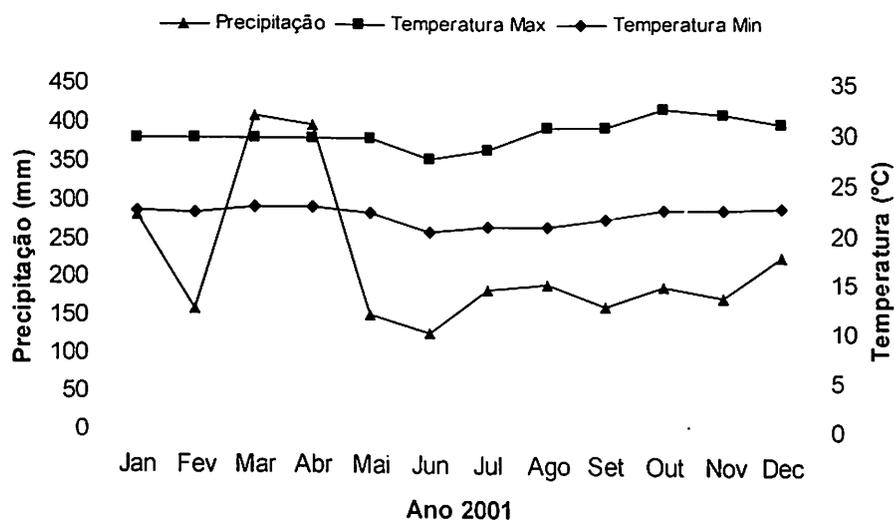


Figura 1.1: Totais mensais da precipitação pluviométrica (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) do ano 2001, registrados na estação meteorológica do CIJH.

1.3.2 Metodologia das coletas

1.3.2.1 Coleta de solo

Em cada uma das parcelas dos quatro tipos de vegetação, foram coletados três amostras compostas de solo da camada de 0-10 cm de profundidade, com auxílio de um trado metálico. Cada amostra foi composta de 10 sub-amostras coletadas em zigue-zague em toda a área da parcela; as amostras foram armazenadas em sacos plásticos e transportadas para o laboratório. As coletas foram feitas na estação chuvosa (abril) e seca (setembro) de 2001.

Da mesma forma, foram feitas coletas do solo, em todas as parcelas dos quatro tipos de vegetação, em novembro do 2002 (época de transição), para análises de disponibilidade de nitrogênio mineral no solo.

1.3.2.2 Coleta da liteira

Em cada parcela dos quatro tipos de vegetação, foram coletadas 20 amostras de liteira com auxílio de um quadro de madeira de 25 x 25 cm, ao longo de um transecto em linha reta, cortando-se a liteira contida dentro do quadro com ajuda de uma faca. Após a extração manual dos macro-invertebrados na liteira (ver Cap. III), esta foi acondicionada

em sacos plásticos e levada ao laboratório para a triagem inicial e as posteriores análises químicas.

1.3.3 Triagem inicial do solo

As amostras de solo foram abertas e colocadas em bandejas de isopor e secadas ao ar livre. Depois de seco, o solo foram retiradas com auxílio de pinças, as raízes, pedaços de carvão e fragmentos orgânicos (vegetais e animais). O solo seco ao ar foi triturado e passado em peneira de 2 mm no CIJH e depois transportado para as análises químicas no “Laboratório de Análisis de Suelos y Tejidos Vegetales” do “Instituto Nacional de Investigación Agrária” (INIA/ICRAF) na cidade de Pucallpa, Peru.

1.3.4 Triagem inicial da liteira

As amostras de liteira também foram secas ao ar livre em bandejas de isopor. Depois de seca, a liteira foi limpa manualmente com auxílio de pincéis e separada em dois componentes principais: folhas e material lenhoso. O material reprodutivo (flores e frutos) foi colocado juntamente com o material lenhoso, por apresentar pouca quantidade. Depois de seca, a liteira foi pesada e moída em moinho portátil no próprio CIJH e daí transportada para Manaus, onde foi moída novamente num moinho elétrico com peneira de 2 mm para as análises químicas de carbono e nutrientes no “Laboratório Temático de Solos e Plantas” do INPA/CPCA.

1.3.5 Análises do solo

1.3.5.1 Granulometria, pH e acidez trocável

A granulometria foi feita pelo método de fracionamento granulométrico (Embrapa, 1997). O pH em H₂O e em KCl foi medido em mistura de solo:água deionizada e solo:KCl, na proporção 1:2,5 pelo método potenciométrico (Embrapa, 1997). A acidez trocável ($Al^{3+}+H^{+}$) foi determinada através da agitação pelo método complexométrico e titulação com NaOH 0,025 N, usando-se fenolftaleína como indicador (Hendershot *et al.*, 1993).

1.3.5.2 Carbono orgânico e nutrientes

O carbono orgânico do solo foi determinado por digestão úmida e titulação seguindo o método de Nelson & Sommers (1982), descrito por Anderson & Ingram (1993).

A extração de fósforo disponível foi realizada através do extrator Mehlich I (H_2SO_4 0,0125 M + HCl 0,05 M), e a determinação foi feita pelo método de colorimetria com molibdato de amônio, na presença de ácido ascórbico (Olsen & Sommers, 1982). A leitura foi realizada num espectrofotômetro UV visível, marca Milton Roy 501. Potássio, cálcio e magnésio foram extraídos pela ação de nitrato de amônia (NH_4NO_3) e ácido nítrico (HNO_3) e depois lidos num Espectrofotômetro de Absorção Atômica (AAS), marca Perkin-Elmer.

1.3.5.3 Disponibilidade de nitrogênio

A determinação do N-mineral do solo (NH_4^+ e NO_3^-) foi feita pelo método de extração com cloreto de potássio (KCl 2N). A cada amostra de 20 g de solo fresco, foram adicionados 100 ml de KCl 2N. As determinações foram feitas por colorimetria, seguindo os métodos de Anderson & Ingram (1993) para o nitrato e de Koroleff (1976) para o amônio.

1.3.6 Análises de carbono orgânico, nutrientes, polifenóis e lignina da liteira

A determinação de carbono e nitrogênio total foi realizada usando-se o Auto-Analisador CHN de fase gasosa da marca Sumigraph, modelo NC-900.

As concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram analisadas após digestão sulfúrica com peróxido de hidrogênio e sulfato de lítio (EMBRAPA, 1997). As leituras de K, Ca e Mg foram feitas num Espectrofotômetro de Absorção Atômica, marca Perkin Elmer e o P no Espectrofotômetro UV visível 1240, marca Shimadzu.

Os polifenóis totais foram extraídos usando-se o método de Folin-Denis, que consiste na extração total dos compostos polifenólicos, incluindo taninos hidrolizáveis e condensados, com uma solução de metanol a 50 % (Anderson & Ingram, 1993).

Para a lignina foi usado o método TSBF, que consiste na extração de fibras do material vegetal através do cozimento com solução de ácido sulfúrico e cetiltrimetil brometo de amônio (CTAB) sob condições controladas (Anderson & Ingram, 1993).

1.3.7 Estoque de carbono e nutrientes na liteira

Os estoques de carbono orgânico e nutrientes foram determinados pela multiplicação da massa de liteira depositada sobre o solo pela concentração de cada nutriente, em ambas as épocas de coleta.

1.3.8 Análises dos dados

Foram feitas Análises de Variância (ANOVA) para verificar as diferenças das médias entre os tipos de vegetação (tratamentos) e, quando estas ocorreram, foi aplicado o teste de Tukey ao nível de significância de 5 % para verificar onde as diferenças ocorreram.

1.4 Resultados

1.4.1 Caracterização do solo

1.4.1.1 Granulometria, pH e acidez trocável

A granulometria, composta pelas frações de argila, limo e areia, foi variada nos quatro tipos de vegetação. Em ambas épocas de coleta, (chuvosa e seca), a argila foi significativamente maior na CAP do que nos demais tipos de vegetação. Na época chuvosa, o limo foi significativamente maior na PFC e, na época seca, significativamente maior na FP do que nos demais tipos de vegetação. A percentagem de areia mostrou diferenças significativas entre os quatro tipos de vegetação na época chuvosa, sendo maior na FP e PFS do que na CAP e PFC. (Tabela 1.1).

Em ambas as épocas de coleta (chuvosa e seca), os valores de pH em H₂O e KCl não apresentaram diferenças significativas, sendo o pH em H₂O similar nos quatro tipos de vegetação e ligeiramente mais alto na floresta primária (FP) na época chuvosa e na plantação florestal de *Cedrelinga* (PFC) e capoeira (CAP) na época seca. O pH em KCl foi ligeiramente mais alto na CAP durante a época chuvosa e na plantação florestal de *Simarouba* (PFS) durante a época seca (Tabela 1.1).

Na época chuvosa, as concentrações de alumínio foram significativamente maiores na FP e CAP do que nas plantações florestais; no período seco, o alumínio foi quase similar em todos os tipos de vegetação, sendo ligeiramente maior na CAP e PFS do que na PFC e FP (Tabela 1.1). A acidez trocável, durante a época chuvosa, foi significativamente maior na CAP, seguida da FP, PFC e PFS respectivamente; no período seco, a acidez foi significativamente diferente entre os quatro tipos de vegetação, sendo a maior acidez registrada na PFC e a menor na PFS (Tabela 1.1).

Tabela 1.1: Granulometria, pH e acidez trocável do solo na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e a Capoeira (CAP), nas duas épocas de coleta, no CIJH. Os valores são médias \pm desvio-padrão. (n=3).

	Época de coleta	FP	PFC	PFS	CAP	ANOVA
Argila (%)	Chuvosa	23.8 \pm 3.5 a	30.5 \pm 3.1 b	29.8 \pm 1.0 c	37.8 \pm 2.6 d	F=52,9; p=0,001
	Seca	26.7 \pm 1.7 a	31.4 \pm 2.0 b	30.0 \pm 1.0 b	37,4 \pm 1,7 c	F=89,1; p=0,001
Limo (%)	Chuvosa	25.5 \pm 4.4 a	33.2 \pm 2.3 b	28.5 \pm 1.0 c	22.6 \pm 0,7 d	F=37,9; p=0,001
	Seca	31.3 \pm 1.7 a	29.3 \pm 1.7 b	28,4 \pm 0,0 c	22,4 \pm 0,0 d	F=122; p=0,001
Areia (%)	Chuvosa	50.6 \pm 7.9 a	36.3 \pm 5.1 b	41.6 \pm 1.0 c	39.5 \pm 2.0 c	F=19,3; p=0,001
	Seca	41.9 \pm 1.7 a	39.3 \pm 1.0 b	41,6 \pm 1,0 a	40,2 \pm 1,7 b	F=9,3; p=0,001
pH (H ₂ O)	Chuvosa	3,9 \pm 0,0	3,8 \pm 0,1	3,7 \pm 0,1	3,6 \pm 0,1	F=12,0; p=0,052ns
	Seca	3,6 \pm 0,1	3,8 \pm 0,1	3,7 \pm 0,1	3,8 \pm 0,1	F=13,0; p=0,085ns
pH (KCl)	Chuvosa	3,5 \pm 0,1	3,5 \pm 0,1	3,5 \pm 0,1	3,6 \pm 0,0	F=15,0; p=0,055ns
	Seca	3,6 \pm 0,1	3,7 \pm 0,1	3,8 \pm 0,1	3,7 \pm 0,0	F=10,0; p=0,088ns
Alumínio (cmol _c kg ⁻¹)	Chuvosa	95,5 \pm 0,6 a	94,1 \pm 0,8 a	75,4 \pm 0,5 b	95,3 \pm 0,8 a	F=5,6; p=0,05
	Seca	94,6 \pm 0,6 a	94,8 \pm 0,4 a	95,1 \pm 0,7 b	95,6 \pm 0,6 b	F=6,6; p=0,001
Acidez (cmol _c kg ⁻¹)	Chuvosa	3,5 \pm 0,6 a	4,5 \pm 0,1 b	4,4 \pm 0,2 b	4,6 \pm 0,3 b	F=22,6; p=0,001
	Seca	3,4 \pm 0,4 a	4,0 \pm 0,3 b	3,3 \pm 0,3 a	4,0 \pm 0,2 b	F=15,8; p=0,001

ns = não significativo ao nível de 5 %

1.4.1.2 Carbono orgânico e nutrientes no solo

As concentrações de carbono orgânico no solo encontradas nas plantações florestais de *Simarouba* e *Cedrelinga* foram significativamente diferentes e geralmente maiores do que na CAP e FP durante a época chuvosa. Na época seca, as concentrações de carbono orgânico diminuíram em todos os tipos de vegetação, porém ainda foram significativamente maiores na PFC do que nos demais tratamentos (Tabela 1.2).

As concentrações do nitrogênio total seguiram a mesma tendência que o carbono e também foram significativamente maiores no solo das plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*, do que na CAP e FP, durante a época chuvosa. Na época seca, o nitrogênio foi significativamente maior na PFC do que nos demais tratamentos (Tabela 1.2).

A relação C:N no solo foi muito similar nos quatro tipos de vegetação, em ambas as épocas de coleta, e não variou significativamente entre os tratamentos (Tabela 1.2).

A disponibilidade do nitrogênio foi significativamente diferente entre os tipos de vegetação, sendo que os teores de nitrogênio mineral foram maiores na CAP do que nos demais tratamentos. As concentrações de N-NO₃⁻ foram significativamente maiores na CAP e FP do que nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*. O N-NH₄⁺ foi significativamente maior na PFS e CAP do que na FP e PFC (Tabela 1.2).

As concentrações de fósforo disponível no solo na época chuvosa foram significativamente maiores nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba* do que na FP e CAP. Na época seca, as concentrações do fósforo diminuíram em todos os tratamentos, porém foram ainda significativamente maiores na CAP e PFC do que na FP e PFS (Tabela 1.2).

As concentrações de potássio disponível foram muito baixas em todos os tipos de vegetação amostrados. Na época chuvosa, foram significativamente maiores nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba* do que na CAP e FP; na época seca, as concentrações de potássio foram significativamente maiores apenas na PFC (Tabela 1.2).

Tabela 1.2: Carbono orgânico (g.kg⁻¹) e concentrações dos nutrientes minerais disponíveis no solo, na camada de 0-10 cm de profundidade na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e a Capoeira (CAP) nas duas épocas de coleta, no CIJH. Os valores são médias \pm desvio-padrão (n=3).

Nutrientes	Época de coleta	FP	PFC	PFS	CAP	ANOVA
Carbono (g.kg ⁻¹)	Chuvosa	16,2 \pm 2,3 a	21,1 \pm 0,6 b	22,7 \pm 0,3 b	18,4 \pm 0,8 c	F=64,6; p=0,001
	Seca	16,8 \pm 1,0 a	19,8 \pm 1,7 b	17,9 \pm 0,5 c	19,5 \pm 0,8 b	F=19,7; p=0,001
Nitrogênio (g.kg ⁻¹)	Chuvosa	0,8 \pm 0,1 a	1,1 \pm 0,0 b	1,1 \pm 0,0 b	0,9 \pm 0,04 a	F=69,1; p=0,001
	Seca	0,8 \pm 0,1 a	0,99 \pm 0,1 b	0,9 \pm 0,0 b	0,97 \pm 0,04 b	F=19,04; p=0,001
C:N	Chuvosa	20,0 \pm 0,3	19,9 \pm 0,3	19,7 \pm 0,6	20,0 \pm 0,8	F=1,26; p=0,299ns
	Seca	20,0 \pm 0,1	20,0 \pm 0,1	20,1 \pm 0,4	20,1 \pm 0,5	F=5,76; p=0,325ns
P (g.kg ⁻¹)	Chuvosa	5,84 \pm 0,64 a	8,48 \pm 1,1 b	7,87 \pm 1,18 c	5,77 \pm 0,23 d	F=30,5; p=0,001
	Seca	4,86 \pm 0,38 a	5,32 \pm 0,9 b	4,37 \pm 0,55 a	5,34 \pm 0,16 b	F=8,3; p=0,001
N-mineral	Transição	18,4 \pm 0,4 a	15,1 \pm 2,9 b	16,0 \pm 2,3 b	21,3 \pm 3,6 c	F=13,7; p=0,001
NO ₃ (mg.kg ⁻¹)	Transição	14,6 \pm 0,3 a	11,6 \pm 2,4 b	10,9 \pm 2,0 b	16,8 \pm 4,0 c	F=14,1; p=0,001
NH ₄ (mg.kg ⁻¹)	Transição	3,8 \pm 0,2 a	3,6 \pm 0,5 a	5,2 \pm 0,6 b	4,5 \pm 0,6 c	F= 23,6; p=0,001
K (cmol _c kg ⁻¹)	Chuvosa	0,07 \pm 0,01 a	0,13 \pm 0,02 b	0,11 \pm 0,03 b	0,08 \pm 0,01 a	F=29,8; p=0,001
	Seca	0,08 \pm 0,01 a	0,09 \pm 0,01 a	0,07 \pm 0,01 b	0,07 \pm 0,01 b	F=23,4; p=0,001
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	Chuvosa	0,05 \pm 0,01 a	0,08 \pm 0,01 b	0,06 \pm 0,02 a	0,06 \pm 0,01 a	F=12,6; p=0,001
	Seca	0,06 \pm 0,01 a	0,07 \pm 0,01 a	0,04 \pm 0,0 b	0,04 \pm 0,01 b	F=101; p=0,001
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	Chuvosa	0,05 \pm 0,01 a	0,07 \pm 0,01 b	0,06 \pm 0,01 a	0,07 \pm 0,01 b	F=45,52; p=0,000
	Seca	0,05 \pm 0,01 a	0,06 \pm 0,0 b	0,05 \pm 0,01 a	0,06 \pm 0,0 b	F=14,7; p=0,001

ns = não significativo ao nível de 5 %

As concentrações de cálcio disponível também foram muito baixas em todos os tipos de vegetação amostrados, porém encontrou-se diferenças significativas em ambas

épocas de coleta (chuvosa e seca), com maiores concentrações na PFC do que nos demais tipos de vegetação (Tabela 1.2).

As concentrações de magnésio disponível foram significativamente diferentes entre os quatro tipos de vegetação, sendo maiores na PFC e na CAP do que na FP e PFS durante a época chuvosa e seca, (Tabela 1.2).

1.4.2 Caracterização da liteira

1.4.2.1 Massa da liteira acumulada sobre o solo

A massa total de liteira fina acumulada sobre o solo (folhas + material lenhoso), variou muito entre as duas épocas de coleta e entre os quatro tipos de vegetação amostrados: na época chuvosa (março e abril), a quantidade de folhas e a massa total da liteira foram significativamente maiores na FP do que nos demais tipos de vegetação (Figura 1.2 e Tabela 1.3).

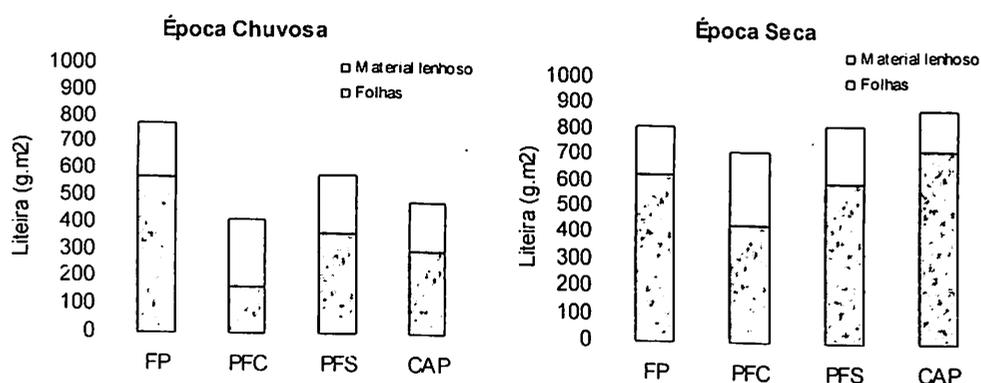


Figura 1.2: Massa de liteira (folhas e material lenhoso) (g.m^2), nas épocas chuvosa e seca na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e a Capoeira (CAP). As barras representam a média de três parcelas ($n=3$).

Na estação seca (agosto e setembro do 2001), houve um acúmulo de liteira sobre o solo nos quatro tipos de vegetação, sendo as quantidades totais de liteira e de folhas significativamente maiores na CAP do que nos demais tratamentos (Figura 1.2 e Tabela 1.3). Nas plantações florestais de *Simarouba* e *Cedrelinga* encontraram-se as maiores quantidades de material lenhoso, especialmente na estação chuvosa (Tabela 1.3).

Tabela 1.3: Massa de liteira acumulada sobre o solo (g m^{-2}), na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nas duas épocas de coleta, no CIJH. Os valores são médias \pm desvio-padrão (n=3).

Época de Coleta	Componente	FP	PFC	PFS	CAP	ANOVA
Chuvosa	Folhas	572 \pm 136 a	170 \pm 60 b	359 \pm 108 c	296 \pm 81 d	F=169; p=0,00
	Material lenhoso	202 \pm 130 a	243 \pm 140 b	222 \pm 118 a	182 \pm 103 ac	F=2,7; p=0,045
	Total	774 \pm 194 a	413 \pm 125 b	581 \pm 143 c	478 \pm 112 bd	F=74,2; p=0,00
Seca	Folhas	624 \pm 206 a	431 \pm 170 b	600 \pm 138 a	725 \pm 163 c	F=30,4; p=0,000
	Material lenhoso	187 \pm 105 a	284 \pm 148 b	222 \pm 80 c	152 \pm 83 b	F=16,3; p=0,00
	Total	811 \pm 206 a	715 \pm 237 b	822 \pm 175 a	877 \pm 181 c	F=6,7; p=0,0002

Com respeito às diferenças entre os dois períodos de coleta, observou-se que na estação seca acumulou-se uma quantidade de folhas significativamente maior (F=203; P<0,001) na FP do que nos demais tipos de vegetação; porém os quatro tipos de vegetação apresentaram valores similares de material lenhoso, embora tenha se observado um ligeiro incremento na PFC durante este período (Tabela 1.3).

1.4.2.2 Carbono orgânico e nutrientes na liteira

Na época chuvosa, as concentrações de carbono orgânico na liteira foram significativamente maiores na FP e PFC do que nos outros tratamentos. Na estação seca, os teores de carbono foram maiores na PFC do que nos demais tratamentos. As concentrações de nitrogênio foram maiores na PFC do que nos demais tratamentos em ambas as épocas de coleta (chuvosa e seca); na chuvosa, a PFS também apresentou concentrações maiores do que na FP e CAP. A relação C:N apresentou valores significativamente menores na PFC do que na FP e CAP em ambas épocas de coleta; na chuvosa, a PFS também apresentou menores valores da relação C:N do que na FP e CAP (Tabela 1.4).

As concentrações de fósforo foram significativamente maiores na PFS do que nos demais tratamentos durante a época chuvosa; porém, na época seca, os teores de fósforo foram mais baixas em todos os tratamentos, e foram significativamente maiores na FP do que nos demais tratamentos (Tabela 1.4).

Na época chuvosa, as concentrações de potássio foram significativamente maiores na FP e na PFC do que nos demais tratamentos; na época seca, as concentrações de potássio foram mais baixas em todos os tratamentos, e foram significativamente maiores

na PFS e FP do que na PFC e CAP, observando-se um ligeiro incremento na CAP, em relação à época chuvosa (Tabela 1.4).

As concentrações de cálcio foram significativamente maiores na CAP do que nos demais tratamentos durante a época chuvosa; na época seca, no entanto, o cálcio teve concentrações mais altas do que na época chuvosa nas plantações florestais de *Cedrelinga* a *Simarouba*, com concentrações significativamente maiores nestes tratamentos do que nos demais (Tabela 1.4).

As concentrações de magnésio foram significativamente maiores na CAP e FP do que nas plantações florestais durante a época chuvosa; na época seca, o magnésio apresentou concentrações mais altas em todos os tratamentos, e as concentrações foram significativamente maiores na PFC do que nos demais tratamentos (Tabela 1.4).

Tabela 1.4: Concentrações de carbono orgânico (%), nutrientes (g kg^{-1}), polifenóis (%) e lignina (%) na liteira em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nas duas épocas de coleta, no CIJH. Os valores são médias \pm desvio-padrão (n=3).

Nutrientes	Época de coleta	FP	PFC	PFS	CAP	ANOVA
Carbono (%)	Chuvosa	41,5 \pm 1,0 a	40,3 \pm 5,2 a	36,7 \pm 8,9 b	39,4 \pm 3,1 c	F=8,6; p=0,000
	Seca	39,2 \pm 2,4 a	41,5 \pm 2,2 b	39,5 \pm 2,5 a	37,6 \pm 1,8 c	F=31,4; p=0,000
Nitrogênio (%)	Chuvosa	1,54 \pm 0,2 a	1,93 \pm 0,3 b	1,73 \pm 0,3 c	1,49 \pm 0,2 d	F=44,6; p=0,000
	Seca	1,71 \pm 0,2 a	2,18 \pm 0,2 b	1 58 \pm 1,0 c	1,39 \pm 0,1 d	F=31,4; p=0,00
C/N	Chuvosa	27,2 \pm 2,8 a	21,2 \pm 3,5 b	21,2 \pm 4,7 b	26,8 \pm 3,4 c	F=49,4; p= 0,000
	Seca	23,2 \pm 3,1 a	19,2 \pm 1,4 b	25,1 \pm 2,3 c	27,3 \pm 2,5 d	F=121; p=0,00
P (g kg^{-1})	Chuvosa	0,89 \pm 0,2 a	0,96 \pm 0,2 b	1,45 \pm 0,3 c	0,77 \pm 0,3 d	F=78,8; p=0,00
	Seca	0,77 \pm 0,1 a	0,51 \pm 0,1 b	0,34 \pm 0,1 c	0,20 \pm 0,1 d	F=363; p=0,00
K (g kg^{-1})	Chuvosa	7,03 \pm 4,1 a	4,39 \pm 1,6 b	2,86 \pm 2,1 c	1,25 \pm 0,2 d	F=60,9; p=0,000
	Seca	2,01 \pm 0,2 a	1,79 \pm 0,2 b	2,10 \pm 0,2 a	1,48 \pm 0,2 c	F=94,4; p=0,05
Ca (g kg^{-1})	Chuvosa	2,47 \pm 0,9 a	2,39 \pm 0,9 b	2,52 \pm 0,4 a	5,62 \pm 1,6 c	F=136; p=0,00
	Seca	3,99 \pm 1,4 a	5,40 \pm 1,7 b	5,06 \pm 0,9 c	4,34 \pm 1,4 d	F=13,0; p=0,000
Mg (g kg^{-1})	Chuvosa	1,24 \pm 0,3 a	1,10 \pm 0,3 b	0,97 \pm 0,1 c	1,28 \pm 0,3 d	F=15,5; p=0,000
	Seca	1,72 \pm 0,4 a	2,27 \pm 0,6 b	1,31 \pm 0,2 c	1,45 \pm 0,4 d	F=53,2; p=0,00
Polifenóis (%)	Chuvosa	13,6 \pm 4,7 a	6,9 \pm 1,7 b	18,7 \pm 5,1 c	14,8 \pm 4,3 ad	F=82,3; p=0,00
	Seca	17,6 \pm 4,5 a	8,6 \pm 2,5 b	29,3 \pm 5,6 c	30,5 \pm 7,8 cd	F=218; p=0,003
Lignina (%)	Chuvosa	47,0 \pm 2,6 a	46,8 \pm 1,4 ab	50,9 \pm 3,1 c	47,0 \pm 1,4 ab	F=9,46; p=0,000
	Seca	45,5 \pm 7,2	47,9 \pm 7,2	46,6 \pm 3,9	47,1 \pm 1,7	F=0,53; p=0,6618ns

ns = não significativo

As concentrações de polifenóis na liteira foram significativamente menores na PFC do que nos demais tratamentos, tanto na época chuvosa como na seca. Na época seca, as concentrações foram mais altas em todos os tratamentos, sendo significativamente maiores na CAP e PFS do que na FP e PFC (Tabela 1.4).

A lignina na liteira foi significativamente maior na PFS do que nos demais tipos de vegetação na época chuvosa. Na época seca, a lignina na liteira não variou significativamente entre os tipos de vegetação, sendo seus conteúdos similares em todos os tratamentos (Tabela 1.4).

1.4.3 Estoque de carbono e nutrientes na liteira

Os estoques de carbono tiveram conteúdos que variaram de 1651 kg.ha⁻¹ na PFC a 3218 kg.ha⁻¹ na FP, durante a época chuvosa; na época seca, os estoques de carbono variaram entre 2967 kg.ha⁻¹ na PFC e 3301 kg.ha⁻¹ na CAP. Os estoques de carbono foram significativamente maiores na FP do que nos demais tratamentos na época chuvosa, porém não houve diferença significativa entre os tratamentos na estação seca (Tabela 1.5).

Tabela 1.5: Estoques de carbono e nutrientes na liteira (kg.ha⁻¹) na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nas duas épocas de coleta no CIJH. Os valores são médias \pm desvio-padrão (n=3).

Nutrientes	Época de coleta	FP	PFC	PFS	CAP	ANOVA
Carbono (kg.ha ⁻¹)	Chuvosa	3218 \pm 818 a	1651 \pm 593 b	2122 \pm 720 c	1891 \pm 494 d	F=64,5; p=0,000
	Seca	3192 \pm 901	2967 \pm 996	3243 \pm 706	3301 \pm 722	F=1,82; p=0,1446ns
Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)	Chuvosa	119 \pm 33,0 a	79,7 \pm 31,3 b	101 \pm 29,6 c	71,2 \pm 19,2 d	F=33,8; p=0,000
	Seca	140 \pm 46,4 a	155 \pm 51,2 ab	130 \pm 28,5ac	122 \pm 29,7ad	F=7,33; p=0,0001
C:N	Chuvosa	27,1 \pm 2,8 a	21,2 \pm 2,8 b	21,2 \pm 4,7 b	26,8 \pm 3,4 c	F=49,4; p=0,000
	Seca	23,2 \pm 3,1 a	19,2 \pm 1,4 b	25,1 \pm 2,3 c	27,3 \pm 2,5 d	F=122; p=0,00
P (kg.ha)	Chuvosa	6,9 \pm 2,3 a	3,9 \pm 1,5 bd	8,4 \pm 2,5 c	3,7 \pm 1,8 bd	F=75,3; p=0,00
	Seca	6,3 \pm 1,6 a	3,5 \pm 1,1 b	2,7 \pm 1,1 c	1,8 \pm 0,9 d	F=164; p=0,00
K (kg.ha)	Chuvosa	54,3 \pm 32,4 a	18,1 \pm 10,9 bc	17,3 \pm 14,5 bc	6,0 \pm 1,8 d	F=75,6; p=0,00
	Seca	16,3 \pm 4,4 a	12,9 \pm 4,7 b	17,2 \pm 3,9 a	13,0 \pm 3,5 bc	F=17,3; p=0,000
Ca (kg.ha)	Chuvosa	18,2 \pm 7,7 a	9,9 \pm 5,3 b	14,8 \pm 5,1 c	26,9 \pm 10,2 d	F=57,4; p=0,000
	Seca	31,7 \pm 11,9 a	37,7 \pm 11,9 a	41,4 \pm 11,0 ab	38,7 \pm 16,2 ac	F=5,26; p=0,00015
Mg (kg.ha)	Chuvosa	9,5 \pm 2,9 a	4,5 \pm 2,1 b	5,6 \pm 1,8 cd	6,1 \pm 2,2 cd	F=51,9; p=0,000
	Seca	13,9 \pm 4,2 a	15,9 \pm 6,2 a	10,7 \pm 3,1 b	12,8 \pm 4,9 ac	F=12,2; p=0,000

ns = não significativo ao nível de 5 %

Os estoques de nitrogênio foram significativamente diferentes em ambas épocas de coleta, sendo maiores na FP durante a época chuvosa e na PFC na época seca. A relação

C:N foi significativamente maior na FP e CAP do que nas plantações florestais em ambas as estações chuvosa e seca (Tabela 1.5).

Os estoques de fósforo foram os mais baixos encontrados nos quatro tipos de vegetação, em ambas épocas de coleta, sendo significativamente maiores na PFS e FP do que na PFC e CAP na estação chuvosa; na estação seca, os maiores valores foram encontrados na FP. Os estoques de potássio foram significativamente maiores na FP do que nos demais tipos de vegetação na época chuvosa; na época seca, houve um forte decréscimo nos estoques de K na FP, e os maiores valores foram encontrados na PFS e FP. Os estoques de cálcio foram significativamente maiores na CAP e FP do que nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*, na época chuvosa. Na época seca, observou-se um forte aumento no estoque de cálcio nos quatro tipos de vegetação, sendo então maior nas plantações de *Cedrelinga* e *Simarouba* do que na FP. Os estoques de magnésio foram significativamente maiores na FP do que nos demais tipos de vegetação na época chuvosa; na época seca, os estoques de cálcio foram maiores na PFC do que nos demais tipos de vegetação (Tabela 1.5).

1.5 Discussão

1.5.1 Caracterização do solo

O pH em H₂O e em KCl na camada superficial (0-10 cm) situou-se na faixa de 3,5 – 3,9, ou seja, sempre fortemente ácido e abaixo dos valores determinados em Oxisols (Latosolos Amarelos) na Amazônia central (Chauvel, 1987; Teixeira & Bastos, 1989; Kato, 1995).

Os resultados de diversos autores sobre as mudanças nas concentrações de carbono orgânico do solo causadas pela conversão da floresta primária em sistemas agrícolas e pastagens na Amazônia, têm sido muito divergentes (Desjardins, 2000). No entanto, Recco *et al.* (2000), observaram uma tendência favorável à recuperação e manutenção do nível de C orgânico, em sistemas agroflorestais mais antigos da Amazônia ocidental, muito semelhante ao da floresta primária. McGrath *et al.* (2001) mostraram que não existe diferença significativa na concentração de carbono orgânico no solo da floresta primária e sistemas agroflorestais de 6 anos; porém ainda conhece-se muito pouco sobre as mudanças nas concentrações de carbono comparando a floresta madura com outros tipos de vegetações.

A floresta primária, neste estudo, apresentou concentrações de carbono orgânico no solo mais baixas do que o solo da capoeira. Isto é o contrario do que relatam Schroth *et al.* (2002) mostrando concentrações mais altas de carbono orgânico nos primeiros 10 cm do solo numa floresta primária do que na capoeira de 6 anos de idade e sistemas agroflorestais multiestrato de 7 anos de idade.

As concentrações de carbono orgânico no solo foram diferentes em todos os tipos de vegetação, sendo maiores nas plantações florestais de *Simarouba* e *Cedrelinga*. Porém, as concentrações de carbono orgânico no solo das plantações florestais deste estudo foram menores do que sob o solo de *Bertholletia excelsa*, *Theobroma grandiflorum* e de sistemas multiestrato (Schroth *et al.*, 2002) e sob o solo de *Carapa guianensis* em Manaus (Morais, 2003) e no Pará (Smith *et al.*, 2002). Por sua vez, o carbono orgânico do solo nos plantios florestais de *B. excelsa* e *Dipterux odorata* na Amazônia central foram menores (Morais, 2003) do que as espécies exóticas de *Eucalyptus paraensis* e *Pinnus caribaea* no Pará (Smith *et al.*, 2002).

Na Amazônia, o nitrogênio é um dos elementos com o nível mais reduzido nos solos cultivados (Sanchez *et al.*, 1983); assim, as baixas concentrações de nitrogênio no solo encontradas neste estudo podem estar relacionadas às perdas ocasionadas pelo corte e queima que ocorreu nas áreas das plantações florestais e da capoeira, uma vez que o nitrogênio diminui drasticamente quando a floresta é cortada e queimada (Parton *et al.*, 1989). No presente estudo, as concentrações de nitrogênio total no solo foram baixas nos quatro tipos de vegetação, porém mais altas nas plantações de *Simarouba* e *Cedrelinga*. Mesmo nos plantios florestais, as concentrações foram menores do que nos solos de sistemas agroflorestais consorciados com leguminosas forrageiras da Amazônia ocidental (Dresch, 2003).

A relação C:N pode ser um bom indicador para os teores de N, que podem ser liberados da matéria orgânica via atividade de mineralização (Ribeiro *et al.*, 2002). Valores mais altos de C:N sugerem uma baixa qualidade nutricional do substrato e uma menor taxa de decomposição da matéria orgânica. No presente estudo, a relação C:N no solo foi similar em todos os tipos de vegetação, porém as plantações de *Cedrelinga* e *Simarouba* apresentaram uma relação favorável à decomposição (C:N < 25) que, no entanto foi mais alta do que em plantações florestais de *B. excelsa*, *D. odorata* e *C. guianensis* na Amazônia central (Morais, 2003).

As plantas absorvem nitrogênio na forma de nitrato (N-NO₃⁻) ou amônio (N-NH₄⁺), as duas formas de N disponível que, em conjunto, representam o N-mineral do solo. A

disponibilidade de N-mineral no solo no presente estudo foi maior na capoeira e na floresta primária; sendo o nitrato, o que apresentou valores mais altos nestas vegetações mixtas, do que nas plantações florestais em monocultivo. O maior valor de N-mineral na forma de nitrato na capoeira pode dever-se ao fato que a coleta foi feita no término da época seca (novembro 2002), quando geralmente ocorre uma maior liberação do nitrato na superfície do solo (Lehmann & Schroth, 2003). O amônio foi maior na plantação florestal de *Simarouba* do que nos outros tipos de vegetações, o que coincide com valores altos de amônio encontrados em solos sob plantios de *Eucalyptus* sp. em diferentes lugares do Brasil (Gama-Rodrigues & Barros, 1996).

As concentrações de fósforo no solo foram relativamente altas nos quatro tipos de vegetação, principalmente nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba* e na época chuvosa. Essas concentrações altas podem ser produto da rápida decomposição do material vegetal, principalmente na época chuvosa (Coleman *et al.*, 1983). As concentrações de fósforo encontradas nas plantações florestais do presente estudo durante a época seca foram similares aos solos de plantios de *B. excelsa*, *D. odorata* e *C. guianensis* (Morais, 2003) e plantios mistos de espécies arbóreas (Dunisch *et al.*, 2002), ambos na Amazônia central.

As concentrações de potássio, cálcio e magnésio foram muito baixas nos quatro tipos de vegetação, refletindo a pobreza química natural dos solos que, no geral, caracterizam-se pelos baixos conteúdos dos nutrientes. As concentrações de nutrientes no solo neste estudo foram ainda mais baixas do que numa floresta primária (Barros, 1999) e em sistemas agroflorestais consorciados de *Bactris gasipaes* e *Theobroma grandiflorum* na Amazônia ocidental (Dresch, 2003). No entanto, foram similares às de solos sob plantações de *Eucalyptus* em diferentes lugares do Brasil (Gama-Rodrigues & Barros, 1996). O potássio é fixado nas primeiras camadas dos solos argilosos e torna-se disponível em questão de horas a semanas (Schroth *et al.*, 2003). No presente estudo, o potássio foi um pouco mais alto nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*.

Schroth *et al.* (2000) afirmam que seis anos após instalação de plantios florestais, na Amazônia central, precisa-se de uma fertilização urgente de P, K e Mg para o crescimento das árvores, principalmente de *Carapa guianensis*; resultados similares também foram observados por Dunisch *et al.* (2002), no mesmo lugar.

1.5.2 Massa e nutrientes da liteira

Em solos de baixa fertilidade, o acúmulo e a decomposição da liteira podem servir de indicadores de diferenças entre ecossistemas, em especial no que se refere à disponibilidade de nutrientes para as plantas (Gama-Rodrigues & Barros, 2002; Gama-Rodrigues *et al.*, 2003). Na Amazônia, a entrada de nutrientes para o solo por meio dos detritos vegetais caídos da própria floresta, juntamente com a decomposição das raízes finas, é considerado como o mais importante processo de sustentação da floresta de terra firme (Schubart *et al.*, 1984). Isto significa que o conhecimento da dinâmica da liteira é essencial para o correto manejo nutricional num ecossistema florestal.

Os trabalhos mais comumente encontrados na literatura dos trópicos são de produção de liteira (“litter fall”) em diferentes tipos de vegetação, tais como florestas primárias (Klinge, 1977; Dantas & Phillipson, 1989; Luizão, 1989; Barbosa & Fearnside, 1996; Teixeira *et al.*, 2001; Nebel *et al.*, 2001), capoeiras (Luizão, 1982; Dantas & Phillipson, 1989; Mckerrow, 1992; Arguello-Arias, 1996; Mesquita *et al.*, 1998; Gallardo-Ordinola, 1999; Teixeira *et al.*, 2001) e plantios florestais (Muller, 1987; Bernhard-Reversat, 1993; Kato, 1995; Teixeira *et al.*, 2001) (Tabela 1.6).

Os estudos de acúmulo da camada de liteira (“litter layer”) sobre o solo existentes para a Amazônia, são raros e estimam uma faixa de 4,6 – 7,7 t.ha⁻¹ para florestas maduras de terra firme (Klinge, 1973; Scott *et al.*, 1992; Luizão, 1995; Villela, 1995), de 4,47 – 9,4 t.ha⁻¹ para capoeiras de 5 e 22 anos de idade (Mckerrow, 1992; Yano, 1994; Tapia-Coral, 1998; Gama-Rodriguez *et al.*, 1999; Schroth *et al.*, 2002), de 3,95 – 5,54 t.ha⁻¹ para reflorestamentos (Costa *et al.*, 1998) e de 2,52 – 17,7 t.ha⁻¹ para alguns plantios de fruteiras e florestais (Quisen *et al.*, 1996; Gama-Rodrigues *et al.*, 1999; Garay *et al.*, 2003) (Tabela 1.7).

No presente estudo, encontraram-se massas altas de liteira acumuladas sobre o solo, na faixa de 11,3 – 15,8 t.ha⁻¹ nos diferentes tipos de vegetação estudados. Mesmo assim, a capoeira, objeto desse estudo, com 16 anos de idade apresentou uma camada de liteira menor do que uma capoeira de 14 anos de idade em Manaus (Schroth *et al.*, 2002). No entanto, os valores da camada de liteira dos quatro tipos de vegetação deste estudo, foram mais altos do que os geralmente encontrados em florestas maduras, florestas de *Dipterocarpus*, capoeiras e alguns plantios florestais (Tabela 1.7). No nordeste brasileiro, os plantios florestais da Bahia apresentaram camadas de liteira maiores (Gama-Rodrigues & Barros, 1999; Garay *et al.*, 2003) do que os tipos de vegetação do presente estudo (Tabela 1.7).

Tabela 1.6: Produção anual de liteira fina, e do componente 'folhas' (t.ha⁻¹), com as concentrações de nutrientes na liteira em florestas tropicais, capoeiras e plantios florestais de terra firme e inundáveis dos trópicos úmidos.

Ecosistema	Idade (anos)	Local	Tempo de estudo	Liteira (t.ha ⁻¹)	Folhas (t.ha ⁻¹)	N (%)	P (g.kg)	K (g.kg)	Ca (g.kg)	Mg (g.kg)	Fonte
Floresta de terra firme	-	Manaus/BR	5 meses	5,64	2,96	1,37	0,16	0,49	2,5	1,15	Klinge, 1977
Floresta de terra firme	-	Pará/BR	14 meses	8,04	-	1,43	0,45	3,54	14,2	1,98	Dantas & Phillipson, 1989
Floresta de terra firme	-	Manaus/BR	3 anos	8,25	5,4	1,80	0,20	1,50	3,80	1,80	Luizão, 1989
Floresta de terra firme	-	Roraima/BR	1 ano	9,17	5,57	1,51	0,60	4,40	6,10	1,50	Barbosa & Fearnside, 1996
Floresta de terra firme	-	Pará/BR	2 anos	5,81	-	0,15	0,33	0,84	8,71	0,96	Teixeira <i>et al.</i> , 2001
Floresta inundável (alta)	-	Jenaro Herrera/PE	1 ano	7,02	4,17	-	-	-	-	-	Nebel <i>et al.</i> , 2001
Floresta inundável (baixa)	-	Jenaro Herrera/PE	1 ano	7,14	4,3	-	-	-	-	-	Nebel <i>et al.</i> , 2001
Floresta inundada	-	Jenaro Herrera/PE	1 ano	6,93	4,19	-	-	-	-	-	Nebel <i>et al.</i> , 2001
Capoeira jovem	5	Manaus/BR	-	5,25	-	0,11	0,30	2,9	6,4	1,3	Mckerrow, 1992
Capoeira jovem	4	Manaus/BR	3 anos	6,07	5,17	2,01	0,50	1,0	12,7	0,80	Luizão, 1982
Capoeira	-	Pará/BR	14 meses	5,04	-	1,51	0,77	7,36	2,11	2,50	Dantas & Phillipson, 1989
Capoeira	11	Colômbia	3 meses	4,06	-	2,22	0,02	1,60	5,80	2,10	Arguello-Arias, 1996
Capoeira	14	Colômbia	3 meses	5,24	-	2,23	0,02	1,30	8,70	2,20	Arguello-Arias, 1996
Capoeira	10	Manaus/BR	18 meses	10,3	-	1,20	-	-	-	-	Mesquita <i>et al.</i> , 1998
Capoeira	12	Manaus/BR	1 ano	8,2	-	0,90	0,32	1,43	6,23	1,62	Gallardo-Ordinola, 1999
Capoeira	14	Pará/BR	2 anos	3,83	-	0,11	0,14	0,56	4,41	1,16	Teixeira <i>et al.</i> , 2001
<i>Theobroma cacao</i> em sub-bosque	8	Pará/BR	-	5,85	-	-	0,50	7,74	2,61	8,46	Muller, 1987
<i>T. cacao</i> sob <i>Cecropia</i>	8	Pará/BR	-	7,82	-	-	0,10	5,48	3,55	3,02	Muller, 1987
<i>Eucalyptus</i> sp.	7	Congo	1 ano	6,9	4,9	0,87	-	-	-	-	Bernhard-Reversat, 1993
<i>Acacia mangium</i>	10	Congo	3 anos	9,7	7,9	4,26	-	-	-	-	Bernhard-Reversat, 1993
<i>A. auriculiformis</i>	10	Congo	3 anos	8,6	5,8	3,78	-	-	-	-	Bernhard-Reversat, 1993
<i>Bertholletia excelsa</i> sob bosque	10	Manaus/BR	1 ano	7,04	-	1,66	0,29	2,0	3,0	2,20	Kato, 1995
<i>B. excelsa</i> em pastagens	10	Manaus/BR	1 ano	1,28	-	1,23	0,22	5,90	8,50	2,20	Kato, 1995
<i>B. excelsa</i> + <i>T. cacao</i>	20	Pará/BR	2 anos	5,80	-	0,13	0,48	1,17	8,82	4,87	Teixeira <i>et al.</i> , 2001
<i>H. brasiliensis</i> + <i>T. cacao</i>	20	Pará/BR	2 anos	4,21	-	0,12	2,76	0,92	6,68	3,01	Teixeira <i>et al.</i> , 2001

BR= Brasil; PE= Peru, - dados não-disponíveis.

Tabela 1.7: Camada de liteira e de folhas sobre o solo (t.ha⁻¹), com as concentrações de nutrientes na liteira em florestas tropicais maduras, capoeiras e plantios florestais de terra firme.

Ecossistema	Idade (anos)	local	Estação do ano	Liteira (t.ha ⁻¹)	Folhas (t.ha ⁻¹)	N (%)	P (g.kg)	K (g.kg)	Ca (g.kg)	Mg (g.kg)	Fonte
Floresta de terra firme	-	Manaus/BR	-	6,6	-	-	-	-	-	-	Klinge, 1973
Floresta de terra firme	-	Maracá/BR	-	4,6	-	-	-	-	-	-	Scott <i>et al.</i> , 1992
Floresta de terra firme	-	Manaus/BR	C+S+C	6,5	2,78	1,5	0,28	1,08	1,62	1,14	Luizão, 1995
Floresta de terra firme	-	Maracá/BR	-	7,7	6,4	1,0	0,34	5,4	5,7	1,8	Villela, 1995
Floresta de terra firme	-	Jenaro Herrera/PE	C + S	15,8	12,0	1,62	0,83	4,52	3,23	1,48	Este estudo
Floresta de <i>Dipterocarpus</i>	-	Sarawak	-	5,9	-	0,95	0,1	4,5	1,5	1,1	Proctor <i>et al.</i> , 1983
Capoeira jovem	5	Manaus/BR	S	5,25	-	1,09	0,3	2,9	6,4	1,3	Mackerrow, 1992
Capoeira jovem	5	Manaus/BR	C	4,47	-	-	-	-	-	-	Yano, 1994
Capoeira	10	Manaus/BR	C, S	6,32	5,06	1,10	0,10	1,06	5,94	1,39	Tapia-Coral, 1998
Capoeira	22	Bahia/BR	-	9,4	-	1,18	0,23	1,18	16,3	1,41	Gama-Rodrigues <i>et al.</i> , 1999
Capoeira	14	Manaus/BR	-	27,0	-	-	-	-	-	-	Schroth <i>et al.</i> , 2002
Capoeira	16	Jenaro Herrera/PE	C, S	13,5	10,2	1,44	0,48	1,36	4,98	1,36	Este estudo
Reflorestamento	8	P. Trombetas/BR	S,T,C	5,54	-	1,54	0,15	0,65	6,25	1,0	Costa <i>et al.</i> , 1998
Reflorestamento	11	P. Trombetas/BR	S,T,C	3,95	-	1,3	0,15	0,55	9,15	1,15	Costa <i>et al.</i> , 1998
<i>Pinnus caribeu</i>	26	Porto Rico	-	10,0	6,59	1,87	0,09	4,58	10,2	3,68	Lugo <i>et al.</i> , 1990
<i>P. elliottii</i>	26	Porto Rico	-	15,0	6,47	1,66	0,08	4,48	11,8	3,91	Lugo <i>et al.</i> , 1990
<i>Terminalia ivorensis</i>	23	Porto Rico	-	5,0	3,76	0,55	0,02	1,50	8,35	1,71	Lugo <i>et al.</i> , 1990
<i>Hernandia sonora</i>	26	Porto Rico	-	6,0	1,70	0,92	0,05	1,64	3,67	1,89	Lugo <i>et al.</i> , 1990
<i>Inga edulis</i>	10	Yurimaguas/PE	-	10,1	-	-	-	-	-	-	Szott <i>et al.</i> , 1994
<i>Desmodium ovalifolium</i>	10	Yurimaguas/PE	-	11,9	-	-	-	-	-	-	Szott <i>et al.</i> , 1994
<i>D. ovalifolium</i>	8	Manaus/BR	-	5,8	-	1,2	0,6	0,1	4,2	0,9	Correa & Correa, 1996
<i>Bactris gasipaes</i>	-	Rondônia/BR	S,C	2,52	-	-	-	-	-	-	Quisen <i>et al.</i> , 1996
<i>Peltogyne angustiflora</i>	22	Bahia/BR	-	12,7	-	1,22	0,17	1,01	27,3	1,37	Gama-Rodrigues <i>et al.</i> , 1999
<i>Centrolobium robustum</i>	22	Bahia/BR	-	7,3	-	1,43	0,26	1,24	13,1	3,28	Gama-Rodrigues <i>et al.</i> , 1999
<i>Arapatiella psilophylla</i>	22	Bahia/BR	-	15,1	-	1,36	0,23	1,32	9,3	0,93	Gama-Rodrigues <i>et al.</i> , 1999
<i>Sclerolobium crysophyllum</i>	22	Bahia/BR	-	17,7	-	1,22	0,19	1,09	14,9	1,8	Gama-Rodrigues <i>et al.</i> , 1999
<i>Cordia trichotoma</i>	22	Bahia/BR	-	3,4	-	1,68	0,47	2,39	21,7	4,74	Gama-Rodrigues <i>et al.</i> , 1999
<i>Macrolobium latifolium</i>	22	Bahia/BR	-	15,3	-	1,24	0,19	1,0	16,7	2,98	Gama-Rodrigues <i>et al.</i> , 1999
<i>Acacia mangium</i>	-	Espírito Santo	S,T,C	35,3	-	-	0,16	-	-	-	Garay <i>et al.</i> , 2003
<i>Eucalyptus grandis</i>	-	Espírito Santo	S,T,C	15,8	-	-	0,09	-	-	-	Garay <i>et al.</i> , 2003
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	15	Jenaro Herrera/PE	S,C	11,3	6,01	2,05	0,73	3,09	3,89	1,68	Este estudo
<i>Simarouba amara</i>	16	Jenaro Herrera/PE	S,C	14,0	9,59	1,65	0,89	2,48	3,79	1,14	Este estudo

BR=Brasil; PE=Peru; S= Estação Seca; T=Transição; C=Chuvosa; - dados não disponíveis

Os valores obtidos para a massa de liteira acumulada sobre o solo apresentaram diferenças sazonais marcantes, encontrando-se um maior acúmulo na época seca, quando é perceptível o aumento das folhas em todos os tipos de vegetação, especialmente na floresta primária e na capoeira. O maior acúmulo da liteira (folhas + material lenhoso) na época seca é um fato já esperado e pode ser atribuído à maior queda de detritos orgânicos e à decomposição relativamente mais demorada nesta época do ano (Luizão, 1982; Luizão & Schubart, 1987; Luizão, 1989; Tapia-Coral, 1998; Luizão *et al.*, 2002; Tapia-Coral *et al.*, 2003; Luizão *et al.*, 2003). Na época chuvosa, a floresta primária apresentou uma maior quantidade de liteira acumulada sobre o solo; no entanto, na época seca, a maior quantidade de liteira acumulada sobre o solo foi encontrada na capoeira. Quando faz-se a média de ambas épocas de coleta, a floresta primária apresentou a maior massa de liteira acumulada sobre o solo, esse fato já esperado porque este tipo de vegetação apresenta uma maior biomassa aérea e uma alta diversidade de espécies com diferentes períodos de queda de folhas e velocidades de decomposição (Luizão *et al.*, 2003; Tapia-Coral *et al.*, 2004).

No presente estudo, a camada de liteira na floresta primária na época chuvosa (7,74 t.ha⁻¹), apresentou um valor similar ao trabalho de Villela (1995) que encontrou 7,7 t.ha⁻¹ de liteira numa floresta primária em Maracá. Entre tanto, em florestas primárias na região de Manaus, encontraram-se valores muito menores para a camada de liteira (Klinge, 1973; Scott *et al.*, 1992; Luizão, 1995). A camada de liteira na capoeira, na época chuvosa (4,78 t.ha⁻¹), foi um pouco maior do que as encontradas em capoeiras da Amazônia central de 5 anos de idade, que apresentaram 4,47 t.ha⁻¹ durante a estação chuvosa (Yano, 1994). Na época seca, a capoeira apresentou 8,77 t.ha⁻¹, uma massa muito maior do que na capoeira de 5 anos de idade em Manaus, com 5,25 t.ha⁻¹ (Mckerrow, 1992) e numa outra capoeira de 10 anos de idade, também em Manaus com 6,3 t.ha⁻¹, na qual predominaram principalmente as folhas da espécie *Vismia* (Tapia-Coral *et al.*, 2004). O maior acúmulo de liteira na capoeira neste estudo pode dever-se à idade dela (16 anos aproximadamente) já com biomassa alta, com presença de uma maior diversidade de espécies com copas mais fechadas, as quais estariam proporcionando um adensamento e crescimento da capoeira, que poderia estar já recuperando também as propriedades químicas do solo (Anexo 1). Porém, a capoeira de 14 anos de idade estudada em Manaus tinha uma dominância grande de árvores de *Vismia* sp. de difícil decomposição que contribuíram para uma maior camada de liteira (Schroth *et al.*, 2002) do que a capoeira do presente estudo.

Vohland & Schroth (1999) mostraram a importância da cobertura do solo em sistemas de policultivos na Amazônia central, estimando e recomendando uma camada de liteira diversificada de 3-6 t.ha⁻¹ para garantir uma presença ativa dos macro-invertebrados consumidores de liteira num sistema de plantio. Estimativas anteriores sugeriam quantidades de matéria orgânica entre 1-2 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para manter uma comunidade ativa de minhocas nas savanas naturais de Cote d'Ivoire (Lavelle 1978). Baseados nestas estimativas, pode-se assumir que sistemas agroflorestais bem manejados, que forneçam 2 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de matéria orgânica assimilável, poderiam ser suficientes para sustentar a atividade dos macro-invertebrados a níveis convenientes (Lavelle *et al.*, 2003). Um fator adicional a ser considerado na acumulação de liteira num sistema de cultivo, são as podas sistemáticas de leguminosas e das plantas invasoras, que, colocadas sobre a superfície do solo, aumentam a oferta e diversidade da matéria orgânica e assim permitem uma melhor seleção dos invertebrados na procura por umidade, alimento e abrigo (Tapia-Coral, 1998). Assim, a qualidade dos adubos orgânicos é uma característica chave para a manutenção da diversidade das comunidades de macro-invertebrados do solo, essencial para o funcionamento do solo e da ciclagem de nutrientes (Lavelle *et al.*, 2001).

As plantações dos monocultivos de *Cedrelinga* e principalmente, *Simarouba* apresentaram camadas de liteira acumulada sobre o solo relativamente altas. Estudando a camada de liteira de quatro espécies nativas na Costa Rica, atribuiu-se que o aparente aumento da liteira sob o solo ao rápido crescimento das espécies plantadas, que apresentaram um grande desenvolvimento das copas das árvores, produzindo assim uma liteira abundante, com uma decomposição relativamente lenta (Montagnini *et al.*, 1993), fato similar poderia estar ocorrendo nos plantios de monocultivo de *Cedrelinga* e *Simarouba*.

A liteira acumulada sobre o solo, sofre o processo de mineralização, que corresponde à decomposição da matéria orgânica, resultando em compostos minerais simples, que são assimilados pelas plantas, contribuindo assim para o aumento do nível de fertilidade do solo (Serrão, 1989). Obviamente, esta contribuição dependerá da qualidade nutricional da liteira produzida pela vegetação e acumulada sobre o solo (o que pode ser avaliado pelo conteúdo total de nutrientes na camada de liteira), bem como das taxas de decomposição da liteira. Existem poucos estudos de concentrações de carbono na camada de liteira, sendo que no presente estudo, o carbono orgânico na liteira teve concentrações diferentes em ambas épocas de coleta, nos quatro tipos de vegetação. Nas florestas primária e secundária, o carbono diminuiu na época seca; o contrário ocorreu nas

plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*, onde as concentrações de carbono orgânico aumentaram. O carbono orgânico na liteira da floresta primária deste estudo, foram menores do que às de uma floresta primária na Amazônia central (Higuchi *et al.*, 1998), porém menores do que outra floresta primária estudada em Manaus por Luizão *et al.* (2004) (Tabela 1.8).

No presente estudo, os estoques de carbono e nutrientes na liteira foram muito variados nos quatro tipos de vegetação: de 1651 a 3218 kg.ha⁻¹ na época chuvosa e de 2967 a 3243 kg.ha⁻¹ na época seca. Na floresta primária, os mais altos estoques de carbono foram encontrados durante a época chuvosa; na capoeira durante a época seca.

Tabela 1.8: Concentração (%) e estoque (kg.ha⁻¹) de carbono na liteira em diferentes tipos de vegetação da Amazônia brasileira e peruana.

Ecosistema	Idade (anos)	Local	Estação do ano	Carbono (%)	Carbono (kg.ha ⁻¹)	Fonte
Floresta de Terra firme	-	Manaus/BR	S	39	8729	Higuchi <i>et al.</i> , 1998
Floresta de Terra firme	-	Manaus/BR	S	46,2	3559	Luizão <i>et al.</i> , 2004
Floresta de Terra firme	-	Jenaro Herrera/PE	C,S	40,3	3205	Este estudo*
Capoeira	10	Manaus/BR	C,S	51	3211	Tapia-Coral <i>et al.</i> , 2004*
Capoeira	16	Jenaro Herrera/PE	C,S	38,5	2596	Este estudo*
<i>Elaeis oelifera</i> (folhas)	12	Manaus/BR	-	42,6	-	Rodrigues <i>et al.</i> , 2000
<i>D. ovalifolium</i>	12	Manaus/BR	-	43,9	-	Rodrigues <i>et al.</i> , 2000
<i>T. grandiflorum</i>	5	Manaus/BR	C,S	49,7	3131	Tapia Coral <i>et al.</i> , 2004*
<i>B. gasipaes</i> + <i>E. oleracea</i>	5	Manaus/BR	C,S	45,1	2971	Tapia Coral <i>et al.</i> , 2004*
<i>D. ovalifolium</i>	5	Manaus/BR	C,S	49,2	2955	Tapia Coral <i>et al.</i> , 2004*
<i>B. humidicola</i>	5	Manaus/PE	C,S	47,6	2811	Tapia Coral <i>et al.</i> , 2004*
<i>S. macrophylla</i> + <i>S. amazonicum</i>	5	Manaus/PE	C,S	48,8	3326	Tapia Coral <i>et al.</i> , 2004*
<i>C. catenaeformis</i>	15	Jenaro Herrera/PE	C,S	40,9	2309	Este estudo*
<i>S. amara</i>	16	Jenaro Herrera/PE	C,S	38,1	2682	Este estudo*

*Medias das estações chuvosa e seca

A liteira da floresta primária, além dos altos valores de estoque de carbono, apresentou também altos estoques de nitrogênio, potássio e magnésio, durante a época chuvosa. Os estoques de carbono na floresta primária durante a época chuvosa foram similares aos de uma floresta primária de terra firme em Manaus (Luizão *et al.*, 2004); porém, foram menores do que numa capoeira de 10 anos de idade, também em Manaus, que apresentou altos estoques de carbono na liteira durante as estações chuvosa e seca e num sistema agroflorestal multiestrato de 6 anos, principalmente sob as árvores de *T. grandiflorum* e das palmeiras *B. gasipaes* e *E. oleracea* (Tapia-Coral *et al.*, 2004) (Tabela 1.8).

Os estoques de carbono e nutrientes encontrados nos diferentes tipos de vegetação do presente estudo foram mais altos do que num consórcio florestal de *B. excelsa* com *T. cacao* e em sistemas agroflorestais e capoeiras na Amazônia brasileira (Teixeira *et al.*, 2001; Tapia-Coral *et al.*, 2004). Os teores de nitrogênio na liteira foram altos nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*, nas duas épocas de coleta, aumentando ainda um pouco mais na época seca no plantio de *Cedrelinga*, uma leguminosa que deve estar fixando nitrogênio. As leguminosas arbóreas, além da auto-suficiência de nitrogênio, podem favorecer um aumento da matéria orgânica e da fertilidade do solo, bem como um retorno econômico com a produção de lenha, carvão, madeira, celulose, forragem, taninos, gomas etc. (Oliveira *et al.*, 1999). Na Amazônia central, sistemas agrosilvopastoris que tinham espécies de leguminosas instaladas, também apresentaram altos estoques de N na liteira, maiores do que nos demais sistemas agroflorestais (Tapia-Coral *et al.*, 2004). O uso destas leguminosas como uma fonte de N para as colheitas é particularmente importante em muitas partes do trópico úmido, onde a aplicação de fertilizantes nitrogenados não é economicamente viável devido aos altos custos e dificuldades de transporte (Palm & Sanchez, 1991).

A liteira das plantações florestais apresentou uma alta relação C:N, principalmente no plantio de *Cedrelinga*, na época seca. A floresta primária apresentou uma baixa relação C:N na época chuvosa, porém esta foi mais alta na época seca; o contrário observou-se na capoeira, que, em ambos períodos de coleta, apresentou uma baixa relação C:N, o que confirma a alta qualidade das espécies da capoeira. Outras capoeiras de 10 anos de idade na Amazônia central apresentaram uma relação C:N ainda muito mais baixa (Tapia-Coral *et al.*, 2004) do que as deste estudo.

Na maioria de solos tropicais, o crescimento das plantas é limitado pela disponibilidade de um ou mais nutrientes, sendo o fósforo geralmente considerado o elemento mais limitante nos solos ácidos (Ewel, 1986), por ser o elemento de menor concentração entre todos os macronutrientes determinados no solo e na liteira (Haag, 1985). O fósforo é um dos nutrientes mais importantes para as plantas, sendo sua baixa disponibilidade um dos fatores limitantes para a produtividade primária em muitos ecossistemas (Vitousek, 1980). O fósforo geralmente não é lixiviado através do perfil do solo, sendo acumulado na superfície e normalmente adsorvido no solo por hidróxidos de Fe e Al (Fassbender *et al.*, 1988).

No presente estudo, observou-se que, na época seca, o fósforo na liteira diminuiu em todos os tipos de vegetação, sendo a redução mais drástica na plantação florestal de

Simarouba. Porém, as concentrações de fósforo encontradas em ambas as plantações florestais, de *Cedrelinga* e *Simarouba*, foram maiores do que as encontradas em sistemas agroflorestais consorciados em Manaus (Tapia-Coral *et al.*, 2004) e Nova Califórnia (Dresch, 2003). Em Porto Rico, a camada de liteira (folhas intatas, decompostas e semidecompostas) de um plantio de *Casuarina equisetifolia* também apresentou baixas concentrações de fósforo (Warren & Zou, 2002).

Nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*, o potássio também diminuiu, observando-se assim que o potássio foi facilmente lixiviado na época das chuvas. O potássio é o elemento mais típico de lixiviação mineral da liteira sobre o solo (Gosz *et al.*, 1976), e esta deve ter sido a razão principal de suas menores concentrações depois da época das chuvas. No entanto, as concentrações de potássio no presente estudo, nos quatro tipos de vegetação, foram maiores do que os encontrados em sistemas agroflorestais de Nova Califórnia, na Amazônia ocidental (Dresch, 2003). Os valores de K nas plantações de monocultivo foram maiores do que os plantios de reflorestamento no Pará (Costa *et al.*, 1998) e de *D. ovalifolium* em Manaus (Correia & Correia, 1996). Em Porto Rico, plantios florestais de *Leucaena leucocephala* apresentaram baixas concentrações de N, P, K e Ca na liteira acumulada sobre o solo (Warren & Zou, 2002).

O cálcio, na época seca, teve um aumento significativo em suas concentrações na floresta primária e nas plantações florestais; o mesmo fato observou-se com o magnésio, que também aumentou suas concentrações na época seca em todos os tipos de vegetação. Sistemas agroflorestais consorciados da Amazônia central e ocidental, apresentaram também concentrações altas de cálcio e magnésio (Dresch, 2003), com altos teores de cálcio principalmente na época seca e sob as árvores plantadas madeireiras nos SAFs. Isto pode ser em parte explicado pelo fato deste ser um elemento de estrutura de folhas, pouco afetado pela lixiviação inicial e pelo ataque dos microdecompositores (Luizão & Schubart, 1987), permanecendo nas folhas por um período relativamente longo. O mesmo padrão também foi observado nos sistemas agroflorestais de Nova Califórnia, na Amazônia ocidental, onde os conteúdos de cálcio foram maiores em SAFs do que na floresta primária, indicando que as altas concentrações de cálcio são produto dos resíduos da queima da vegetação da floresta primária, que são incorporados ao solo com as cinzas (McGrath, 1998; Alfaia *et al.*, 2002) e principalmente da casca triturada de *T. grandiflorum* (Alfaia *et al.*, 1997).

O magnésio apresentou maiores concentrações na floresta primária do presente estudo do que numa floresta primária em Manaus (Luizão, 1995) e numa floresta de

Dipterocarpus na Malásia (Proctor *et al.*, 1983); porém, as concentrações foram menores do que, na floresta madura de Maracá (Villela, 1995). A capoeira de 16 anos deste estudo apresentou concentrações de magnésio menores do que uma capoeira de 10 anos em Manaus (Tapia-Coral, 1998) e outra de 22 anos na Bahia (Gama-Rodrigues *et al.*, 1999). Os plantios florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba* apresentaram concentrações de magnésio menores do que alguns plantios florestais da Bahia (Gama-Rodrigues *et al.*, 1999).

1.6 Conclusão

A floresta primária apresentou a maior quantidade de liteira acumulada sobre o solo durante a época seca, quando ocorre maior produção de liteira. No entanto, as plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba* apresentaram as maiores concentrações de carbono no solo, nesta época.

CAPÍTULO II

Decomposição de *Cedrelinga catenaeformis* e *Simarouba amara* em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana

2.1 Introdução

A decomposição da liteira pode ser estudada diretamente pelo uso de diversas técnicas, tais como o saco de malha de náilon (Swift & Anderson, 1989), que, apesar de algumas deficiências, como a formação de microclimas dentro dos saquinhos e a exclusão de alguns decompositores, continua sendo a técnica mais comumente usada nos estudos de decomposição.

As taxas de decomposição dos resíduos vegetais é influenciada pela qualidade do recurso, pelos organismos decompositores presentes e das condições ambientais (Swift *et al.*, 1979), variando de poucos meses a vários anos até o completo desaparecimento do material vegetal (Anderson & Swift, 1983), dependendo em grande parte de sua qualidade nutricional, que pode ser representada pela relação C:N do material vegetal (Palm & Sanchez, 1991) e pelos seus teores de N, P e lignina (Aber & Melillo, 1991). No entanto, fatores químicos como os teores de carbono, nitrogênio, lignina e polifenóis dos resíduos vegetais, também influenciam nas taxas de decomposição da liteira e na liberação dos nutrientes (Palm & Sanchez, 1991; Tian *et al.*, 1997), onde a fauna do solo participa de forma direta na fragmentação do material vegetal morto, incrementando a superfície do solo e sob o qual atuam os microorganismos, transformando os resíduos vegetais em húmus (Edwards, 1979). Na Amazônia central, a taxa de decomposição e a atividade dos micro e macro-invertebrados geralmente é mais elevada na estação chuvosa do que na seca (Luizão & Schubart, 1987).

Para desenvolver o experimento de decomposição com sacos de malha de náilon, foram selecionadas as folhas das duas espécies dos plantios florestais: *Cedrelinga catenaeformis* e *Simarouba amara* e a mistura de ambas as espécies.

2.2 Objetivo

Determinar as taxas de decomposição e de liberação de nutrientes minerais de folhas de *Cedrelinga catenaeformis*, *Simarouba amara* e a mistura das duas espécies em floresta primária, nas duas plantações florestais e na capoeira de terra firme.

2.3 Métodos

A área de estudo, o delineamento experimental e as espécies usadas no experimento, foram descritos na primeira seção.

2.3.1 Clima durante o período de estudo

Durante o período do experimento de decomposição da liteira nos sacos de malha de náilon (março 2001 - março 2002), os dados de clima foram registrados na Estação Climatológica do CIJH, verificando-se uma precipitação de 2920 mm, variando de 129 a 410 mm por mês. As precipitações ao longo do experimento foram distribuídas em períodos marcados de época chuvosa (março e abril) e seca (agosto e setembro). A temperatura média variou de 32,5 °C como máxima e 21°C como mínima (Figura 1.1).

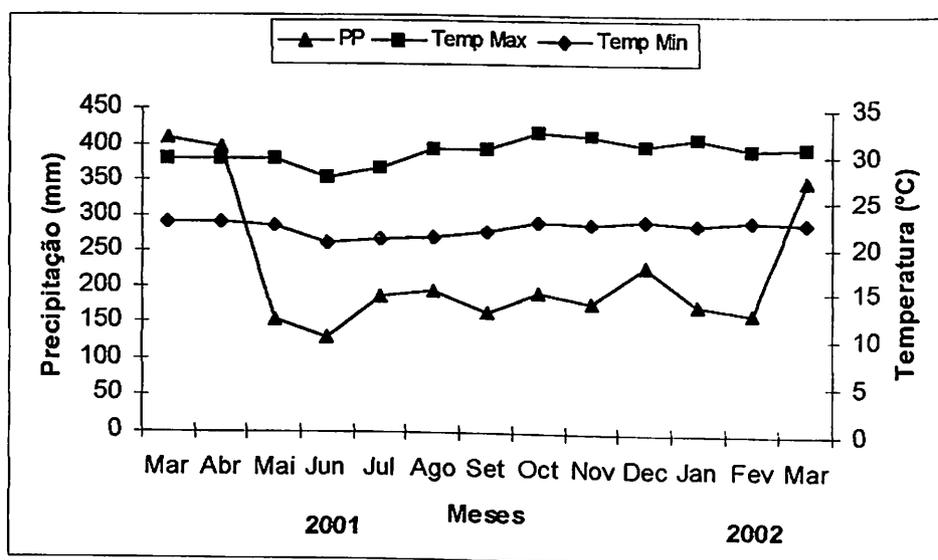


Figura 2.1: Média total de precipitação mensal (mm) e média mensal das temperaturas máximas e mínimas (°C) durante o período do experimento de decomposição no ano de 2001-2002 no CIJH.

2.3.2 Coleta das folhas e delineamento experimental

Foram selecionadas folhas recém-caídas de *C. catenaeformis* e *S. amara*, que foram secas ao ar, pesadas e colocadas (separadamente e a mistura delas) em 360 sacos de malha de náilon de 1 mm, medindo aproximadamente 15 x 15 cm ("litter bags"), seguindo a metodologia descrita por Bockock & Gilbert (1957), comumente usada em experimentos de decomposição (Wieder & Lang, 1982). Cada saco continha cerca de 6,5 g das folhas de cada uma das espécies selecionadas ou da mistura de ambas e, ao seu redor, várias perfurações de 5 mm para permitir a entrada da macrofauna. O fechamento dos sacos foi

costurado a mão com linho grosso. As 360 amostras foram distribuídas aleatoriamente em todas as parcelas dos quatro tipos de vegetação no CIJH.

2.3.3 Coleta dos sacos de malha de náilon

Os sacos de malha de náilon, que continham inicialmente 6 g de folhas, foram expostos sobre a superfície do solo por períodos de 30, 60, 120, 180, 270 e 360 dias (de março de 2001 até março de 2002), retirando-se em cada coleta cinco amostras por parcela. As amostras foram colocadas em sacos plásticos individuais; no laboratório, os sacos foram abertos, para se fazer a avaliação dos eventos biológicos ocorridos e de diversos parâmetros de decomposição, tais como: acúmulo de resíduos sobre as folhas; umidade da amostra; percentagem de folhas quebradas e/ou descoloridas; folhas esqueletizadas; ataque de cupins; colonização das folhas por raízes. Para cada um destes parâmetros foi adotada uma escala de valores que correspondia ao grau de intensidade com que foi observado no material coletado: 0 = nada; 1 = inicial; 2 = pouco; 3 = regular, 4 = bastante; 5 = muito intenso. Após esta avaliação, as amostras de liteira foram limpas, secadas e pesadas, para obter-se o peso residual das folhas e estimar-se as taxas de perda de peso, fazendo-se um ajuste exponencial ou linear (de acordo com as taxas de decomposição); depois, as amostras foram moídas para análises de carbono e nutrientes.

2.3.4 Taxas de decomposição (k)

As taxas de decomposição foram calculadas a partir da equação $k = \frac{LN(X_0) - LN(X_t)}{t}$, derivada do modelo $X_t = X_0 e^{-kt}$ (Olson, 1963), onde LN representa o logaritmo natural; X_0 , o peso inicial das folhas; X_t , o peso no tempo t e k , a constante instantânea de decomposição. O índice de meia-vida foi calculada pela multiplicação da constante de decomposição (k) por 365 dias (que correspondem a um ano de experimento).

2.3.5 Análises da liteira

As análises de carbono, nutrientes, polifenóis e lignina na liteira foram realizadas com a mesma metodologia descritas no capítulo 1 (1.3.6.1) para as folhas novas e maduras das duas espécies e da mistura de ambas, e para a liteira do experimento de decomposição.

2.3.6 Análises dos dados

Foram feitas análises de variância (ANOVA) simples (de um só fator), seguidas pelo teste de Tukey, para estabelecer as diferenças entre as taxas de decomposição, % residual de peso e as concentrações dos nutrientes nas folhas usadas no experimento de decomposição nos quatro tipos de vegetação, para cada período de coleta.

2.4 Resultados

2.4.1 Qualidade inicial das folhas de *Cedrelinga* e *Simarouba*

As folhas novas e maduras de *Cedrelinga* e *Simarouba* apresentaram altos teores iniciais de carbono. As folhas novas e maduras de *Cedrelinga* apresentaram maiores teores de nitrogênio do que as folhas de *Simarouba* e, por conseqüência, as folhas de *Cedrelinga* apresentaram uma alta relação C:N do que as folhas de *Simarouba* que apresentaram uma baixa relação C:N (Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Teores iniciais de nutrientes de folhas novas e maduras de *Cedrelinga* e *Simarouba*. Os valores são médias de amostras compostas (n=3), seguidas do desvio-padrão.

Nutrientes	<i>Cedrelinga</i> (novas)	<i>Cedrelinga</i> (maduras)	<i>Simarouba</i> (novas)	<i>Simarouba</i> (maduras)
C (%)	52,3 ± 1,69	55,9 ± 1,13	55,1 ± 1,13	61,8 ± 1,69
N (%)	4,34 ± 0,29	4,35 ± 0,10	2,26 ± 0,09	1,79 ± 0,03
C/N	12,1 ± 1,21	12,8 ± 0,03	24,3 ± 0,43	34,6 ± 0,37
P (g kg ⁻¹)	0,26 ± 0,08	0,42 ± 0,0	0,18 ± 0,29	0,60 ± 0,01
K (g kg ⁻¹)	13,0 ± 0,45	12,7 ± 0,25	8,59 ± 5,54	6,41 ± 0,42
Ca (g kg ⁻¹)	0,84 ± 0,06	1,10 ± 0,08	0,76 ± 0,51	1,84 ± 0,0
Mg (g kg ⁻¹)	1,70 ± 0,03	1,80 ± 0,06	0,92 ± 0,62	1,12 ± 0,0
Polifenóis (%)	3,97 ± 0,11	6,67 ± 0,03	12,3 ± 1,47	15,0 ± 0,51
Lignina (%)	18,2 ± 0,64	22,2 ± 1,34	17,9 ± 5,09	20,9 ± 3,22

Os teores de P, K, Ca e Mg foram variados em ambos os tipos de folhas e, exceto para K, foram mais altos nas folhas maduras do que nas novas. Os conteúdos de polifenóis e lignina também foram geralmente altos e variados, sendo que as folhas maduras das duas espécies apresentaram os conteúdos mais altos (Tabela 2.1).

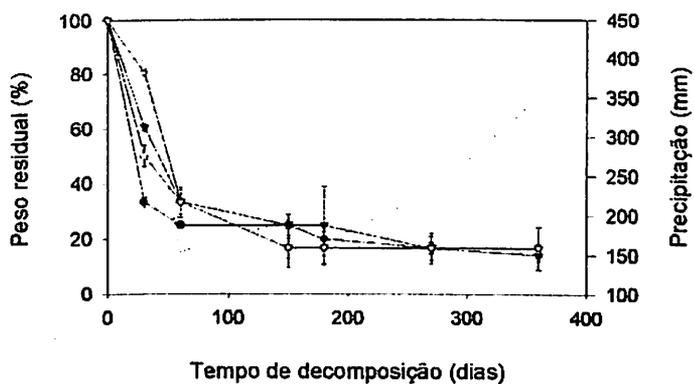
2.4.2 Perda de peso da liteira nos sacos de náilon

A dinâmica de decomposição da *C. catenaeformis* apresentou intensa perda de peso nos dois primeiros meses do experimento (período chuvoso), nos quatro tipos de vegetação; aos 30 dias houve diferença significativa (F=4,45; p<0,05) entre os tipos de vegetação com uma maior perda de peso na FP; a partir dos 60 dias, a perda de peso tornou-se lenta e gradual ao longo do processo de decomposição, em todos os tratamentos (Figura 2.2).

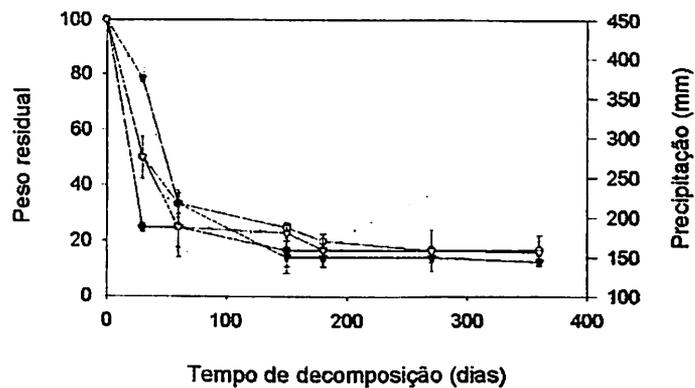
A liteira de *Simarouba* não mostrou diferenças significativas em nenhuma época de coleta, porém teve um comportamento parecido com a liteira da *Cedrelinga* ao longo de todo o processo de decomposição (Figura 2.2).

A mistura das duas espécies também não mostrou diferenças significativas em nenhum período de decomposição; no entanto, teve um comportamento diferente daquele das duas espécies isoladas no início do experimento, aos 30 dias, o peso residual foi similar nos quatro tratamentos; logo aos 60 dias tornou-se diferenciado, sendo mais alto na FP e mais baixo na PFC; dos 150 dias até o final do experimento os pesos residuais foram muito similares em todos os tratamentos (Figura 2.2).

Cedrelinga catenaeformis



Simarouba amara



Mistura

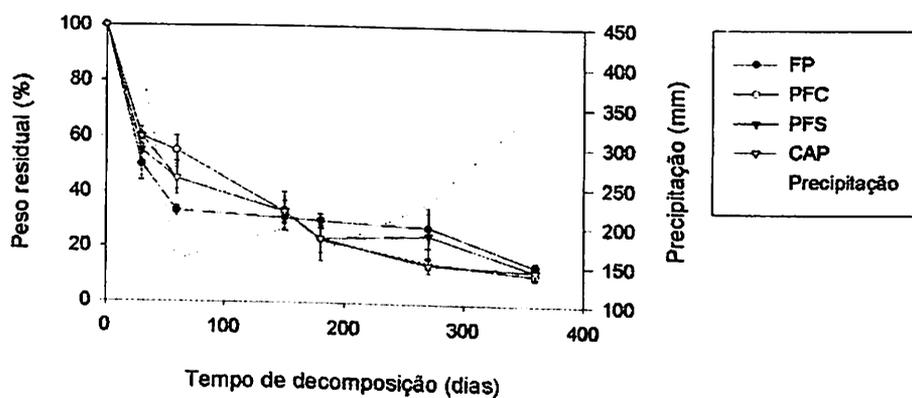


Figura 2.2: Peso médio residual (%) do material remanescente de *C. catenaeformis*, *S. amara* e da mistura das duas espécies, na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nos diferentes períodos de decomposição, no CIJH. As linhas pontilhadas correspondem aos totais de precipitação pluviométrica que antecederam cada período de coleta (no caso do tempo inicial, foi considerado o total de chuva do mês anterior à instalação do experimento).

2.4.3 Taxas de decomposição (k)

As taxas anuais de decomposição foram muito similares na liteira de *Cedrelinga*, *Simarouba* e na mistura de ambas as espécies nos quatro tipos de vegetação. O índice de meia vida das folhas esteve ao redor dos 140 dias de decomposição (Tabela 2.2).

Tabela 2.2: Taxas de decomposição ($k \text{ ano}^{-1}$) e tempo de meia-vida (dias) das folhas de *Cedrelinga*, *Simarouba* e a mistura das duas espécies nos diferentes tipos de vegetação no CIJH.

Tipos de vegetação	<i>Cedrelinga</i>		<i>Simarouba</i>		Mistura	
	$k \text{ ano}^{-1}$	Meia-vida (dias)	$k \text{ ano}^{-1}$	Meia-vida (dias)	$k \text{ ano}^{-1}$	Meia-vida (dias)
FP	1,80	140	1,80	140	1,80	140
FPC	1,81	140	1,79	141	1,80	141
FPS	1,82	139	1,79	141	1,79	141
CAP	1,82	139	1,82	139	1,78	142

2.4.4 Atividades dos cupins na decomposição da liteira

Um dos principais eventos biológicos observados no experimento de decomposição foi a atividade dos cupins, que foi ascendente dos 60 até os 150 dias nas folhas de *Cedrelinga*; e particularmente intensa em todos os tratamentos e substratos. Após 180 dias (estação seca), a atividade dos cupins decresce consideravelmente nos sacos de malha. A atividade dos cupins foi geralmente mais intensa na FP e na PFS do que nos outros dois tratamentos, depois tornou-se gradativa e decrescente aos 180 dias principalmente na CAP e aos 270 dias na FP (Figura 2.3).

A liteira de *Simarouba*, não apresentaram diferenças significativas nas coletas durante o período de decomposição, porém, verificou-se que a liteira foi atacada pelos cupins aos 60 até os 150 dias principalmente na PFS seguida pela FP, depois, observou-se um decrescimento aos 180 dias em todos os tratamentos e logo um ascenso aos 270 dias principalmente na PFS (Figura 2.3).

A liteira da mistura das duas espécies também teve um ataque dos cupins, principalmente aos 60 até os 150 dias na FP seguida pela PFS, sendo que nesta época ocorreu um decrescimento na PFC, a mesma que foi decrescendo até o final do experimento (Figura 2.3).

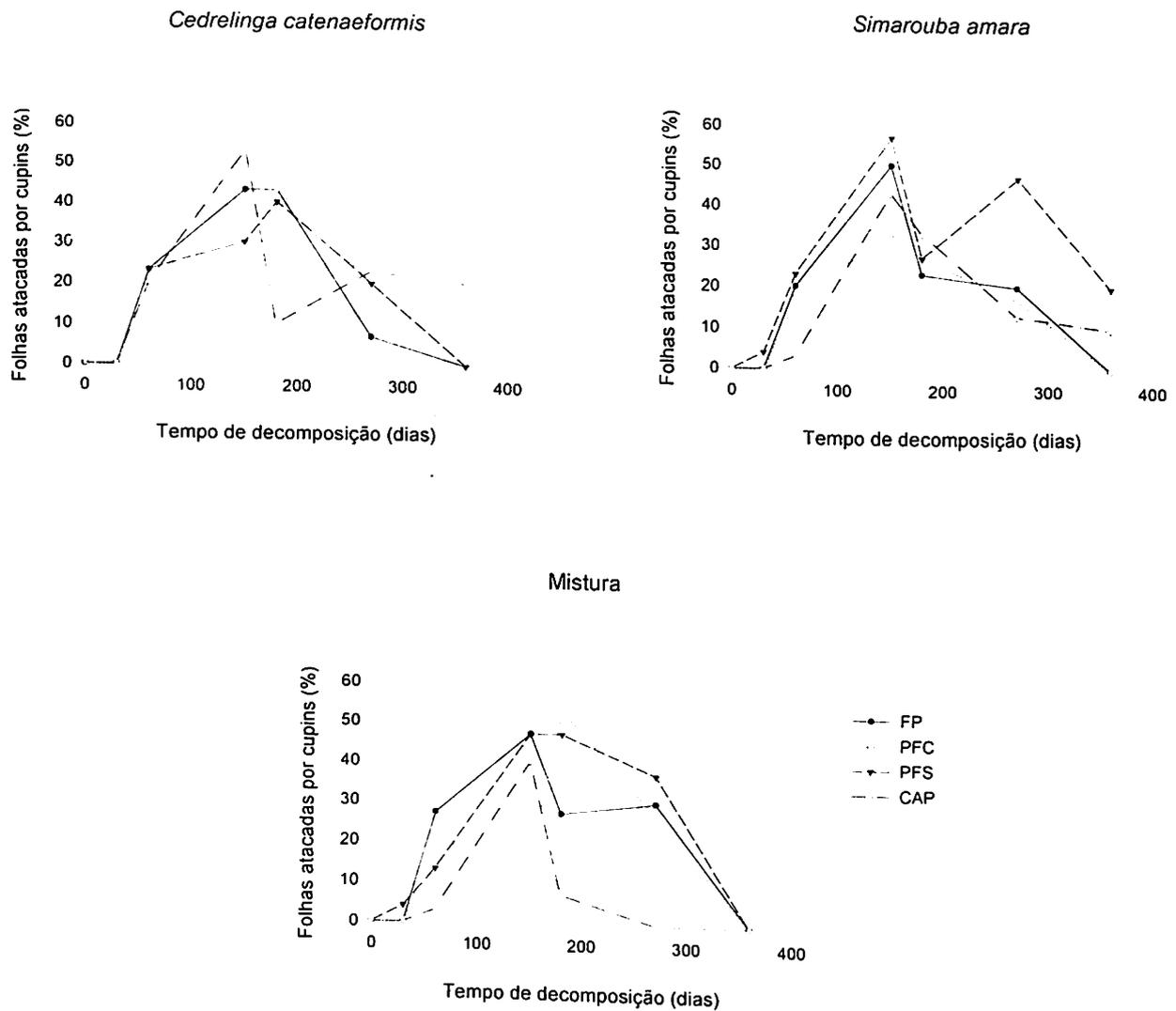


Figura 2.3: Folhas atacadas por cupins (%) nos sacos de malha com *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nos diferentes períodos de decomposição no CIJH.

2.4.5 Colonização da liteira pelas raízes finas

Em todos os substratos, a colonização das raízes finas na liteira de *Cedrelinga* ocorreu desde o início do experimento, sendo bastante acentuada até os 60 dias. Porém, o padrão de colonização variou com os substratos: nas liteiras de *Cedrelinga* e *Simarouba* usadas isoladamente, a colonização continuou até os 150-180 dias, enquanto que na mistura das duas espécies, decresceu logo a partir dos 60 dias (Figura 2.4).

A liteira da *Simarouba* foi colonizada pelas raízes finas aos 30 dias de início do experimento, sendo que aos 60 dias na FP observou-se a maior colonização pelas raízes e, depois tornou-se constante até os 180 dias e depois em forma gradativa até o final do experimento. Na PFS observou-se um incremento na colonização pelas raízes finas no último período de coleta (aos 360 dias) (Figura 2.4).

A liteira da mistura das duas espécies foi colonizada pelas raízes finas desde o início do experimento até os 60 dias, observando-se uma decomposição em forma crescente e depois tornaram-se gradativa e decrescente principalmente na FP e CAP até o final do experimento. Nos plantios florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba* observou-se um decréscimo aos 180 dias e depois um ligeiro incremento na PFC principalmente aos 270 dias. Depois, ambas decresceram até o final do experimento (Figura 2.4).

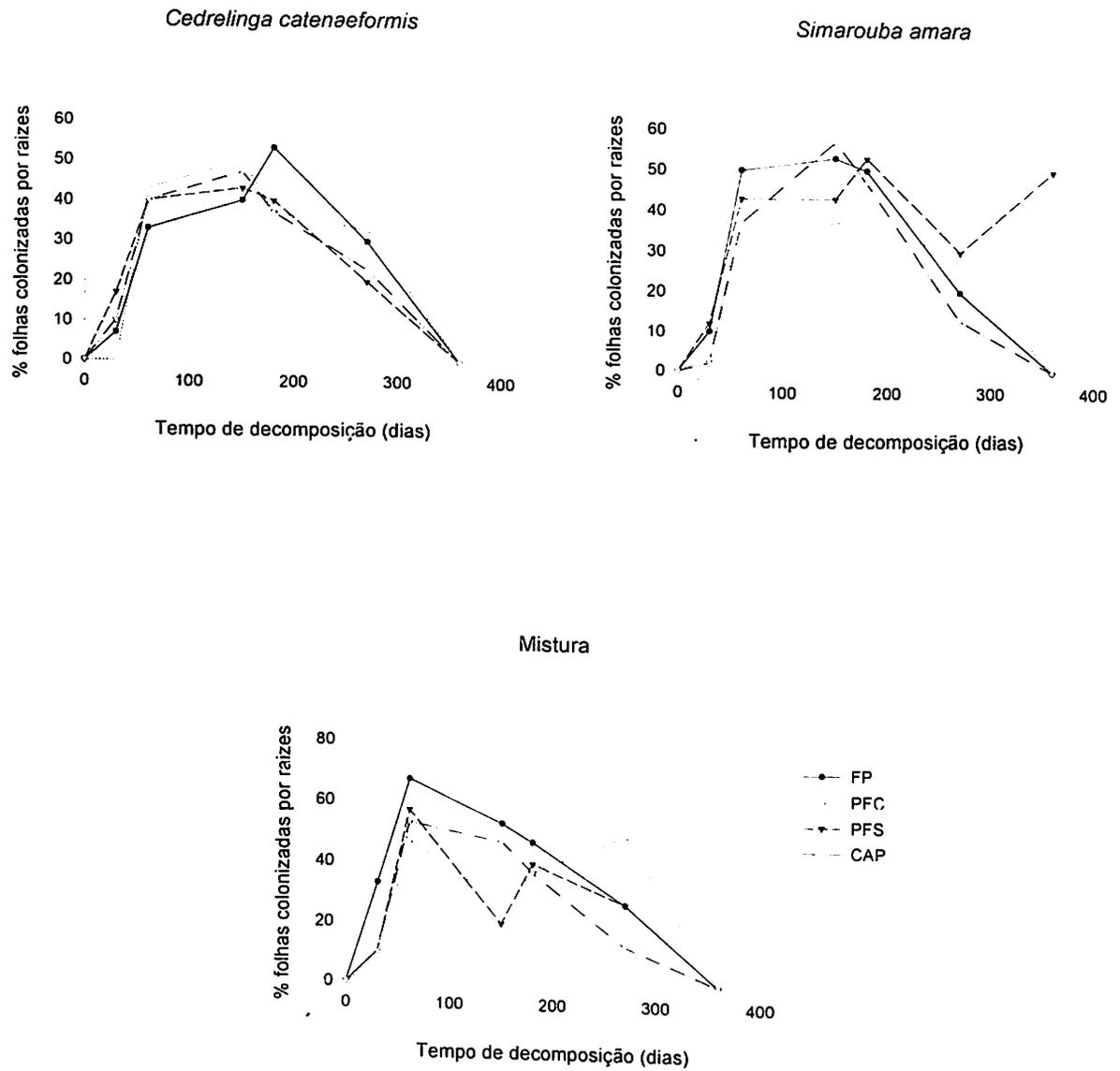


Figura 2.4: Percentagem (%) de folhas colonizadas por raízes finas nos sacos de malha com *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nos diferentes períodos de decomposição, no CIJH.

2.4.6 Conteúdos residuais de carbono e nitrogênio e a relação C:N nas folhas em decomposição

Os conteúdos residuais de carbono na liteira de *Cedrelinga* e *Simarouba* não apresentaram diferenças significativas, em nenhum período de coleta, entre os quatro tipos de vegetação. As quantidades de carbono nas folhas decresceram de forma rápida e acentuada nos primeiros 30 dias do experimento, nos quatro tipos de vegetação; depois, a liberação de carbono foi lenta e variável até o final do experimento (Figura 2.5).

Na mistura das duas espécies, os conteúdos residuais de carbono apresentaram diferença significativa somente aos 30 dias ($F=4,88$; $p<0,05$), sendo maiores na CAP do que nos demais tipos de vegetação (Figura 2.5).

Os conteúdos residuais de nitrogênio na *Cedrelinga* e *Simarouba* não apresentaram diferenças significativas nos quatro tipos de vegetação, no entanto observou-se que houve em ambas uma rápida perda dos seus conteúdos ao início da decomposição (30 dias), porém a liberação foi muito mais acentuada na liteira de *Cedrelinga* do que na *Simarouba* (Figura 2.6).

O nitrogênio na liteira da mistura das duas espécies apresentou diferença significativa somente aos 180 dias ($F=4,39$; $p<0,05$), sendo maior na FP do que nos demais tratamentos (Figura 2.6).

A relação C:N na *Cedrelinga* apresentou diferença significativa aos 60 dias ($F=4,26$; $p<0,05$), sendo maior na PFS do que nos demais tratamentos; depois, observou-se um ligeiro decréscimo aos 150 dias em todos os tratamentos, porém sem diferenças significativas e logo um acréscimo nos seus conteúdos aos 270 dias em todos os tratamentos com exceção da CAP que teve um decréscimo. Aos 360 dias observou-se um ascenso da relação C:N em todos os tratamentos (Figura 2.7).

A relação C:N na *Simarouba* não apresentaram diferenças significativas, observando-se conteúdos similares nos quatro tratamentos até o final do experimento. Porém, observou-se um acréscimo nas relações C:N ao final do experimento (Figura 2.7). A relação C:N na mistura das duas espécies apresentaram diferenças significativas aos 270 dias ($F=10,31$; $p<0,001$), sendo maiores na PFS do que nos demais tratamentos (Figura 2.7).

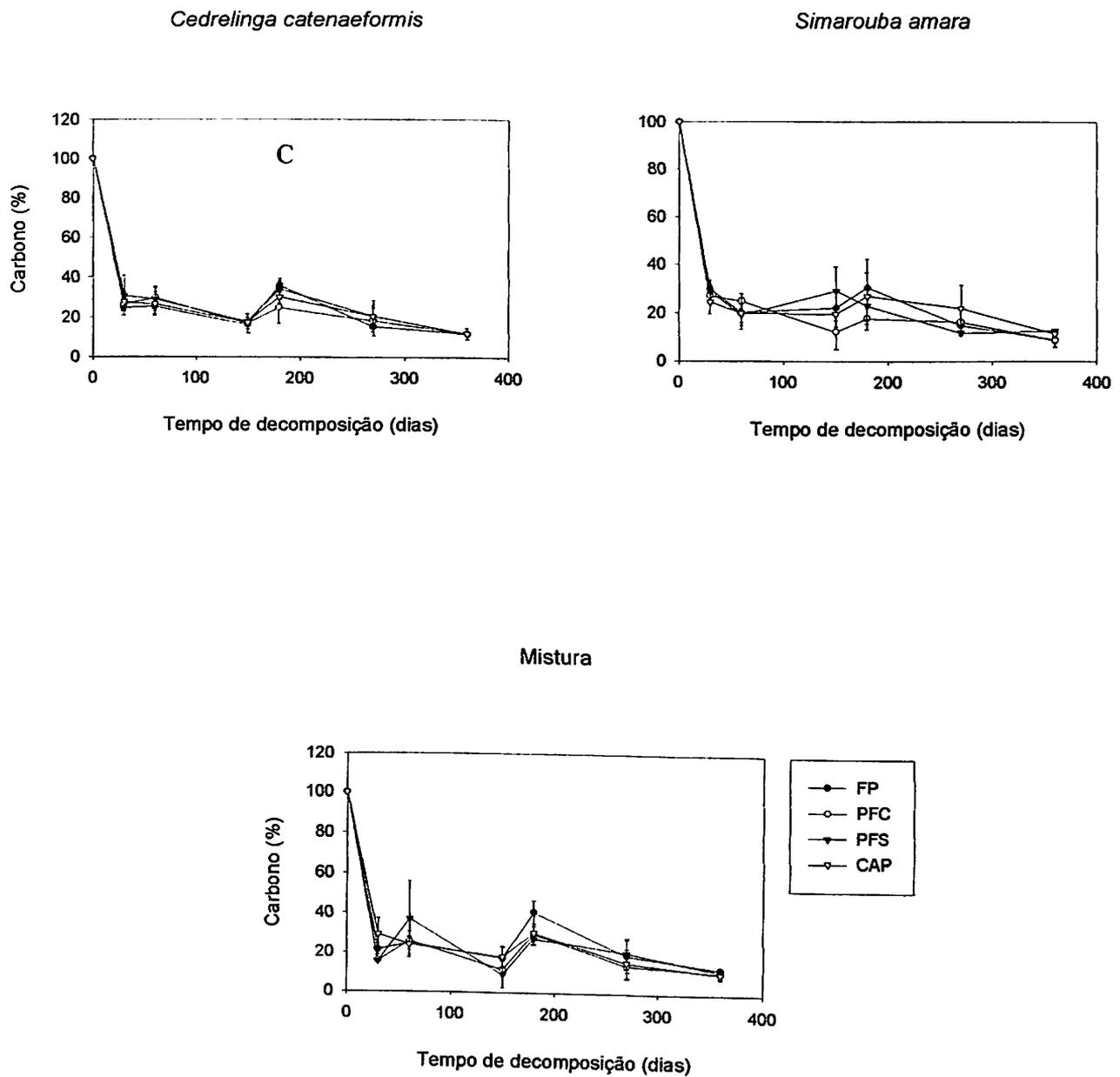


Figura 2.5 Conteúdos residuais de carbono (%) na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.

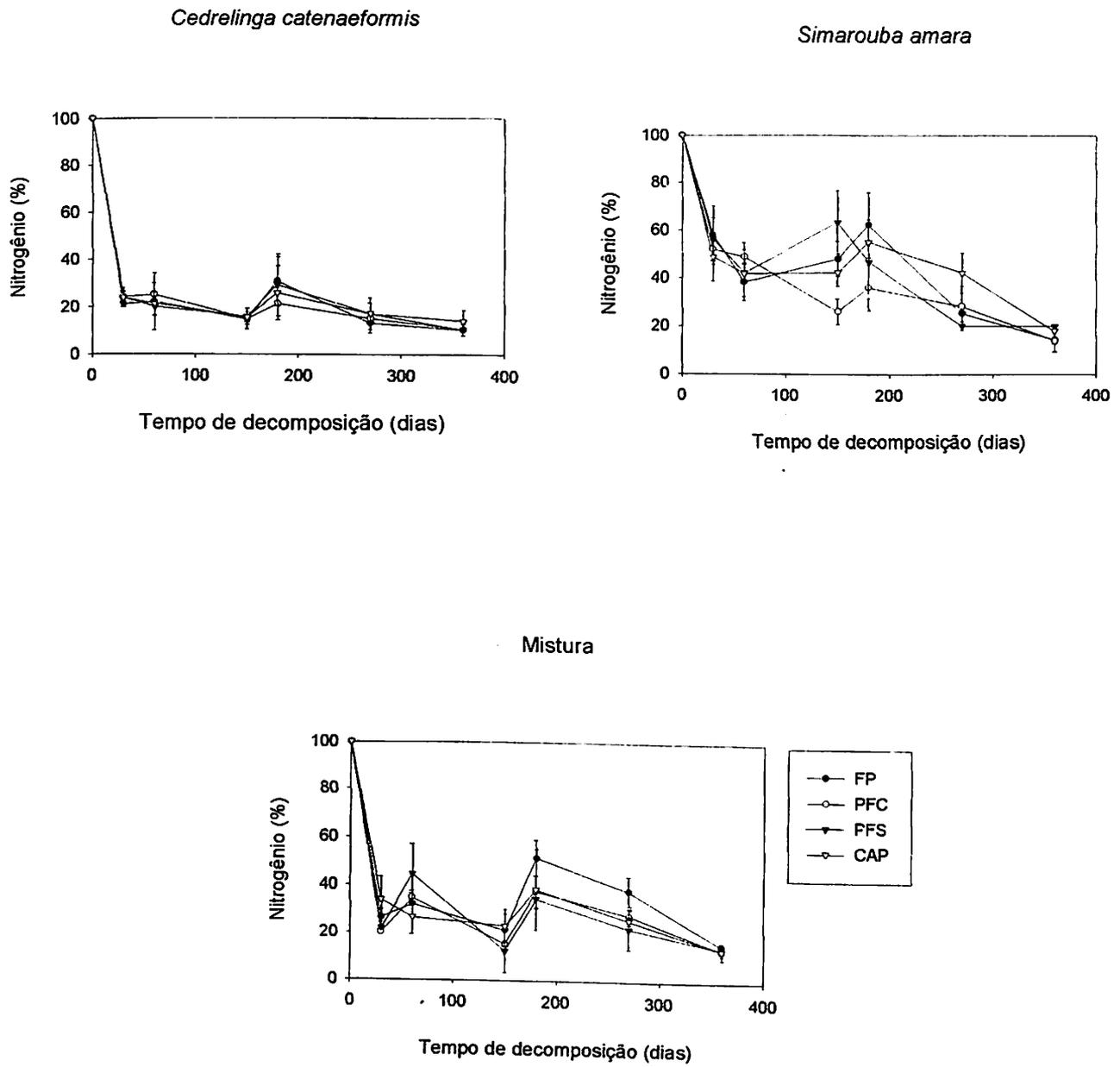


Figura 2.6: Conteúdos residuais de nitrogênio (%) na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.

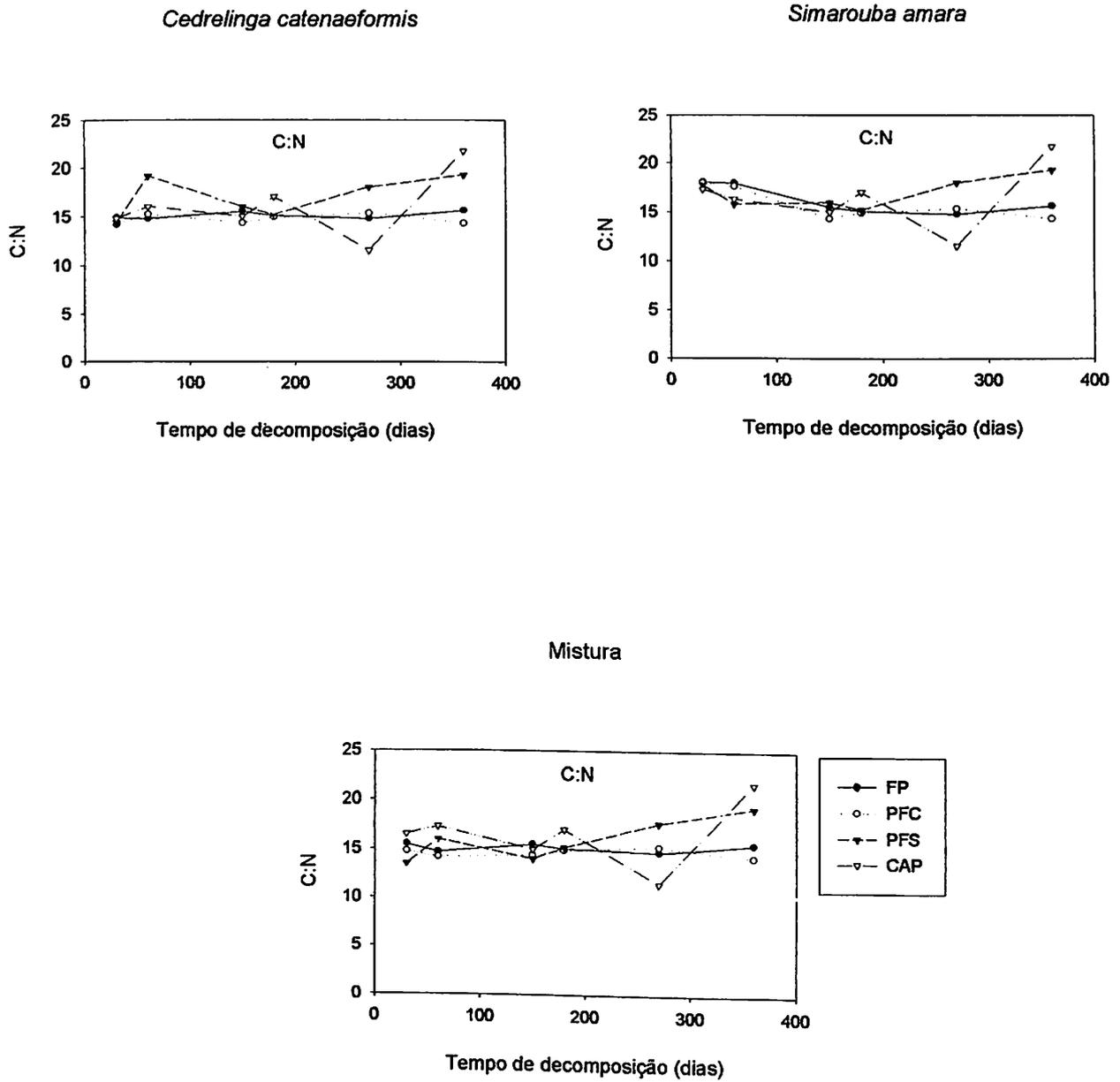


Figura 2.7: Relação C:N, na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.

2.4.7 Conteúdos residuais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio na liteira em decomposição

Os conteúdos residuais de fósforo na liteira de *Cedrelinga* apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos aos 30 e 60 dias ($F=4,63$, $p<0,05$; $F=5,04$, $p<0,01$ respectivamente), sendo maiores na CAP aos 30 dias e na PFC aos 60 dias (Figura 2.8).

Na liteira de *Simarouba* os conteúdos residuais de fósforo foram muito variáveis ao longo do processo de decomposição, sendo que somente apresentaram diferenças significativas aos 150 dias ($F=3,8$; $p<0,05$), sendo maiores na PFS do que nos demais tratamentos (Figura 2.8).

Na mistura das duas espécies de folhas, os conteúdos residuais de fósforo apresentaram diferenças significativas aos 30 e 60 dias ($F=13,8$, $p<0,001$; $F=11,0$, $p<0,01$, respectivamente), sendo maiores aos 30 dias na FP e na PFC aos 60 dias (Figura 2.8).

Cedrelinga e *Simarouba* não apresentaram diferenças significativas nos seus conteúdos residuais de potássio; no entanto, na liteira da mistura de ambas as espécies apresentaram diferença significativa aos 60 dias ($F=15,7$, $p<0,001$), sendo maior na PFS do que nos demais tratamentos (Figura 2.9).

O conteúdo de potássio sofreu uma rápida e forte queda logo ao início do experimento (nos primeiros 30 dias), especialmente na liteira de *Cedrelinga* (Figura 2.9).

Os conteúdos residuais de cálcio na liteira de *Cedrelinga* e da *Simarouba* não apresentaram diferenças significativas nos quatro tipos de vegetação em nenhum período do processo decomposição (Figura 2.10).

Ao contrário do observado para carbono e nitrogênio, as folhas de *Simarouba* foram as que apresentaram uma liberação mais rápida e acentuada de cálcio (Figura 2.10).

Os conteúdos residuais de cálcio na liteira da mistura das duas espécies apresentaram diferenças significativas aos 30 dias ($F=16,0$; $p<0,001$), sendo maior na CAP do que nos demais tratamentos (Figura 2.10).

Os conteúdos residuais de magnésio na liteira de *Cedrelinga* apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos aos 150 dias ($F=6,44$; $p<0,001$), sendo maiores na FP do que nos demais tipos de vegetação (Figura 2.11).

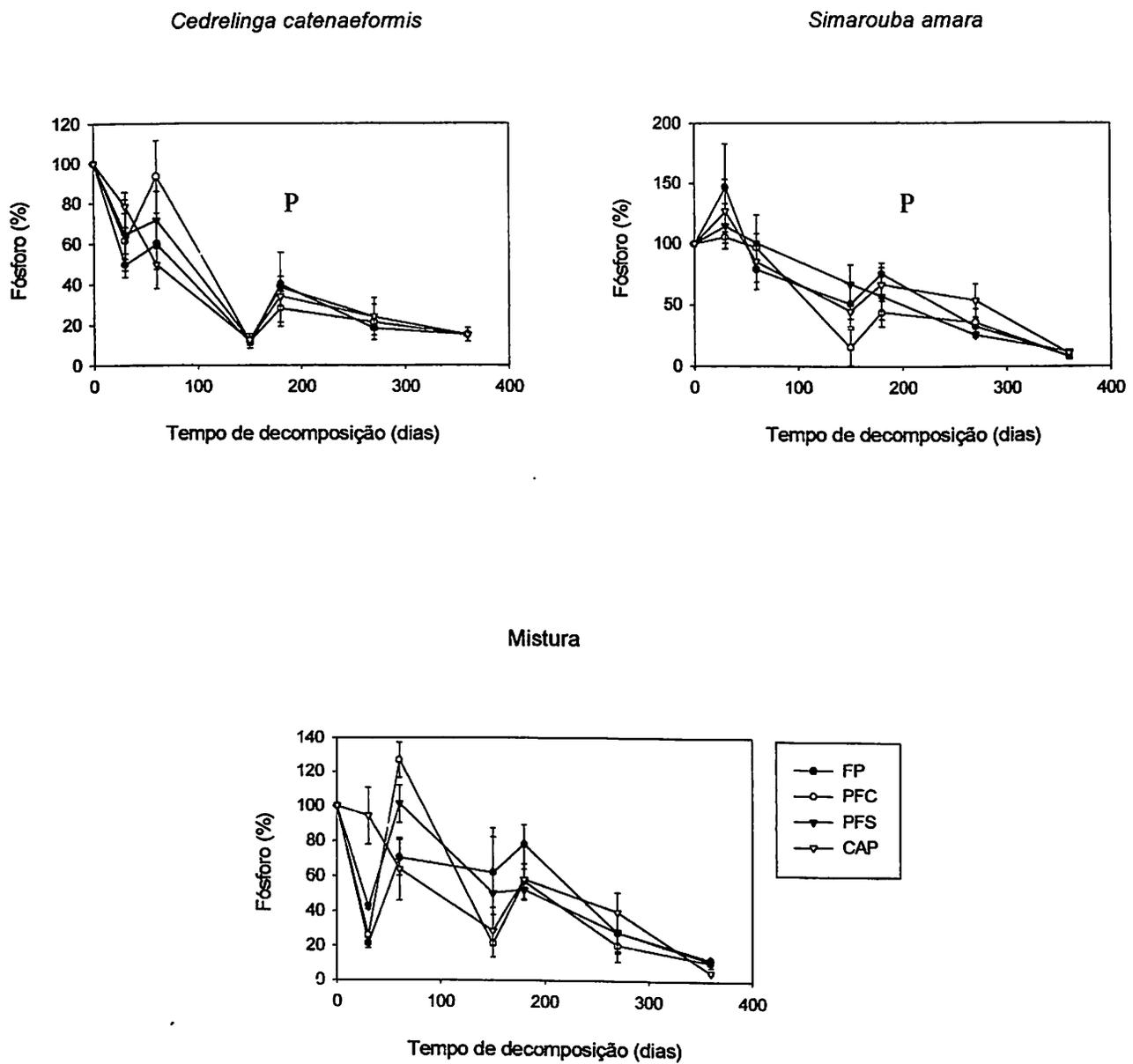


Figura 2.8: Conteúdos residuais de fósforo (%) na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.

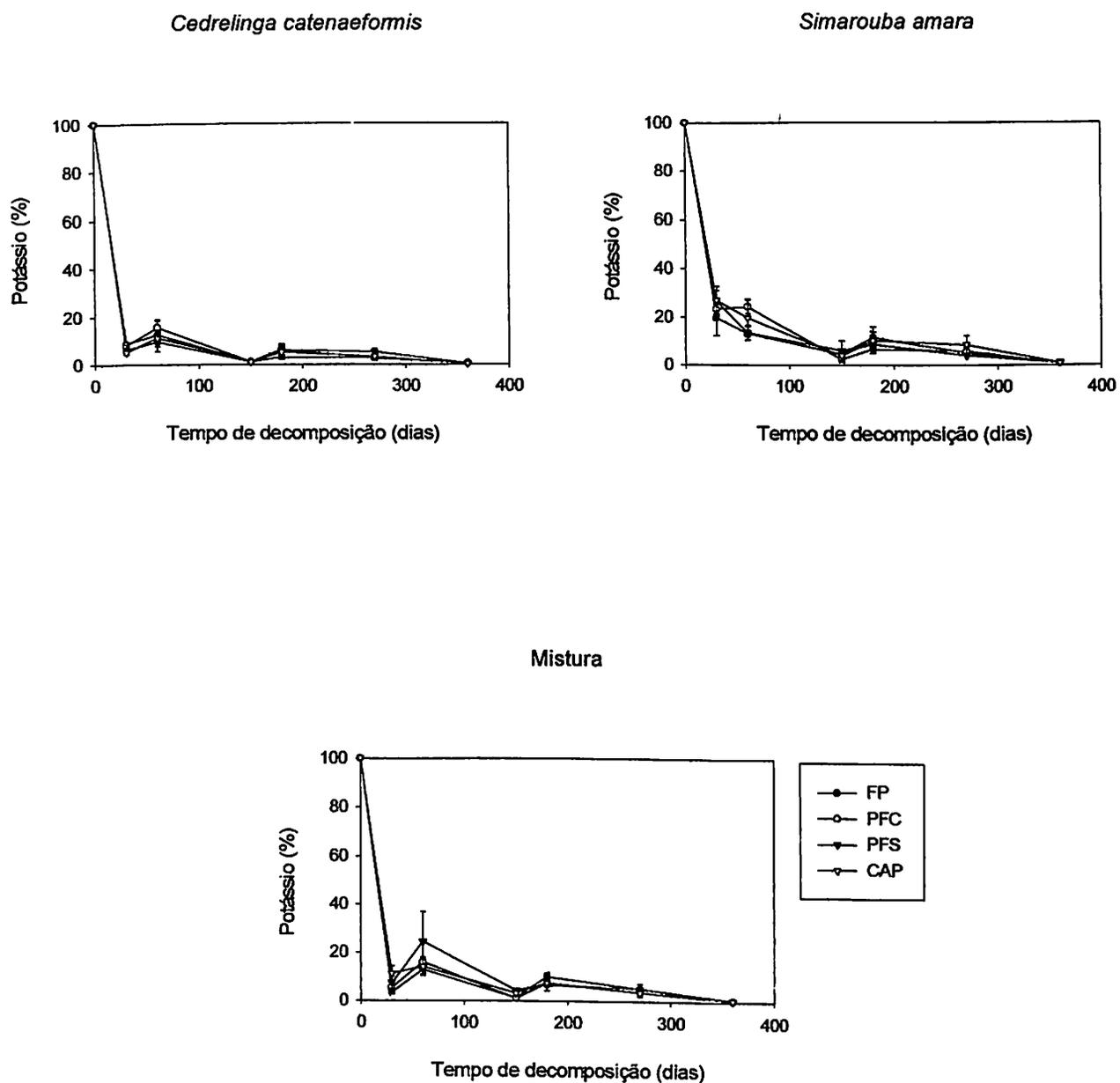


Figura 2.9: Conteúdos residuais de potássio (%) na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.

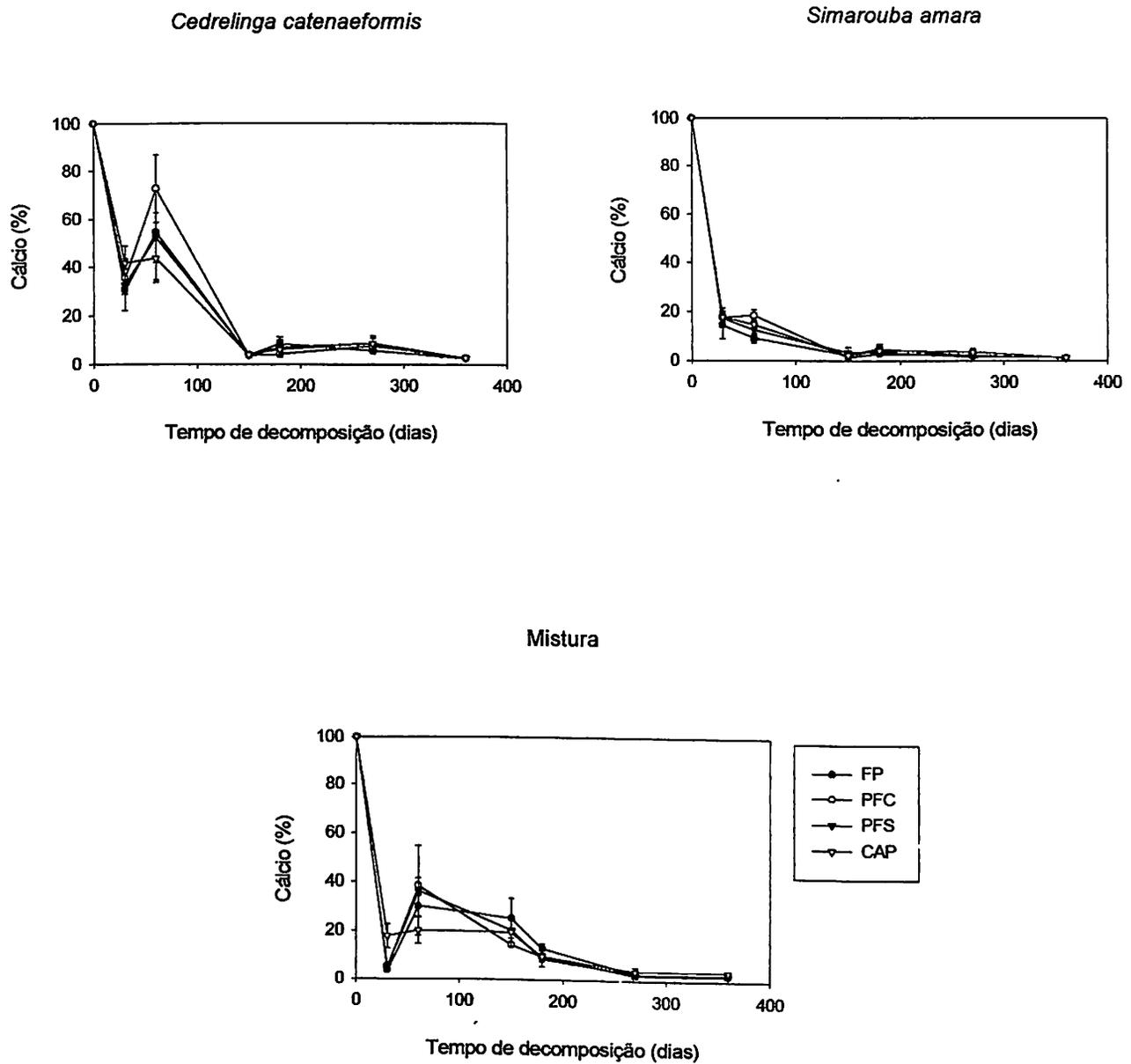


Figura 2.10: Conteúdos residuais de cálcio (%) na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH.

Na liteira de *Simarouba*, os conteúdos residuais de magnésio mostraram diferenças significativas aos 60 dias ($F=5,64$; $p<0,01$), sendo maiores na FP do que nos demais tratamentos (Figura 2.11).

Na mistura das duas espécies, os conteúdos residuais de magnésio não apresentaram diferenças significativas em nenhum período de decomposição, porém, observou-se ligeiras variações nos seus conteúdos ao longo do processo de decomposição, sendo que aos 180 dias houve um incremento acentuado na FP (Figura 2.11).

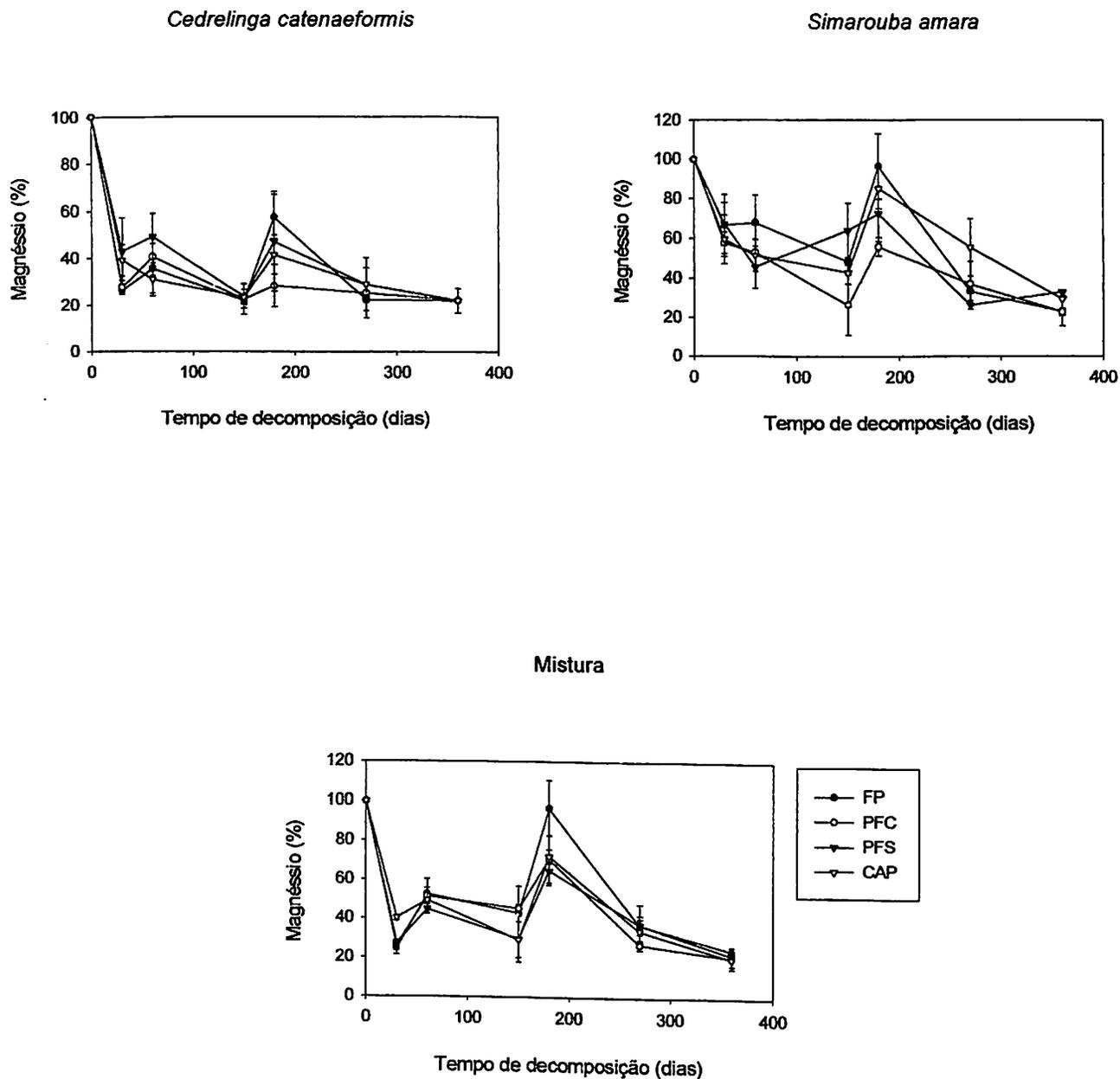


Figura 2.11: Conteúdos residuais de magnésio (%), na liteira de *C. catenaeformis*, *S. amara* e a mistura das duas espécies, após diferentes períodos de decomposição em sacos de malha, colocados em na Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP) no CIJH.

2.4 Discussão

A liteira de *Cedrelinga*, *Simarouba* e da mistura de ambas as espécies, apresentaram padrões diferentes de perdas de peso nos quatro tipos de vegetação desde o primeiro mês de decomposição, e, depois nos outros períodos observaram-se uma forma decrescente até o final do experimento. Consideram-se um pouco altas e aceleradas, as perdas de peso da liteira pelo menos ao início do experimento, provavelmente devido ao período de maior precipitação durante a época chuvosa revelando assim, um desaparecimento rápido da taxa inicial do material vegetal e concordando com os resultados obtidos por outros autores (Wieder & Lang, 1982; Luizão & Schubart, 1987; Sundarapandian & Swamy, 1999; Berg, 2000; Rubinstein, 2001). Porém, não concordando com outros trabalhos de decomposição feitos na Amazônia central mesmo na época chuvosa, onde geralmente ocorreram perdas de peso ao redor de 20 % ao início do período de decomposição (Cornu, *et al.*, 1997; Mota, 2003). Além disso, na Amazônia central atribuí-se que a menor taxa de decomposição ocorreu durante a estação seca quando comparada com a estação chuvosa, onde as atividades dos macro e microorganismos são muito mais intensa, já que eles são fortemente afetados pelas condições de umidade adversas que ocorrem durante a estação seca (Luizão & Schubart, 1987).

Durante o experimento de decomposição, foi possível constatar que ocorreu uma grande atividade dos cupins dentro dos sacos de malha de náilon, principalmente aos 150 e 180 dias e, sobretudo na liteira de *Simarouba*. Os cupins também foram o grupo com maiores densidades entre os macro-invertebrados do solo, na plantação florestal de *Simarouba* (ver capítulo III). Os cupins geralmente são muito abundantes nas florestas tropicais e cumprem um papel importante na decomposição da matéria orgânica, na estruturação do solo, aeração e retenção da água, afetando a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes (Martius, 1994; Lima *et al.*, 2000; Lavelle *et al.*, 2003). Eles fragmentam a liteira, quebrando o material vegetal e facilitando a rápida colonização do mesmo pelos microrganismos, removendo os restos de folhas dos sacos de náilon para os horizontes mais profundos do solo (Swift *et al.*, 1979; Luizão & Schubart, 1987) e transformando os componentes orgânicos da liteira em nutrientes minerais disponíveis para as plantas (Luizão & Schubart, 1987; Luizão, 1995; Lima *et al.*, 2000). Num estudo anterior na Amazônia central, dois fatores, sob fortes influências sazonais, que contribuiu muito na decomposição de folhas nativas de diferentes conteúdos nutricionais dentro dos sacos de malha foi a grande atividade dos macro-invertebrados, principalmente dos cupins do

gênero *Syntermes* durante a estação chuvosa removendo até cerca de 40% do material vegetal sobre a superfície do solo (Luizão & Schubart, 1987). Em sentido contrário, na ilha de Maracá a atividade dos cupins na decomposição foi baixa, devido principalmente à predação dos cupins pela formiga *Pachycondyla commutata* (Mill, 1984; Luizão *et al.*, 1998). Outra atividade biológica importante dentro dos sacos de náilon, no presente estudo, foi a colonização das folhas por raízes finas, observando-se que esta foi alta ao longo de todo o processo de decomposição, sendo maior aos 60, 150 e 180 dias, principalmente nas folhas de *Cedrelinga*; no entanto, o percentual de colonização pelas raízes não mostrou diferenças significativas entre os três tipos de liteira em nenhum período de coleta e tipo de vegetação. No estudo de decomposição de Luizão & Schubart (1987) também observou-se que a penetração das raízes dentro dos sacos de náilon foi maior durante a estação chuvosa do que na estação seca. No entanto, muitas vezes, as raízes que penetram dentro dos sacos de náilon são capazes de quebrar as folhas realizando um efeito indireto, facilitando a entrada e ação da fauna do solo, que em associação com as bactérias e as micorrizas liberam e retiram alguns nutrientes das folhas em decomposição (Luizão, 1994, Luizão, 1995).

Os fatores que regulam o processo de decomposição e as atividades biológicas e físicas envolvidas são fundamentalmente quatro: macro e microclima, comunidade de decompositores e qualidade do recurso (Swift *et al.*, 1979; Couteaux *et al.*, 1995; Lavelle *et al.*, 1993). A temperatura e a umidade são os principais fatores ambientais que afetam diretamente os processos de decomposição (Swift & Anderson, 1989; Lavelle *et al.*, 1993). Na Amazônia central, existem evidências de que as taxas de decomposição são muito afetadas pelas variações sazonais, formando padrões distintos nas estações chuvosa e seca (Luizão & Schubart, 1987; Cornu *et al.*, 1997).

A umidade não somente influencia diretamente a lixiviação dos nutrientes, mas também cria condições apropriadas para as atividades dos microorganismos e invertebrados (Swift & Anderson, 1989). As modificações dos fatores ambientais ou microclimáticas afetam a atividade dos organismos do solo, o que tem efeito na decomposição da liteira (Chen *et al.*, 1999). A ação dos macro-invertebrados e sua interação com os microorganismos adquirem uma importância vital em processos de decomposição principalmente em florestas tropicais, onde geralmente a umidade e a temperatura são favoráveis à atividade biológica (Lavelle *et al.*, 1993; Heneghan *et al.*, 1999; Gonzáles & Seastedt, 2001).

No presente estudo, as taxas de decomposição apresentaram-se muito similares nas duas espécies de liteira e na mistura de ambas as espécies nos quatro tipos de vegetação. Porém, as taxas de decomposição deste estudo foram mais altas do que os geralmente encontrados em outros tipos de florestas em Sarawak e na Amazônia central (Tabela 2.3).

Tabela 2.3: Taxas de decomposição em diferentes tipos de vegetação.

Florestas e/ou folhas	Lugar	<i>k</i>	meia-vida	Fonte
Floresta de <i>Dypterocarpus</i>	Sarawak	1,30	-	Anderson <i>et al.</i> , 1983
Floresta primária	Manaus	1,42	-	Luizão & Schubart, 1987
Capoeira	Manaus	1,37	-	Luizão & Schubart, 1987
<i>Clitoria</i> (F. primária)	Manaus	1,08	221	Luizão, 1995
<i>Pradosia</i> (F. primária)	Manaus	0,63	341	Luizão, 1995
<i>Aldina</i> (F. primária)	Manaus	0,97	264	Luizão, 1995
Floresta primária	Manaus	1,40	174	Höfer & Luizão, 1999
Capoeira	Manaus	0,70	338	Höfer & Luizão, 1999
<i>Cedrelinga</i> (F. primária)	CIJH	1,80	140	Este estudo
<i>Simarouba</i> (F. primária)	CIJH	1,80	140	Este estudo
<i>Cedrelinga</i> (Capoeira)	CIJH	1,82	139	Este estudo
<i>Simarouba</i> (Capoeira)	CIJH	1,82	139	Este estudo

As estimativas de meia-vida foram usados para comparar as taxas de decomposição (Babbar & Ewel, 1989), inclusive entre a liteira das duas espécies e a mistura de ambas as espécies nos diferentes tratamentos deste estudo. No presente estudo, os índices de meia-vida estiveram ao redor dos 140 dias em todos os tratamentos; sendo mais baixos do que os geralmente encontrados na Amazônia central (Tabela 2.3).

As folhas iniciais novas e maduras de *Cedrelinga*, *Simarouba* e a mistura das duas espécies, usadas no experimento de decomposição, apresentaram concentrações de carbono e nutrientes muito variáveis. Os conteúdos residuais de carbono tiveram uma diminuição acentuada nos três tipos de substrato logo ao início da decomposição (primeiros 30 dias), e depois mantiveram-se constantes e similares nos dos tipos de folhas e na mistura de ambas as espécies em todos os tipos de vegetação, até o final do experimento, em taxas muito similares às da perda de peso da liteira ao longo do processo de decomposição, não coincidindo com os altos conteúdos de carbono registrados na liteira de *Eucalyptus globulus* na Amazônia central, especialmente nas três primeiras semanas de início do processo de decomposição (Ribeiro *et al.*, 2002).

O nitrogênio geralmente tem sido apontado como um bom indicador das taxas de mineralização da liteira das plantas (Melillo *et al.*, 1982), sendo considerado um elemento de baixa lixiviação em florestas tropicais (Babbar & Ewel, 1989). Lehmann *et al.* (1995), além do conteúdo de lignina e polifenóis, identificaram o conteúdo inicial de nitrogênio

como um dos parâmetros para determinar a qualidade do substrato. No presente estudo, o nitrogênio apresentou conteúdos residuais baixos nas folhas de *Cedrelinga* e altamente variáveis nas folhas de *Simarouba* e na mistura das duas espécies nos quatro tipos de vegetação.

Na Amazônia central, leguminosas ricas em nutrientes, particularmente em N, têm mostrado uma rápida liberação de N, principalmente devido à lixiviação (Schroth *et al.*, 1992). Por outro lado, a liteira de *Vismia guianensis* com baixos teores de nitrogênio mostrou-se um material de difícil decomposição e os nutrientes ficaram retidos no material residual por um longo tempo (Mota, 2003). Assim mesmo, verificou-se que determinadas espécies pioneiras, incluindo *Vismia* sp., tiveram decomposição mais lenta do que *Cecropia* sp., que apresenta baixos teores de nitrogênio nas folhas e que, por sua vez, tem uma decomposição muito lenta em comparação com as folhas de árvores da floresta madura (EEC, 1994). Smith *et al.* (1998) verificaram um acúmulo de nitrogênio, após 1 ano de decomposição, em folhas de algumas espécies da Amazônia, entre elas *Carapa guianensis*, atribuindo a baixa taxa de decomposição e de liberação de nutrientes à exclusão da macrofauna, devida ao uso de sacos com tela de apenas 1 mm de abertura.

Segundo Myers *et al.* (1985), a relação C:N é um indicador de qualidade do material vegetal, definindo-se alta (C:N<25) e baixa (C:N>25) qualidade. Por outro lado Barbosa & Fearnside (1996), estimam que uma relação C:N acima de 20, indica uma lenta decomposição com imobilização de nitrogênio. A relação C:N é muito importante na decomposição da liteira, uma vez que constitui um índice geral da qualidade da liteira (Heal *et al.*, 1997). A relação C:N têm sido mostrada como um bom indicador das taxas de decomposição da liteira, especialmente quando o substrato da liteira tem um baixo conteúdo de lignina (Taylor *et al.*, 1989). No presente estudo, as folhas de *Simarouba* e a mistura de ambas as espécies apresentaram uma alta relação C:N (C:N<25), indicando assim uma qualidade do material mais alta do que as folhas de *Cedrelinga*, e, por conseguinte, mais favorável à decomposição (Aber & Melillo, 1991). As folhas de *Cedrelinga* e *Simarouba* e, por conseguinte a mistura das duas espécies, tiveram uma alta relação C:N, o que concorda com as altas taxas da relação C:N na liteira de *Croton lundellii*, *Matopium brownei* e *Manilkara zapota* numa floresta secundária seca em México, com tendência de diminuição ao longo do processo de decomposição (Xuluc-Tolosa *et al.*, 2003).

Os conteúdos residuais de fósforo na liteira das duas espécies e da mistura de ambas as espécies mantiveram-se altas e variáveis ao início do processo de decomposição,

em todos os tratamentos; depois dos 150 dias, os conteúdos foram baixos e similares até o final do experimento, principalmente nas duas espécies isoladas do que na mistura delas. Os altos conteúdos de fósforo no presente estudo, não concordaram com a rápida liberação inicial de fósforo causado pela lixiviação em sistemas de policultivos na Amazônia central (Schroth *et al.*, 1992). Por outro lado, a liteira de *Bertholletia excelsa* apresentou uma rápida tendência de liberação de fósforo ao início do experimento de decomposição (Kato, 1995). No entanto, na ilha de Maracá, ao norte da Amazônia central, Luizão *et al.* (1998) encontraram uma forte retenção de fósforo nas folhas de *Alseis longifolia*, *Ecclinusa guianensis*, *Lecythis corrugata* ssp *rosea* e *Tetragastris panamensis*, nos primeiros estágios de decomposição.

Os resultados obtidos para liberação de nutrientes na liteira durante o processo de decomposição, estão de acordo com os trabalhos de Blair (1988), Cornu *et al.* (1997), Mota (2003) e Ribeiro *et al.* (2002), que verificaram uma seqüência de liberação de $K > Mg > Ca > P$. Kato (1995) também verificou que a maior parte do conteúdo de potássio na liteira de *Bertholletia excelsa* foi liberado nos primeiros 30 dias da decomposição, seguido pelo magnésio.

A rápida liberação de potássio e magnésio é um fenômeno comumente observado (Blair, 1988) e foi verificada por Luizão (1995) em folhas de *Clitoria racemosa*, *Pradosia schomburgkiana* e *Aldina heterophylla* na Amazônia central; na mistura de quatro espécies de árvores comuns da floresta madura na ilha de Maracá (Luizão *et al.*, 1998) e nas folhas de *Eucalyptus globulus* em Portugal (Ribeiro *et al.*, 2002).

O cálcio mostrou conteúdos altos e variáveis principalmente nas folhas de *Cedrelinga*, e baixos conteúdos nas folhas de *Simarouba* desde o início até o final do experimento, comportamento oposto ao observado por Schroth *et al.* (1992) e Kato (1995) na Amazônia central, onde geralmente o material foi retido até as últimas etapas do processo de decomposição.

Assim, as frações de carbono, lignina, celulose, polifenóis e as concentrações iniciais de nitrogênio e fósforo são importantes reguladores dos processos de decomposição da liteira (Vitousek *et al.*, 1994). No presente trabalho, as concentrações de polifenóis nas folhas maduras de *Cedrelinga* foram menores do que nas folhas de *Acacia auriculiformis* e *Inga edulis*, no entanto, as folhas novas e maduras das duas espécies deste estudo, apresentaram maiores concentrações dos polifenóis do que as folhas de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* no Hawai (Constantinides & Fownes, 1994).

2.5 Conclusão

No processo de decomposição, os conteúdos residuais de C, N, P, K, Ca e Mg na liteira de *Cedrelinga*, *Simarouba* e ambas as espécies foram variados e similares nos quatro tipos de vegetação, coincidindo com a perda de peso da liteira em todos os tratamentos.

CAPÍTULO III

Macro-invertebrados do solo em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana

3.1 Introdução

Nas florestais tropicais, a população de macro-invertebrados do solo é muito diversa (Adis, 1988) e compreende milhões de invertebrados que vivem dentro e na superfície do solo, ou que passam uma ou mais fases ativas de sua vida no solo. São animais geralmente maiores de 2 mm de diâmetro e visíveis a olho nu. Eles desempenham um papel-chave nos processos que determinam a fertilidade e a estruturação física do solo, e podem regular a disponibilidade dos nutrientes assimiláveis pelas plantas (Lavelle *et al.*, 1997).

Espécies coletadas em distintos ecossistemas podem ter sua atividade diferenciada no solo e na liteira (Kang *et al.*, 1994). Os organismos, habitantes da liteira e das camadas superiores do solo, através de seu papel na decomposição da liteira e na liberação dos nutrientes, são de muita importância para as condições de crescimento das espécies plantadas e o desenvolvimento e funcionamento dos agroecossistemas (Swift *et al.*, 1979; Lavelle, 1984; Tian *et al.*, 1997, 1998), principalmente através de suas interações com a microflora. Assim, a diversidade e a abundância das comunidades de macro-invertebrados podem ser usadas como indicadores da qualidade do solo e de seu funcionamento (Stork & Eggleton, 1992), uma vez que a fauna do solo em geral influencia a dinâmica dos processos químicos do solo (Petersen & Luxton, 1982). Uma abundante e diversificada fauna do solo pode ajudar a assegurar uma rápida reciclagem dos nutrientes (Fittkau & Klinge, 1973) e o rápido crescimento das plantas (Spain *et al.*, 1992). Este fato é particularmente importante em condições de áreas cultivadas em solos inférteis e/ou com baixos insumos (Vohland & Schroth, 1999).

Porém, a natureza e os mecanismos das interações entre os micro e macro organismos do solo (Vohland & Schroth, 1999) e sua relação com os processos de decomposição são ainda pouco conhecidos na Amazônia (Uguen *et al.*, 2000). Estes processos são possivelmente dependentes da quantidade e qualidade da liteira depositada sobre o solo, que são diretamente dependentes da cobertura vegetal e do manejo da área de estudo (Barros, 1999; Tapia-Coral *et al.*, 1999).

3.2 Objetivo

Estimar a diversidade (nº de grupos), a densidade (ind.m⁻²) e a biomassa (g.m⁻²) dos macro-invertebrados do solo em quatro tipos de vegetação: floresta primária, capoeira e duas plantações florestais em terra firme, na Amazônia peruana.

3.3 Métodos

A área de estudo e o delineamento experimental foram descritos na primeira seção.

3.3.1 Coleta dos macro-invertebrados do solo e liteira

Os macro-invertebrados do solo foram coletados de acordo com a metodologia recomendada pelo Programa TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility, IUBS/UNESCO) (Anderson & Ingram, 1993), coletando-se cinco monolitos de solo de 25 x 25 x 30 cm em todas as parcelas dos quatro tipos de vegetação, separados a cada 5 m ao longo de um transeto em linha reta de 30 m (Figura 3.1). Os monolitos foram subdivididos em quatro estratos: liteira; camadas do solo de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade (Figura 3.1). Os macro-invertebrados (> 2 mm de diâmetro) foram separados por triagem manual diretamente no campo, com auxílio de uma pinça e pincéis, sobre bandejas plásticas (Figura 3.2); os animais foram armazenados em frascos com álcool a 70 % + 1% de formol. As coletas foram feitas durante a estação chuvosa (março e abril de 2001), quando a atividade biológica do solo geralmente é mais intensa.

3.3.2 Coleta da macrofauna da liteira

Adicionalmente, às coletas pelo método TSBF, e para permitir uma avaliação sazonal, foram delimitados dois transetos em linha reta de 50 m em todas as parcelas dos quatro tratamentos e coletaram-se 10 amostras de liteira com o mesmo quadro de madeira do TSBF de 25 x 25 cm, a cada 5 m no transeto (total: 20 amostras). Com auxílio de uma faca, a liteira era cortada e depositada numa grande bandeja, onde a macrofauna foi retirada da mesma forma que descrita anteriormente para a coleta da macrofauna do solo. As coletas foram feitas na estação chuvosa (março e abril) e na estação seca (agosto e setembro) de 2001.

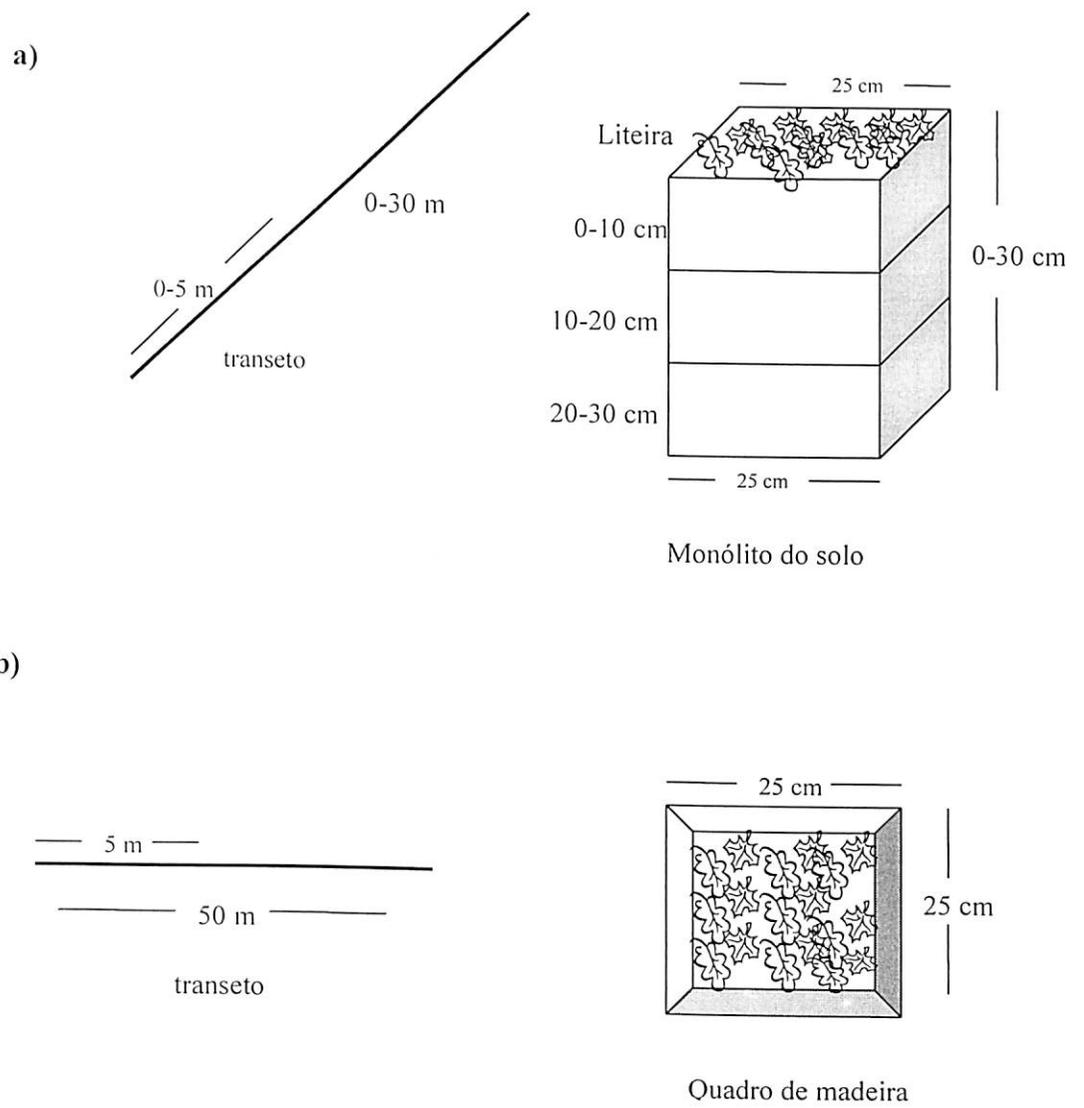


Figura 3.1: Desenhos esquemáticos de a) Método TSBF e b) Método do quadro de madeira, empregados nas coletas dos macro-invertebrados do solo e da liteira.



a)

b)



Figura 3.2: Amostragem de (a) monólito do solo e (b) triagem dos macro-invertebrados nas parcelas do CIJH.

3.3.3 Identificação e pesagem dos macro-invertebrados

Os macro-invertebrados coletados tanto no solo como na liteira foram identificados ao nível de grandes grupos (Ordem) (Coinneau, 1974; Barnes, 1984), contados para estimar sua densidade (ind.m^{-2}) e pesados para obter a biomassa fresca em álcool (g.m^{-2}) com ajuda de uma balança analítica. As formas imaturas visíveis a olho nu foram separadas, contadas, pesadas e agrupadas como larvas. Os macro-invertebrados adultos também foram separados ao nível de grupos funcionais, como "Decompositores", "Predadores", "Herbívoros" e "Outros", seguindo a classificação de Beck & Gasparotto (2000), com algumas modificações (Tabela 3.1). Foi incluída ainda a classificação dos "Engenheiros-do-solo" (Jones *et al.*, 1994a; Lavelle, 1997), formada pelos grupos: Oligochaeta, Isoptera e Formicidae (as densidades e biomassas dos três grupos, foram somadas para compor este grupo). Todo o material coletado foi conservado em frascos e guardado na coleção de invertebrados no Laboratório de Entomologia do "Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana" (IIAP).

Tabela 3.1: Composição dos grupos funcionais e dos engenheiros-do-solo dos macro-invertebrados do solo.

Decompositores	Predadores	Herbívoros	Outros	Engenheiros-do-solo
Oligochaeta	Arachnida	Orthoptera	Blattaria	Oligochaeta
Isopoda	Opilionida	Hemiptera	Diptera	Isoptera
Diplopoda	Scorpionida	Homoptera	Coleoptera	Hymenoptera
	Pseudoescorpionida		Gastropoda	(Formicidae)
	Chilopoda		Larvas	
	Dermaptera			

Fonte: Beck & Gasparotto, 2000; adaptado

3.3.4 Análises dos dados

Os dados de densidade e biomassa dos macro-invertebrados foram normalizados [$\log (X + 1)$] (Zar, 1974). Foram feitas Análises de Variância (ANOVA), com subseqüentes testes de Tuckey ao nível de significância de 5 % para encontrar as diferenças entre os tipos de vegetação (tratamentos) e entre as estações chuvosa e seca. Também foram feitas Análises de Componentes Principais (PCA) com o propósito de identificar os fatores predominantes para suas densidades e biomassas e comparar as comunidades dos invertebrados nos quatro tipos de vegetação. Para as análises estatísticas foram usados os programas Statistitics 5.0 e Systat 8.0 para Windows.

3.4 Resultados

3.4.1 Macro-invertebrados do solo (Método TSBF)

3.4.1.1 Densidade e diversidade

A densidade total dos macro-invertebrados do solo foi mais alta na PFS (3702 ind.m⁻²), com 18 grupos taxonômicos, seguida pela FP (2482 ind.m⁻²), com 24 grupos taxonômicos, a CAP (2281 ind.m⁻²), com 19 grupos taxonômicos e a PFC (2176 ind.m⁻²), com 20 grupos taxonômicos; porém, as diferenças não foram significativas entre os tipos de vegetação (Figura 3.3).

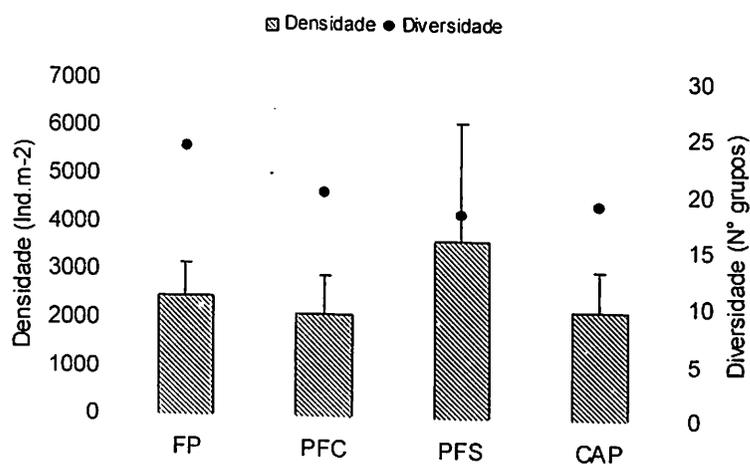


Figura 3.3: Densidade total e diversidade dos macro-invertebrados do solo em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam a média de três blocos (n=3) e as barras verticais são os erros-padrão da média.

Os grupos Formicidae e Isoptera foram os predominantes nos quatro tipos de vegetação amostrados; os Isoptera dominaram o total dos invertebrados capturados nos quatro tratamentos, com densidades mais altas nas áreas de monocultivo, na PFC (2459 ind.m⁻²) e PFS (1065 ind.m⁻²) (Tabela 3.2). Embora suas densidades não tenham apresentado diferenças significativas entre os tipos de vegetação, observou-se que as formigas foram mais abundantes na FP (749 ind.m⁻²), seguida pela PFS (673 ind.m⁻²) (Tabela 3.2). A densidade dos Oligochaeta foi significativamente diferente entre os tratamentos (F=3,89; P<0,01), sendo maior na CAP (115 ind.m⁻²) e na FP (106 ind.m⁻²) do que nas plantações florestais. As densidades dos Isopoda e Arachnida não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos; porém observou-se que ambos grupos foram mais abundantes na FP e PFC (Tabela 3.2). A densidade dos Diplopoda também não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos; entretanto, observou-se que

foram mais abundantes na CAP (78 ind.m⁻²) e na FP (59 ind.m⁻²) do que nas plantações florestais (Tabela 3.2). As densidades dos grupos Chilopoda, Blattaria, Dermaptera, Diptera, Coleoptera e as larvas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. A densidade de Orthoptera apresentou diferença significativa entre os tratamentos (F=2,88; P<0,05), sendo maior a densidade na CAP (19 ind.m⁻²) do que nos demais tratamentos. O grupo dos Homoptera também apresentou diferença significativa (F=3,57; P<0,05) sendo maior na FP (29 ind.m⁻²) do que nos demais tipos de vegetação (Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Densidade (ind.m⁻²) e diversidade (Nº de grupos) dos macro-invertebrados do solo na Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são médias de três blocos (n=3) e os erros-padrão da média estão representados entre parênteses. As letras diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ao nível de 0,5% (p<0,05).

Ordens	FP	PFC	PFS	CAP
Oligochaeta	106 (43)a	67 (41) b	40 (13)b	115 (44)a
Isopoda	143 (98)a	90 (20)a	53 (18)a	49 (16)a
Arachnida	172 (66)a	130 (38)a	86 (28)a	102 (28)a
Diplopoda	59 (15)a	34 (10)a	38 (11)a	78 (15)a
Chilopoda	42 (14)a	48 (12)a	40 (15)a	65 (19)a
Blattaria	45 (18)a	3 (13)a	60 (23)a	28 (12)a
Dermaptera	12 (9)a	7 (4)a	6 (5)a	6 (4)a
Orthoptera	5 (4)a	5 (4)a	12 (9)a	19 (10)a
Homoptera	29 (12)a	10 (6)a	7 (3)a	20 (11)a
Diptera	6 (4)a	19 (12)a	7 (5)a	17 (10)a
Coleoptera	260 (53)a	157 (33)a	126 (28)a	249 (51)a
Larvas	30 (11)a	35 (14)a	48 (15)a	37 (24)a
Outros	16 (9)a	80 (22)b	47 (21)c	15 (11)a
Sub total	926	715	570	800
Formicidae	749 (250)a	396 (119)a	673 (348)a	600 (159)a
Isoptera	807 (588)a	1065 (683)a	2459 (2142)a	881 (707)a
Total	2482	2176	3702	2281
Nº Grupos	24	20	18	19

3.4.1.2 Biomassa

A biomassa total dos macro-invertebrados do solo apresentou diferenças significativas entre os quatro tipos de vegetação amostrados (F=4,34; P<0,05), sendo maior na CAP (24,2 g.m⁻²) e menor nas plantações florestais (Tabela 3.3). Na FP, a biomassa total dos macro-invertebrados foi de 16,7 g.m⁻² sendo dominada pelos grupos

Oligochaeta e Coleoptera (Tabela 3.3). A biomassa dos Oligochaeta apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ($F=5,19$; $P<0,005$), sendo maior na CAP e menor na PFC. As minhocas encontradas geralmente foram indivíduos da família Glossoscolecidae, espécie *Pontoscolex corethrurus* na CAP e exemplares conhecidos como minhocoço (ou “sapanas”, como são conhecidos localmente em Jenaro Herrera), medindo até 50 cm de comprimento, na FP. O grupo dos Diplopoda também apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ($F=6,78$; $P<0,001$), sendo maior na CAP. A biomassa de Formicidae foi mais alta na PFS, embora sem apresentar diferenças significativas entre os tratamentos. A biomassa dos Isoptera foi relativamente alta na FP devido provavelmente aos grandes indivíduos do gênero *Syntermes* spp. que foram encontrados freqüentemente neste tratamento (Tabela 3.3).

Tabela 3.3: Biomassa ($g.m^{-2}$) dos macro-invertebrados do solo em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são médias de três blocos ($n=3$) e os erros-padrão da média estão representados entre parênteses. As letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 0,5% ($p<0,05$).

Ordens	FP	PFC	PFS	CAP
Oligochaeta	4,96 (3,92)a	0,80 (0,99)b	2,20 (1,77)b	8,61 (6,44)c
Isopoda	0,06 (0,05)a	0,03 (0,01)a	0,06 (0,05)a	0,02 (0,01)a
Diplopoda	0,24 (0,18)a	0,17 (0,14)a	0,06 (0,03)b	2,35 (1,73)c
Coleoptera	4,08 (5,01)a	0,14 (0,08)b	0,20 (0,13)b	0,44 (0,27)b
Formicidae	0,83 (0,46)a	0,99 (0,52)a	2,50 (2,77)b	0,79 (0,33)a
Isoptera	2,98 (2,96)a	0,33 (0,23)b	2,30 (2,59)a	0,86 (0,62)b
Larvas	0,73 (0,56)a	0,47 (0,36)a	0,56 (0,27)a	9,21 (8,47)b
Outros	2,79 (1,86)a	4,08 (2,84)b	1,49 (0,62)c	1,94 (0,76)c
Total	16,7 a	7,20 b	9,39 b	24,2 c

3.4.1.3 Distribuição vertical

A distribuição vertical dos macro-invertebrados do solo mostrou padrões similares nas diferentes camadas: a maioria dos invertebrados foi encontrado na camada da liteira, nos quatro tipos de vegetação, com 74% dos indivíduos na PFS, 73% na PFC, 60% na FP com 60% e 55% na CAP (Figura 3.4). Na camada de 0-10 cm de profundidade foram encontradas densidades muito semelhantes nos tratamentos de FP e nas PFC e PFS; na CAP, encontrou-se ao redor de 35% dos indivíduos. Nas camadas de 10-20 foram encontrados indivíduos praticamente só na FP e CAP (Figura 3.4).

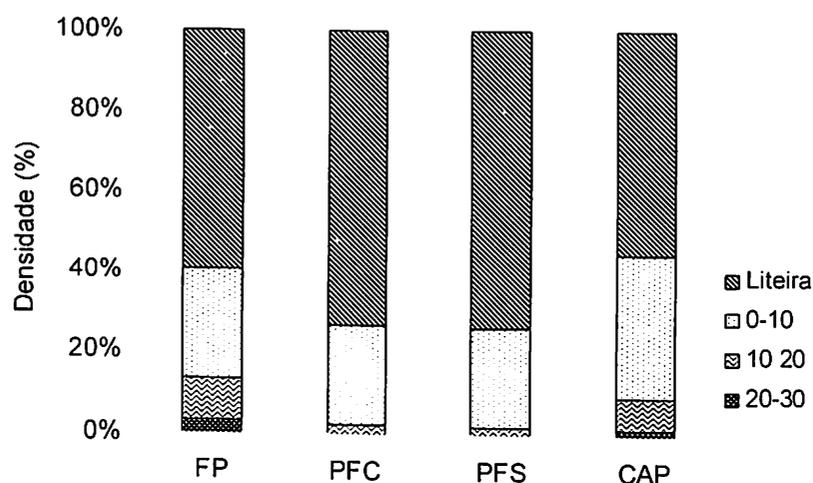


Figura 3.4: Distribuição vertical dos macro-invertebrados do solo (%) na Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam a média de três blocos (n=3).

3.4.1.4 Grupos funcionais

As densidades dos grupos funcionais dos macro-invertebrados do solo, excluindo-se os grupos sociais (Isoptera e Formicidae), não apresentaram diferenças significativas entre os quatro tipos de vegetação amostrados. No entanto, observou-se que os “decompositores” (Oligochaeta, Diplopoda e Isopoda) foram mais abundantes na FP (348 ind.m⁻²), seguida da CAP (242 ind.m⁻²). Os “herbívoros” (Orthoptera e Homoptera) foram os menos representativos nos quatro tipos de vegetação amostrados. Os “predadores” (Arachnida, Chilopoda e Dermaptera) apresentaram densidades similares na FP (188 ind.m⁻²) e na PFC (189 ind.m⁻²). A densidade dos “outros” grupos variou de 288 ind.m⁻² na PFS a 355 ind.m⁻² na FP (Tabela 3.4).

Tabela 3.4: Densidade dos grupos funcionais dos macro-invertebrados do solo (ind.m⁻²) em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são a média de três blocos (n=3) e os erros-padrão da média estão representados entre parênteses. As letras iguais nas colunas indicam que não apresentaram diferenças significativas ao nível de 0,5% (p<0,05).

Grupos Funcionais	FP	PFC	PFS	CAP
Decompositores	348 (192)a	191 (72)a	134 (44)a	242 (76)a
Predadores	188 (62)a	189 (58)a	129 (49)a	175 (53)a
Herbívoros	35 (16)a	15 (9)a	19 (12)a	39 (21)a
Outros	355 (99)a	319 (95)a	288 (92)a	346 (107)a
Total	926	714	570	802

3.4.1.5 Engenheiros-do-solo

A densidade dos Engenheiros-do-solo (Oligochaeta, Formicidae e Isoptera) foi elevada na PFS (3172 ind.m⁻²) do que na FP, PFC e a CAP, porém sem diferenças significativas entre os tipos de vegetação (Figura 3.5; A). A biomassa dos Engenheiros do solo foi muito variada nos quatro tipos de vegetação amostrados, sendo mais alta na CAP e FP do que nas plantações florestais porém, também sem diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 3.5; B).

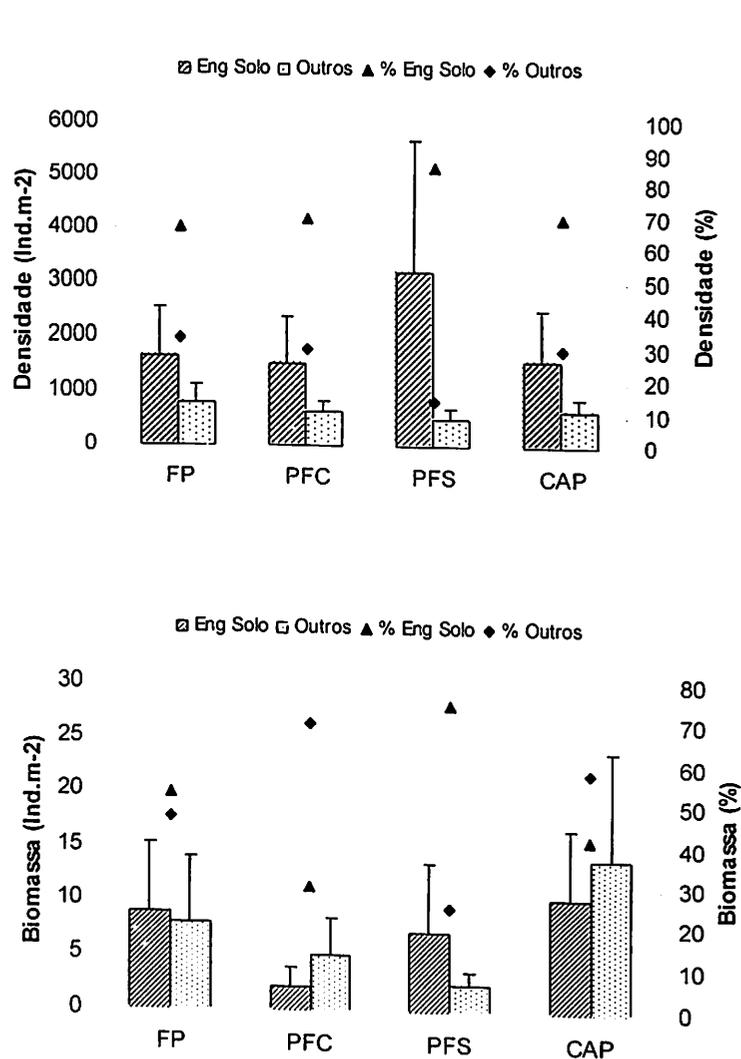


Figura 3.5: Densidade (A) e Biomassa (B) dos Engenheiros-do-solo e de 'outros' grupos e sua percentagem em relação do total dos indivíduos encontrados em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam as médias de três blocos (n=3) e as barras verticais são o erros-padrão da média.

3.4.1.6 Análise de Componentes Principais (PCA)

Dois fatores explicaram 51,3 % do total da variância (Tabela 3.5). O Fator 1 explicou 30,6 % da variância e distinguiu as comunidades dominadas pelas densidades de Coleoptera, Diplopoda e Arachnida (Figura 3.6); assim, o Fator 1 agrupa a FP e a CAP (Figura 3.7). O Fator 2 explicou 20,7 % da variância e separou a densidade e biomassa de Isoptera e Formicidae; esse fator agrupou as plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba* (Figura 3.7).

Tabela 3.5: Maiores correlações entre fatores extraídos na análises de PCA da densidade e biomassa dos macro-invertebrados do solo.

Macro-invertebrados	Fator 1 (30,6 %)	Fator 2 (20,7%)
Oligochaeta (OLIG) ¹	0,495	0,168
Arachnida (ARAC) ¹	0,744	0,339
Diplopoda (DIPL) ¹	0,772	0,324
Chilopoda (CHIL) ¹	0,646	0,081
Blattaria (BLAT) ¹	0,576	0,299
Homoptera (HOMO) ¹	0,578	0,348
Coleoptera (COLE) ¹	0,813	0,357
Formicidae (FORM) ¹	0,698	-0,561
Isoptera (ISOPT) ¹	0,466	-0,805
Coleoptera (COLEB) ²	0,251	0,155
Diplopoda (DIPLB) ²	0,275	0,156
Formicidae (FORMB) ²	0,429	-0,849
Isoptera (ISOPB) ²	0,327	-0,754
Oligochaeta (OLIGB) ²	0,083	-0,075

¹densidade, ²biomassa (B)

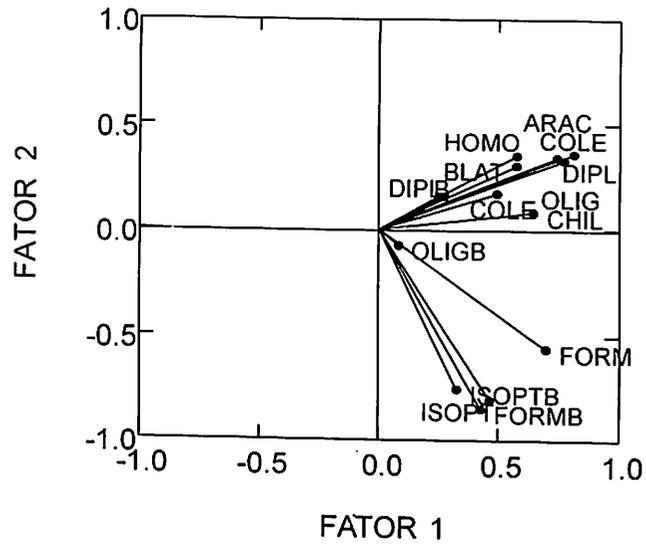


Figura 3.6: Correlação das variáveis densidade e biomassa dos macroinvertebrados do solo com os eixos fatoriais 1 (horizontal) e 2 (vertical).

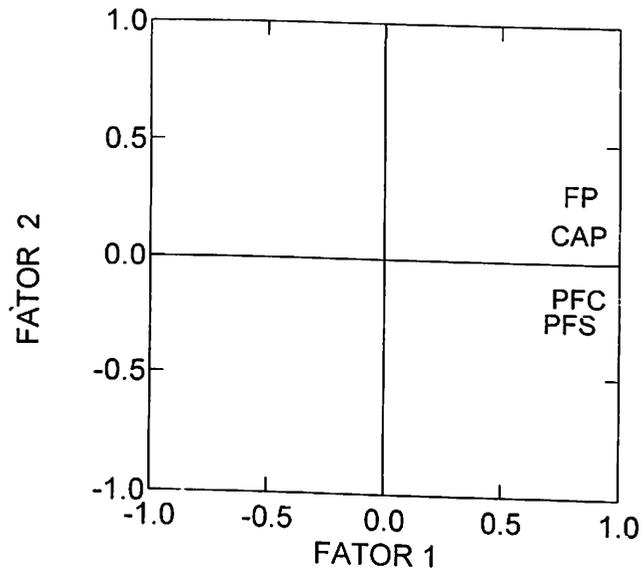


Figura 3.7: Distribuição dos ecossistemas Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC) e Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), de acordo com os fatores 1 (horizontal) e 2 (vertical).

3.4.2 Macro-invertebrados da liteira (Método complementar ao TSBF)

3.4.2.1 Densidade e diversidade

A densidade total dos macro-invertebrados da liteira foi significativamente maior na estação seca ($F=8,65$; $P<0,05$) do que na chuvosa, exceto na FP. Entre os tipos de vegetação também houve diferença significativa ($F=5,81$; $P<0,001$), sendo a densidade de macro-invertebrados da liteira maior na FP do que nos outros tipos de vegetação durante a estação chuvosa (Figura 3.8).

Na estação chuvosa, houve uma diversidade de 26 grupos taxonômicos na FP com uma densidade de 2293 ind.m^{-2} ; na PFC, 23 grupos taxonômicos, com uma densidade de 923 ind.m^{-2} ; na PFS e na CAP, 24 grupos taxonômicos com uma densidade de 1120 ind.m^{-2} e 1136 ind.m^{-2} respectivamente. O número de grupos taxonômicos foi mais alto na estação chuvosa do que na seca, em todos os tratamentos (Figura 3.8).

Na estação seca, os macro-invertebrados da liteira diminuíram na FP para 1483 ind.m^{-2} e 18 grupos taxonômicos; na PFC os macro-invertebrados da liteira aumentaram a uma densidade de 1291 ind.m^{-2} , porém diminuíram em diversidade com 20 grupos taxonômicos; na PFS, os valores diminuíram para 1171 ind.m^{-2} e 21 grupos taxonômicos e na CAP aumentaram consideravelmente a uma densidade de 1653 ind.m^{-2} e 19 grupos (Figura 3.8).

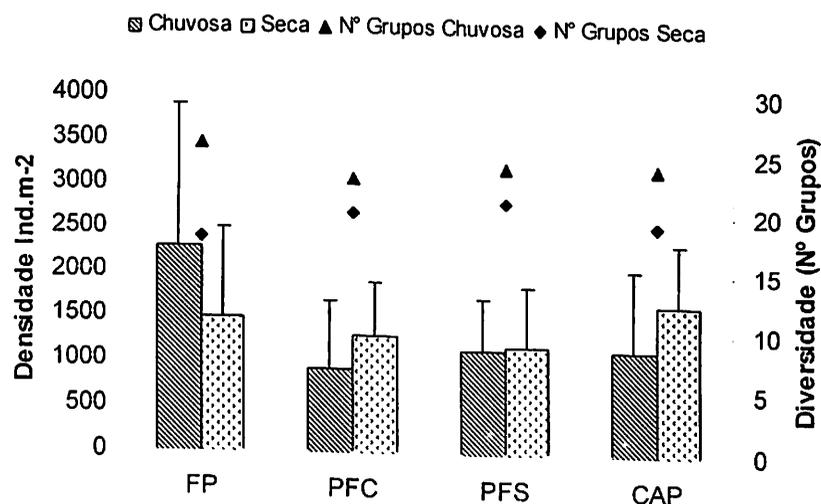


Figura 3.8: Densidade total e diversidade dos macro-invertebrados da liteira em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam as médias de três blocos ($n=3$) e as barras verticais são o erros-padrão da média.

Da mesma forma que mostrou o método TSBF, os grupos Formicidae e Isoptera foram os mais representativos nos quatro tipos de vegetação. nas duas épocas de coleta. O grupo Isoptera foi predominante e, embora não tendo apresentado diferenças significativas entre as estações, observou-se diferenças entre os tipos de vegetação ($F=3,95$; $P<0,05$), sendo maior na FP (1353 ind.m^{-2}), seguida pelas plantações florestais e a CAP (Tabela 3.6). Os Formicidae apresentaram diferenças significativas entre as estações ($F=30,3$; $P<0,001$) e entre os tratamentos ($F=10,2$; $P<0,001$), sendo maiores na estação seca na FP (458 ind.m^{-2}) e CAP (403 ind.m^{-2}) do que nas plantações florestais (Tabela 3.6). Os Oligochaeta, Dermaptera, Coleoptera, larvas e “outros” grupos apresentaram diferenças significativas somente entre as estações, com maiores densidades na estação chuvosa para os Oligochaeta, Dermaptera e os “outros” grupos e na estação seca para Coleoptera e as larvas (Tabela 3.6).

Tabela 3.6: Densidade dos macro-invertebrados da liteira (ind.m^{-2}) e diversidade (Nº de grupos) na estação chuvosa e seca, em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são médias de três blocos ($n=3$) e os erros-padrão estão representados entre parênteses. As letras indicam as diferenças entre os tratamentos ao nível de 0,5% ($p<0,05$) em cada estação.

Ordens	FP		PFC		PFS		CAP	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Gastropoda	1(0,5)a	0(-)	1(0,5)a	2(-)a	0(-)	1(0,5)a	1(-)a	0(-)
Oligochaeta	10(9,5)a	6(1)a	6(4)b	3(1)a	13(8)a	0(-)	2(1)b	5(1)a
Isopoda	105(70)a	62(60)a	18(16)b	171(122)b	38(29)b	73(52)a	25(22)b	111(48)c
Arachnida	130(70)a	155(149)a	122(62)a	114(56)b	197(82)b	150(65)a	120(53)a	207(81)c
Diplopoda	53(46)a	18(13)a	19(17)b	34(30)b	18(10)b	33(25)b	73(68)a	38(28)b
Chilopoda	42(38)a	19(18)a	15(5)b	33(25)b	27(22)b	15(14)a	18(10)b	60(29)c
Blattaria	66(41)a	26(23)a	86(40)a	52(33)b	109(54)b	52(31)b	74(40)a	42(29)b
Dermaptera	42(33)a	3(1,5)a	37(25)a	25(22)b	33(29)a	21(20)b	23(20)a	27(20)b
Orthoptera	17(15)a	7(1)a	43(29)b	10(9)a	46(28)b	13(10)a	76(44)c	3(5)a
Homoptera	33(25)a	8(7,5)a	6(2)b	9(6)a	6(1)b	13(10)a	19(11)b	34(32)b
Diptera	4(3,5)a	8(6)a	1(0,5)a	2(1)a	31(26)b	1(0,5)a	6(3)a	5(8)a
Coleoptera	84(55)a	56(34)a	29(19)b	87(42)a	48(31)c	106(55)b	34(23)c	102(58)b
Larvas	30(27)a	23(21)a	13(11)b	47(33)b	29(23)a	38(25)b	7(3)c	55(35)c
Outros	34(30)a	1(0,5)a	11(10)b	0(-)	15(10)b	2(1)a	23(22)a	3(2)a
Formicidae	289(184)a	458(445)a	78(47)b	277(226)b	127(112)c	159(98)c	134(97)c	403(199)a
Isoptera	1353(1118)a	633(581)a	438(103)b	425(407)b	383(333)b	494(366)b	501(442)b	558(737)b
Total	2293a	1483a	923b	1291a	1120b	1171a	1136b	1653a
Nº Grupos	26	18	23	20	24	21	24	19

Os Gastropoda e Diplopoda não apresentaram diferenças entre as estações nem entre os tratamentos. Os Isopoda, Chilopoda, Blattaria, Diptera e Orthoptera apresentaram diferenças significativas entre as estações e entre os tipos de vegetação, com maiores densidades na estação chuvosa para os grupos Blattaria, Diptera, Orthoptera e para Isopoda e Chilopoda na estação seca. Entre os tipos de vegetação, as densidades dos Isopoda e Orthoptera foram maiores na FP, os Chilopoda na CAP e os grupos de Blattaria e Diptera na PFS (Tabela 3.6).

3.4.2.2 Biomassa dos macro-invertebrados da liteira

A biomassa total dos macro-invertebrados da liteira apresentou diferenças significativas entre as estações, sendo maior na estação chuvosa ($F=12,0$; $P<0,001$), bem como entre os tipos de vegetação, sendo maior na PFS do que nos demais tipos de vegetação, durante a estação chuvosa ($F=3,63$; $P<0,05$) (Tabela 3.7).

Os Oligochaeta, Isopoda e Diplopoda apresentaram diferenças significativas somente entre as estações, sendo maiores suas biomassas na estação chuvosa do que na seca. Os Formicidae, Isoptera e as larvas não apresentaram diferenças significativas entre as estações nem entre os tipos de vegetação. Os Coleoptera e os “outros grupos” apresentaram diferenças significativas entre as estações e entre os tipos de vegetação, sendo maior a biomassa dos Coleoptera na PFS na estação seca e a dos “outros” grupos na FP na estação chuvosa (Tabela 3.7).

Tabela 3.7: Biomassa dos macro-invertebrados da liteira (g.m^{-2}), nas estações chuvosa e seca, em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As letras indicam a diferenças entre os tratamentos ao nível de 5% ($p<0,05$) em cada estação.

Ordens	FP		PFC		PFS		CAP	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Oligochaeta	0,52a	0,03b	0,21a	0,11a	0,13a	0	0,05a	0,06a
Isopoda	0,01a	0,01a	0,01a	0,02a	0,01a	0	0,02a	0
Diplopoda	0,12a	0,04a	0,08a	0,03a	0,11a	0,11a	0,23a	0,03a
Coleoptera	0,05a	0,13a	0,01a	0,17a	0,04a	0,51b	0,02a	0,11a
Larvas	0,3a	0,19a	0,11a	0,31a	0,13a	0,14a	0,02a	0,13a
Outros	0,41a	0,22b	0,46a	0,19b	0,49a	0,44a	0,54a	0,17a
Formicidae	0,09a	0,05a	0,05a	0,06a	0,05a	0,03a	0,05a	0,04a
Isoptera	0,22a	0,08a	0,02a	0,04a	0,16a	0,03a	0,13a	0,07a
Total	1,72a	0,76b	0,94b	0,94b	1,35a	1,26a	1,07a	0,61b

3.4.2.3 Grupos funcionais dos macro-invertebrados da liteira

As densidades dos grupos funcionais “decompositores” e “herbívoros” apresentaram diferenças significativas entre as estações, sendo maiores os “herbívoros” na estação chuvosa ($F=31,7$; $P<0,001$) e os “decompositores” na estação seca ($F=3,97$; $P<0,05$). Também, apresentaram diferenças significativas entre os tipos de vegetação, sendo maior a densidade dos “herbívoros” (95 ind.m⁻²) na CAP ($F=3,72$; $P<0,05$) e dos “decompositores” (168 ind.m⁻²) na FP ($F=3,1$; $P<0,05$) (Tabela 3.8).

Tabela 3.8: Densidade dos grupos funcionais dos macro-invertebrados da liteira (ind.m⁻²) (sem os grupos sociais) na estação chuvosa e seca, em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores entre parênteses são os erros-padrão da média e as letras diferentes nas colunas indicam a diferenças entre os tratamentos.

Grupos Funcionais	FP		PFC		PFS		CAP	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Decompositores	168 (131) a	86 (53) a	42 (40) b	209 (201) b	69 (59) b	106 (77) a	100 (97) a	154 (87) a
Predadores	214 (140) a	178 (170) a	174 (104) b	171 (103) a	257 (134) b	186 (103) a	162 (94) b	294 (140) b
Herbívoros	50 (41) a	15 (11) a	49 (39) a	18 (11) a	52 (35) a	26 (21) a	95 (65) b	38 (31) a
Outros	218 (181) a	114 (101) a	140 (93) b	189 (114) b	232 (150) a	200 (119) b	144 (104) a	206 (137) a
Total	650	393	405	587	610	518	501	692

3.4.2.4 Engenheiros-do-solo

A densidade dos engenheiros-do-solo apresentou diferenças significativas entre as estações ($F=9,45$; $P<0,05$), sendo maior na estação seca do que na estação chuvosa (Figura 3.8). Entre os tipos de vegetação, também houve diferenças significativas ($F=13,4$; $P<0,001$), sendo maior na FP do que nos demais tipos de vegetação (Figura 3.8).

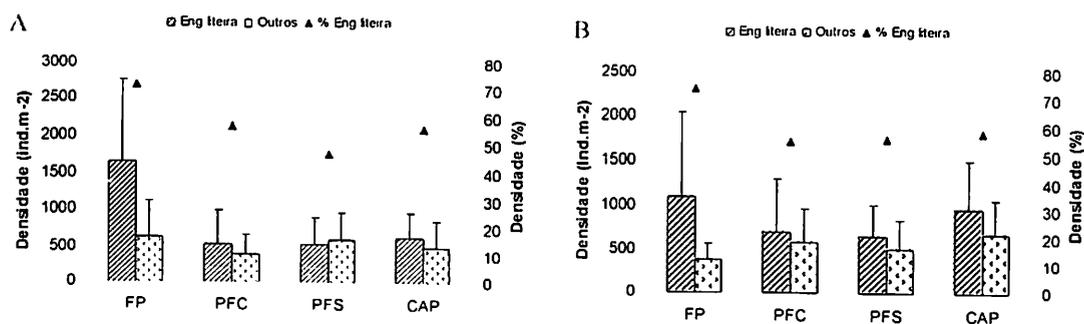


Figura 3.9: Densidade dos Engenheiros-do-solo e sua percentagem em relação do total de indivíduos encontrados nas estações chuvosa (A) e seca (B) em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam as médias de três blocos (n=3).

A biomassa dos engenheiros-da-solo também apresentaram diferenças significativas entre as estações ($F=13,4$; $P<0,001$), sendo maior na estação chuvosa (Figura 3.9). Entre os tipos de vegetação, a biomassa foi significativamente maior ($F=3,88$; $P<0,05$) na FP do que na CAP e nas plantações florestais durante a estação chuvosa (Figura 3.10).

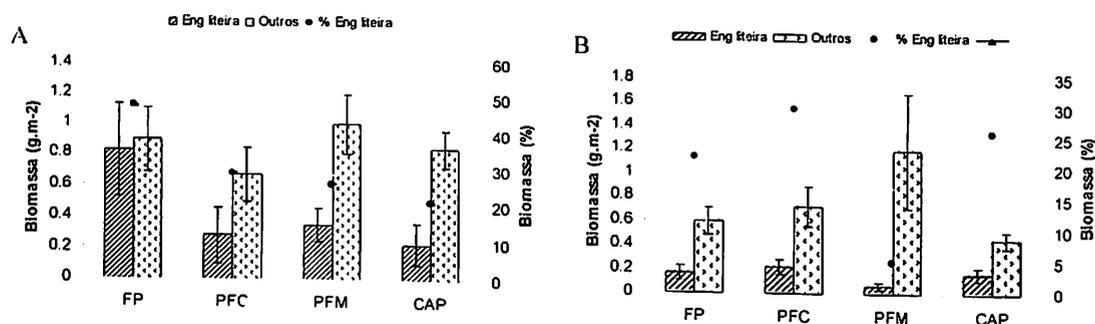


Figura 3.10: Biomassa dos Engenheiros-do-solo e sua percentagem em relação do total de indivíduos encontrados nas estações chuvosa (A) e seca (B) em Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As barras representam as médias de três blocos (n=3).

3.4.2.5 Análises de Componentes Principais (PCA)

Dois fatores explicaram 33,6 % do total da variância na análise de PCA para a densidade dos macro-invertebrados da liteira. O Fator 1 explicou 18,2 % da variância e distingue as comunidades dominadas pelas densidades de Blattaria, Arachnida e Orthoptera (Figura 3.11). Assim, o Fator 1 agrupou os quatro tipos de vegetação amostrados em ambas estações (Figura 3.12). O Fator 2 explicou 15,4 % da variância, sendo predominante as densidades de Coleoptera e Formicidae; o Fator 2 agrupou a FP e a CAP na estação seca (Figura 3.12).

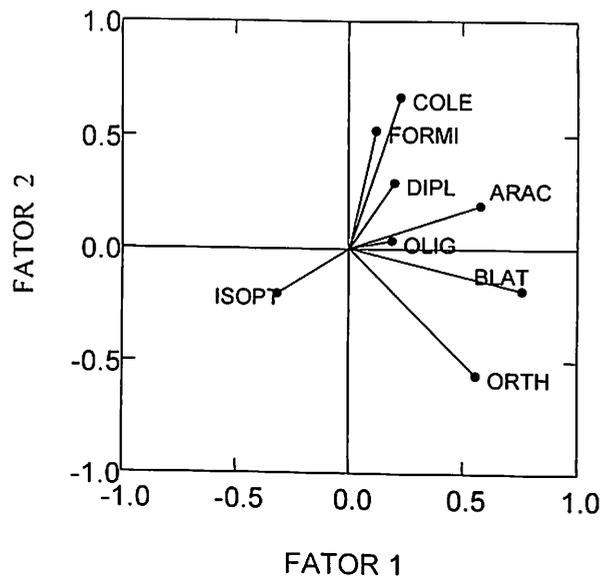


Figura 3.11: Correlação da variável densidade dos macro-invertebrados da liteira com os eixos fatoriais 1 (horizontal) e 2 (vertical).

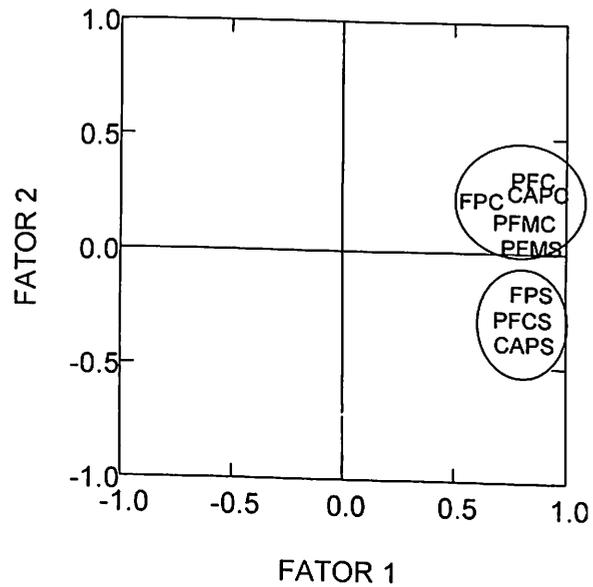


Figura 3.12: Distribuição dos ecossistemas Floresta primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), nas estações chuvosa (C) e seca (S), de acordo com os fatores 1 (horizontal) e 2 (vertical), no CIJH.

3.4.3 Comparação da densidade e diversidade dos macro-invertebrados da liteira pelas duas metodologias

A densidade de macro-invertebrados da liteira apresentou diferença significativa entre os métodos ($F=2348$; $P<0,001$), sendo maior com o método TSBF; porém, não apresentou diferenças significativas entre os tipos de vegetação, embora as densidades tenham sido claramente mais altas nos plantios florestais com a metodologia do TSBF e na FP com o quadro de madeira (Figura 3.12).

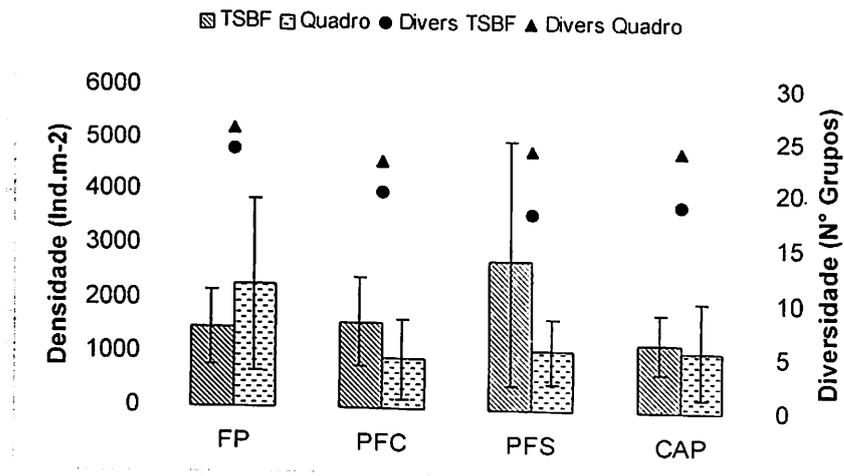


Figura 3.13: Densidade e diversidade (ind.m⁻²) dos macro-invertebrados da liteira pelo método TSBF e do quadro de madeira em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. As linhas verticais são os erros-padrão da média.

3.4.4 Comparação dos grupos funcionais dos macro-invertebrados da liteira pelas duas metodologias

Comparando a densidade dos grupos funcionais dos macro-invertebrados da liteira obtida pelos métodos TSBF e do quadro de madeira, verificaram-se diferenças significativas entre os métodos ($F=63,6$; $P<0,001$) e entre os tipos de vegetação ($F=4,76$; $P<0,05$), sendo maior com o método TSBF e maior na FP do que nos demais tipos de vegetação (Tabela 3.9).

As densidades dos “decompositores” apresentaram diferenças significantes entre os métodos ($F=447$; $P<0,001$) e entre os tratamentos ($F=2,75$; $P<0,05$), sendo maior na FP com o método TSBF. As densidades dos “predadores” somente apresentaram diferenças entre os métodos ($F=66,2$; $P<0,001$), sendo maiores com o método TSBF; porém, as densidades dos “herbívoros” apresentaram diferenças entre os tipos de vegetação ($F=6,83$;

P<0,001), sendo maiores na FP e na CAP com o método do quadro de madeira. As densidades dos "outros grupos" apresentaram diferenças entre os métodos (F=77,0; P<0,001) e entre os tipos de vegetação (F=4,29; P<0,05), sendo maiores na PFS com o método do quadro de madeira (Tabela 3.9).

Tabela 3.9: Densidade dos grupos funcionais dos macro-invertebrados da liteira (ind.m⁻²) (sem os grupos sociais) pelo método TSBF e do quadro de madeira, durante a estação chuvosa em Floresta Primária (FP), Plantação Florestal de *Cedrelinga* (PFC), Plantação Florestal de *Simarouba* (PFS) e Capoeira (CAP), no CIJH. Os valores são as médias de três blocos (n=3) e os valores entre parênteses são os erros-padrão da média. As letras diferentes nas linhas indicam a diferenças ao nível de 5% (p>0,05).

Grupos Funcionais	FP		PFC		PFS		CAP	
	TSBF	Quadro	TSBF	Quadro	TSBF	Quadro	TSBF	Quadro
Decompositores	258 (133)a	168 (131)b	167 (58)b	42 (40)c	108 (29)d	69 (59)c	144 (37)b	100 (97)b
Predadores	163 (48)a	214 (140)b	136 (38)a	174 (104)a	88 (30)a	257 (134)b	118 (16)a	162 (94)b
Herbívoros	30 (10)a	50 (41)a	4 (3)a	49 (39)a	17 (10)a	52 (35)a	27 (11)a	95 (65)a
Outros	265 (60)a	218 (181)a	186 (49)b	140 (93)b	181 (46)b	232 (150)a	240 (52)a	144 (104)a
Total	716	650	493	405	394	610	529	501

3.5 Discussão

As maiores densidades dos macro-invertebrados do solo, amostrados com o método TSBF, ocorreram nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*, seguidas da floresta primária e secundária. As densidades dos macro-invertebrados na floresta primária de Jenaro Herrera foram relativamente baixas, comparando-se com outras florestas primárias em Yurimaguas, na Amazônia peruana (Lavelle & Pashanasi, 1989) e em Manaus, na Amazônia brasileira (Barros, 1999; Höfer *et al.*, 2001). Recentemente, em florestas primárias no oeste de Rondônia foram encontradas densidades também baixas (663 ind.m⁻²) (Nascimento & Barros 2003), e o mesmo ocorreu em florestas primárias e secundárias na região de Pucallpa, na Amazônia peruana (853 e 523 ind.m⁻² respectivamente) (Pashanasi, 2002). No entanto, numa floresta primária em Marabá, na Amazônia oriental, encontrou-se uma densidade muito mais alta (17246 ind.m⁻²) (Desjardins *et al.*, 2000).

Estudos feitos em plantações florestais e silviculturais na Amazônia peruana (Lavelle & Pashanasi, 1989; Pashanasi, 2002), brasileira (Bandeira & Harada, 1998) e

colombiana (Feijoo, 2001) encontraram densidades mais altas de macro-invertebrados, comparadas às plantações florestais de *Simarouba* do presente estudo (Tabela 3.10), devido provavelmente à época em que a fauna foi amostrada (estação chuvosa). Estes resultados, principalmente o trabalho de Bandeira & Harada (1998) concordam com o presente estudo, mostrando que os macro-invertebrados são afetados drasticamente pela estação seca (Tabela 3.10). Entre os trabalhos citados, as menores densidades de macro-invertebrados foram encontradas em plantações de *Hevea brasiliensis* e *Bactris gasipaes* na Amazônia peruana e numa plantação de *Pinnus patula* na Colômbia (Tabela 3.10). Plantações de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* na Mata Atlântica brasileira apresentaram densidades menores de macro-invertebrados (Pellens & Garay, 1999) do que a floresta primária do presente estudo. No entanto, plantações da leguminosa arbustiva *Leucaena leucocephala* em Porto Rico apresentaram densidades e biomassas de macro-invertebrados mais altas do que as plantações de *Eucalyptus robusta* e *Casuarina equisetifolia* (Warren & Zou, 2002) (Tabela 3.11).

As densidades dos macro-invertebrados da liteira nos quatro tipos de vegetação foram muito variadas em ambas as épocas de coleta, sendo que geralmente as maiores densidades foram encontradas na floresta primária e secundária em ambas estações. Estas densidades foram muito maiores do que em outros sistemas de uso da terra da Amazônia peruana, brasileira e em Porto Rico (Tabela 3.11). Plantios de *Bertholletia excelsa* de 10 anos instaladas sobre pastagens degradadas na Amazônia central (Kato, 1995), tiveram densidades e diversidades ainda mais baixas do que nas plantações de monocultivo do presente estudo. Outros plantios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* de 7 anos na Mata Atlântica, mostraram densidades menores dos macro-invertebrados do que na floresta primária, que apresentou as maiores densidades de insetos sociais (cupins e formigas) (Pellens & Garay, 2000).

A maioria dos estudos nas florestas tropicais da Amazônia, mostraram uma maior abundância e atividade dos macro-invertebrados durante a estação chuvosa do que na estação seca (Dantas, 1979; Bandeira & Torres, 1985; Luizão & Schubart, 1987; Kato, 1995; Bandeira & Harada, 1998; Tapia-Coral *et al.*, 1999) e principalmente concentradas na liteira e/ou nas primeiras camadas do solo (Höfer, 1996; Barros, 1999; Tapia-Coral *et al.*, 1999; Barros *et al.*, 2002; Barros *et al.*, 2003).

Dentre os poucos trabalhos sobre macro-invertebrados do solo realizados em plantações florestais na Amazônia, encontrou-se um trabalho feito com a mesma

Tabela 3.10: Densidade (ind.m⁻²) e biomassa (g.m⁻²) de alguns grupos de macro-invertebrados do solo pelo método TSBF em diferentes sistemas florestais e agroflorestais na Amazônia.

Plantação	Localidade	Nº de Grupos	Época Coleta	Densidade (ind.m ⁻²)				Biomassa (g.m ⁻²)		Fonte
				Isoptera	Formicidae	Oligochaeta	Total	Oligochaeta	Total	
<i>Bactris gasipaes</i> com kudzu tropical	Yurimaguas, Perú	32		1547	147	341	2214	7,0	15.9	Lavelle & Pashanasi. 1989
<i>Dipteryx odorata</i> (solo arenoso)	Manaus, Brasil		Seca	234	510	47	1430			Bandeira & Harada. 1998
			Chuvosa	55	255	122	987			
<i>Dipteryx odorata</i> (solo argiloso)	Manaus, Brasil		Seca	887	360	45	1482			Bandeira & Harada. 1998
			Chuvosa	760	300	107	1400			
<i>Simaruba amara</i> (solo arenoso)	Manaus, Brasil		Seca	262	460	40	1495			Bandeira & Harada. 1998
			Chuvosa	3862	277	87	4862			
<i>Simaruba amara</i> (solo argiloso)	Manaus, Brasil		Seca	1180	302	105	1967			Bandeira & Harada. 1998
			Chuvosa	2222	92	57	2585			
<i>Pinus patula</i>	Cabuyal, Colômbia			0	518	29	870	0,13	3,2	Feijoo, 2001
<i>Bactris gasipaes</i> (15 anos)	Yurimaguas, Perú	32		324	182	215	900	74	85.0	Pashanasi. 2002
<i>Elaeis brasiliensis</i> (>30 anos)	Pucallpa, Perú	22		157	48	256	560	11.7	18.5	Pashanasi. 2002
<i>Hevea brasiliensis</i> (>30 anos)	Pucallpa, Perú	25		0	245	717	2896	106	170	Pashanasi. 2002
<i>Inga edulis</i> (SAF)	Manaus, Brasil	18	Chuvosa	2635 (EgS)			3412	6.8 (EgS)	106	Cortes. 2003
<i>Bactris gasipaes</i> (SAF)	Manaus, Brasil	16	Chuvosa	2581 (Egs)			3296	3.1 (Egs)	8.3	Cortes. 2003
<i>Simaruba amara</i> (16 anos)	Jenaro Herrera, Perú	18	Chuvosa	2459	673	40	3702	2.20	9.39	Este estudo
<i>Cedrelinga cataeniformis</i> (16 anos)	Jenaro Herrera, Peru	20	Chuvosa	1065	396	67	2176	0.80	7.02	Este estudo

SAF= Sistema Agroflorestal. EgS=Engenheiros-do-Solo

Tabela 3.11: Densidade de alguns grupos dos macro-invertebrados e biomassa total da liteira com o métodos do quadro de madeira e manual em diversos plantios florestais perenes.

Plantação	Localidade	Época de Coleta	Nº Grupos	Densidade (Ind.m ⁻²)				Biomassa total	Metodologia	Fonte
				Isoptera	Formicidae	Oligochaeta	Total			
<i>Acacia mangium</i> (5 anos)	Rio de Janeiro, Brasil	Inverno					928	Quadro de 0,25	Correia & Faria, 1996	
		Verão					404			
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> (5 anos)	Rio de Janeiro, Brasil	Inverno					1284	Quadro de 0,25	Correia & Faria, 1996	
		Verão					2156			
<i>Bactris gasipaes</i>	Manaus, Brasil		27				295	13,5	Manual	Vohland & Schroth, 1999
<i>Bixa orellana</i>	Manaus, Brasil		16				147	7,24	Manual	Vohland & Schroth, 1999
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Porto Rico					32,7	62,7		Quadro de 0,25	Warren & Zou, 2002
<i>Leucaena leucocephala</i>	Porto Rico					56,0	128		Quadro de 0,25	Warren & Zou, 2002
<i>Eucalyptus robusta</i>	Porto Rico					8,67	32		Quadro de 0,25	Warren & Zou, 2002
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Jenaro Herrera, Perú	Chuvosa	23	438	78	6	923	Quadro de 0,25	Este estudo	
		Seca	20	425	277	3	1291			
<i>Simarouba amara</i>	Jenaro Herrera, Peru	Chuvosa	24	383	127	13	1120	Quadro de 0,25	Este estudo	
		Seca	21	494	159	0	1171			

metodologia do presente estudo, em plantios de *Simarouba amara*, em solos argilosos e arenosos, em Manaus (Bandeira & Harada, 1998), onde encontrou-se também uma densidade alta de cupins. No presente estudo, os cupins dominaram as densidades nas plantações florestais de *Simarouba* (66 %) e *Cedrelinga* (49 %). A densidade alta dos cupins no plantio de *Simarouba* pode estar relacionada ao fato desta madeira branca ser relativamente mole e parecer muito palatável para os cupins (Lee & Wood, 1971).

Além disto, as duas plantações, apesar da idade delas na época das coletas (15 e 16 anos), ainda não tinham suas copas muito fechadas, permitindo o ingresso dos raios solares até o solo (observação pessoal), o que favoreceria a presença dos cupins (Bandeira & Harada, 1998). Sabe-se que os cupins são mais abundantes em solos não muito protegidos pela vegetação, desde que haja alimento em abundância (Bandeira, 1979; Bandeira & Harada, 1998). A alta densidade de cupins encontrada neste trabalho concorda com outros trabalhos feitos com a mesma metodologia de coleta na Amazônia peruana (Lavelle & Pashanasi, 1989; Pashanasi, 2002), brasileira (Bandeira & Harada, 1998; Barros, 1999; Barros *et al.*, 2002; Barros *et al.*, 2003; Nascimento & Barros, 2003) e colombiana (Feijoo *et al.*, 1999; Feijoo, 2001). Höfer *et al.* (2001) também encontraram densidades relativamente altas de cupins e formigas numa floresta primária na Amazônia central. Os cupins amostrados com o quadro de madeira foram muito abundantes nos quatro tipos de vegetação, principalmente na floresta primária durante a época chuvosa, tendo suas densidades drasticamente diminuídas na época seca. As plantações florestais apresentaram densidades baixas e relativamente similares na estação chuvosa e seca. Os cupins são os mais importantes invertebrados “decompositores” nos trópicos úmidos (Collins, 1983) e são vitais para a manutenção dos ciclos de carbono e nitrogênio (Tayasu *et al.*, 1997). Os cupins são consumidores eficientes de materiais vegetais de estrutura mais complexa (incluindo a lignina), auxiliados pela grande quantidade de simbiontes presentes nos seus tubos digestivos (Mason, 1980). Assim, são considerados importantes decompositores da liteira (Lee, 1985; Luizão & Schubart, 1987) e, juntamente com as formigas, são considerados os grupos de maior densidade da fauna do solo na Amazônia central (Fittkau & Klinge 1973; Bandeira & Harada, 1991). As formigas são consideradas o centro ecológico de muitos ecossistemas florestais, cumprindo um papel chave nas comunidades arbóreas (Ellwood *et al.*, 2002).

No presente estudo, as formigas foram o segundo grupo mais abundante entre os macro-invertebrados principalmente na floresta primária e secundária, seguida pela plantação florestal de *Cedrelinga*, o que também concorda com trabalhos feitos na

Amazônia brasileira (Bandeira & Harada, 1998; Barros, 1999; Nascimento & Barros, 2003; Barros *et al.*, 2003).

As formigas também foram o segundo grupo mais importante, em termos de densidade, nos quatro tipos de vegetação, quando amostrados com o quadro de madeira, em ambas as épocas de coleta. No entanto, suas densidades foram muito menores nas coletas com o quadro de madeira do que nas coletas com o método TSBF. Num estudo anterior, numa floresta primária na Amazônia central usando sondas metálicas para coletas, também foram encontradas maiores densidades de cupins e formigas, seguidas das minhocas (Höffer *et al.*, 2001). Estes grupos podem ser mais abundantes em florestas do que em sistemas florestais manejados. Por exemplo, Nascimento & Barros (2003) encontraram maiores densidades de cupins, formigas e minhocas na floresta primária do que em sistemas agroflorestais próximos à divisa entre Rondônia e Acre, na Amazônia brasileira.

O terceiro grupo mais importante numericamente foram os coleópteros, que apresentaram densidades relativamente altas nas florestas primária e secundária. Em florestas primárias da Colômbia, os coleópteros mostraram-se muito diversos, com uma distribuição uniforme de suas populações dentro do solo (Rubio & Chamorro, 1996). Num outro estudo, feito em plantações de *Pinnus patula* e *Coffea* sp., também na Colômbia, a densidade e a biomassa dos coleópteros foram relativamente baixos em comparação com outros invertebrados (Feijoo, 2001).

No presente estudo, os oligoquetos foram mais freqüentes na floresta secundária e primária, sendo que na floresta secundária os indivíduos pertenciam à espécie *Pontoscolex corethrurus*, conhecida por encontrar-se sempre presente em áreas perturbadas (Lavelle & Pashanasi, 1989; Pashanasi, 2002; Feijoo, 2001) ou colonizando ambientes altamente degradados (Lavelle *et al.*, 1994). *P. corethrurus* também foi muito abundante em sistemas agroflorestais próximos às áreas de estudo no CIJH (Tapia-Coral *et al.*, 2002). Na floresta primária, os oligoquetos mais comuns foram os indivíduos grandes do gênero *Rhinodrilus* sp (“minhocoçu” em Manaus ou “sapanas” em Jenaro Herrera).

Os isópodos, também estiveram sempre presentes nos quatro tipos de vegetação principalmente com o método do quadro de madeira, sendo abundantes na floresta primária durante a estação chuvosa e sofrendo um decréscimo acentuado na estação seca. Sabe-se que os isópodos, que estão entre os principais decompositores da matéria orgânica (Decaens *et al.*, 1994), são drasticamente afetados pela umidade e são considerados importantes indicadores de microclima e umidade do solo (Edwards, 1974).

Num estudo feito em sistemas agroflorestais na Amazônia central, os isópodos da liteira foram o grupo predominante, principalmente nos sistemas multiestrato, com maior diversidade de espécies plantadas, as quais garantiram uma contínua camada de liteira na superfície do solo (Tapia-Coral *et al.*, 1999). Isto é muito importante, por manter uma boa cobertura do solo e, assim, garantir um microclima favorável ao estabelecimento das comunidades dos macro-invertebrados (Tian *et al.*, 1997; Barros *et al.*, 2003).

Os diplópodos estiveram também presentes nos quatro tipos de vegetação, com as maiores densidades nas florestas primária e secundária, onde ocorreu um acentuado decréscimo na estação seca. Nas plantações florestais, as densidades foram muito similares em ambas épocas de coleta. Estudos anteriores na Amazônia central já mostraram a importância dos diplópodos em sistemas agroflorestais, sendo o segundo grupo mais importante depois dos isópodos (Tapia-Coral *et al.*, 1999). No mesmo local de estudo, foi verificado um incremento significativo na densidade e na biomassa dos diplópodos numa cronosequência de pastagens e sistemas agroflorestais (Barros, 1999). Os diplópodos e isópodos tornam-se muito abundantes em sistemas de policultivo na Amazônia central (Tapia-Coral *et al.*, 1999; Höfer *et al.*, 2001), assumindo um papel importante na reciclagem da matéria orgânica e nutrientes nos agro-ecossistemas. Num experimento de laboratório no México, para determinação da atividade decompositora dos diplópodos, a sua ação detritívora foi considerada como muito intensa (Trueba *et al.*, 1997). Além do efeito direto na decomposição, eles produzem uma grande quantidade de “pelets”, visíveis a olho nu, nos troncos espalhados como adubo em plantações de *B. gasipaes* (Uguen *et al.*, 2000). Os trabalhos de Vohland & Schroth (1999) e de Uguen *et al.* (2000), também comprovaram uma acentuada presença dos diplópodos em plantios de *Bactris gasipaes* na Amazônia central (Tabela 3.11).

Os “outros” macro-invertebrados da liteira (que incluem os grupos Blattaria, Coleoptera, Diptera, Gastropoda e as larvas) amostrados em plantios culturais na Amazônia central, apresentaram densidades muito mais baixas (Vohland & Schroth 1999; Uguen *et al.*, 2000) do que nas plantações florestais de monocultivo deste estudo (Tabela 3.11).

No presente estudo, as densidades dos grupos funcionais dos macro-invertebrados do solo amostrados pelo método TSBF, foram muito variáveis, porém sempre foram maiores na floresta primária e secundária, seguidas das plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*, respectivamente.

Nos plantios florestais, destacam-se o grupo funcional dos “decompositores” além dos “outros” grupos principalmente os macro-invertebrados que foram coletados pelo método TSBF. Dentro do grupo funcional dos “decompositores” na floresta primária e secundária, encontram-se os isópodos e diplópodos, ambos também conhecidos como “detritívoros terrestres” ou “comedores de folhas” (Hopkin & Read, 1992). Os diplópodos têm uma importante função na regulação dos processos de decomposição e subsequente ciclagem de nutrientes (Lavelle, 1988), particularmente através de suas interações com os microorganismos do solo (Anderson *et al.*, 1985; Anderson, 1988). Além disso, está comprovado que os diplópodos, da mesma forma que as minhocas, quebram a liteira das plantas e a misturam com o solo mineral que eles ingerem (Tian *et al.*, 1997). Eles são considerados uns dos principais “decompositores” da matéria orgânica (Dindal, 1980), sendo bons indicadores de microclima do solo (Edwards, 1974; Decaens *et al.*, 1994). Na Amazônia central, verificou-se que os diplópodos têm uma grande importância e alta biomassa em ecossistemas naturais de campina e campinarana (Luizão, 1995), e apresentaram biomassas e densidades mais altas do que os cupins na liteira de sistemas agroflorestais de 5 anos e em capoeiras de 10 anos (Tapia-Coral *et al.*, 1999). Concordemente, Beck & Gasparotto (2000) relataram altas densidades e biomassas de isópodos e diplópodos em sistemas de policultivo na Amazônia central.

No presente trabalho, os diplópodos e isópodos estiveram sempre presentes nas florestas primárias e secundárias, nas amostragens feitas por ambos métodos, durante a época chuvosa, decrescendo na época de seca.

Um trabalho feito na Finlândia mostrou que o grupo funcional predominante na floresta intacta foi o dos “herbívoros”, que sofreu um considerável decréscimo com diferentes intensidades de cortes das florestas; observou-se que a menor umidade do solo nas áreas alteradas desfavoreceu a presença dos “decompositores” (Siira-Pietikainen *et al.*, 2003). Porém, na Amazônia central, verificou-se que o grupo dos “decompositores” apresentaram densidades mais altas do que os herbívoros numa floresta primária e em sistemas de policultivo (Beck & Gasparotto, 2000; Höfer *et al.*, 2001); e no presente estudo os “herbívoros” sempre foram uns dos últimos grupos funcionais em todos os tipos de vegetação.

Os grupos Isoptera, Formicidae e Oligochaeta são definidos como “engenheiros-do-ecossistema” (Jones *et al.*, 1994a, Lavelle, 1997), ou propriamente chamados neste trabalho, como “engenheiros-do-solo”. Eles produzem uma grande variedade de macroporos (ninhos e galerias) por meio dos quais podem modificar o ambiente onde

vivem, causando dois efeitos contrastantes na decomposição e na dinâmica da matéria orgânica: por um lado, aceleram a velocidade de reciclagem de nutrientes, o que facilita a atividade microbiana; e a longo prazo, favorecem a conservação de carbono e nutrientes, porque os imobilizam em estruturas biogênicas estáveis no tempo (Jones *et al.*, 1994b; 1997). No presente estudo, os “engenheiros-do-solo” foram muito abundantes durante a época chuvosa e seca principalmente na floresta primária, porém muito menores do que as densidades e biomassas encontrados por Cortés (2003) sob árvores de *Inga edulis* e *Bactris gasipaes* em sistemas agrossilviculturais na Amazônia central. No entanto, os “engenheiros-do-solo” apresentaram uma maior densidade na plantação florestal de *Simarouba*, principalmente devido à abundância dos cupins, que influenciaram bastante a densidade total nesta plantação. Porém, os cupins foram pequenos e não influenciaram na biomassa; no entanto, eles predominaram nos plantios florestais principalmente na PFS.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada com o propósito de comparar as densidades e biomassas das comunidades de macro-invertebrados nos diferentes tipos de vegetação e identificar seus fatores determinantes (Lavelle & Pashanasi, 1989). Diferentes estudos mostram resultados do PCA muito significativos quando se trabalha numa seqüência de diversos sistemas de uso da terra (Lavelle & Pashanasi, 1989; Decaens, 1997; Feijoo *et al.*, 1999; Decaens *et al.*, 2001; Barros *et al.*, 2003). No presente estudo, amostrou-se quatro diferentes tipos de vegetação, identificando-se até 26 grupos taxonômicos na floresta primária durante a época chuvosa; o PCA dos macro-invertebrados coletados pelo método TSBF, mostrou um agrupamento das plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*, separando-as da floresta primária e secundária; mostrou também um agrupamento das densidades e biomassas dos grupos sociais (cupins e formigas), separando-as dos outros macro-invertebrados. Por outro lado, o PCA dos macro-invertebrados coletados com o quadro de madeira, não mostrou um padrão definido entre os tipos de vegetação; no entanto, agrupou a floresta primária e a secundária na estação seca, como destacadas dos plantios florestais.

A diversidade (Nº de grupos taxonômicos) encontrada nos quatro tipos de vegetação, segundo o método TSBF, foi menor do que a encontrada com o método do quadro de madeira. A maior diversidade de grupos taxonômicos foi encontrada na floresta primária, com ambos métodos de coleta, o que concorda com outros trabalhos feitos na Amazônia peruana (Lavelle & Pashanasi, 1989) e pode ser devido à maior diversidade de espécies de plantas e de liteira das partes aérea e subterrânea presentes neste ecossistema. A diversidade da fauna geralmente decresce com a intensificação do manejo do solo nos

diferentes sistemas de uso da terra, como foi demonstrado na Amazônia peruana (Lavelle & Pashanasi, 1989; ICRAF, 1996; Pashanasi, 2002); num gradiente de usos da terra no Acre e Rondônia, na Amazônia brasileira (Barros *et al.*, 2002; Nascimento & Barros, 2003); e com o aumento da degradação do solo na Colômbia (Feijoo *et al.*, 1999, Feijoo, 2001). No entanto, verificou-se que sistemas agroflorestais diversificados apresentam uma maior diversidade e abundância dos macro-invertebrados do que outros tipos de usos da terra, indicando que estes sistemas podem sustentar suficientes densidades e diversidades das comunidades dos macro-invertebrados para otimizar os benefícios dos organismos nestes sistemas (Brown *et al.*, 1999; Chauvel *et al.*, 1999). Na Amazônia central, encontraram-se até 19 grupos de macro-invertebrados da liteira em sistemas de policultivo (Vohland & Schroth, 1999). No presente estudo, as plantações florestais de 15 e 16 anos apresentaram diversidades e densidades consideráveis na camada de liteira, conforme demonstrado pelo método do quadro de madeira.

Num estudo da macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais multiestrato com 6 anos de idade, em Manaus, foram encontrados somente 15 grupos taxonômicos (Tapia-Coral *et al.*, 1999), valor muito menor do que o encontrado nas plantações de monocultivo do presente estudo. No entanto, estudando os grupos funcionais de macro-invertebrados em plantas perenes nos mesmos sistemas agroflorestais diversificados em Manaus, quatro anos mais tarde, verificou-se um incremento da diversidade, principalmente sob as árvores de *Inga edulis* (18 grupos) e *Bertholletia excelsa* (17 grupos), comparada com as árvores de *Vismia cayennensis*, na capoeira, onde foram encontrados apenas 12 grupos taxonômicos (Cortés, 2003). Em capoeiras de 6 anos de idade enriquecidas com leguminosas arbóreas na Amazônia oriental, encontraram-se 15 grupos taxonômicos dos macro-invertebrados na liteira e nos primeiros 10 cm de solo (Leitão *et al.*, 1998).

No presente estudo, a biomassa dos macro-invertebrados variou bastante, sendo maior na floresta secundária e primária, seguidas dos plantios florestais. Porém, foram menores do que as biomassas de macro-invertebrados em florestas primárias e secundárias em Pucallpa (91,9 e 105,2 g.m⁻² respectivamente) (Pashanasi, 2002).

No presente estudo, as minhocas apresentaram biomassas relativamente baixas na floresta secundária e primária, o que contrasta com um estudo anterior na região de Manaus, onde uma grande abundância e biomassa de minhocas ocorreram na floresta primária, enquanto que em sistemas de policultivo florestal estas foram baixas e ocasionais (Römbke *et al.*, 1999). Biomassas altas de minhocas têm sido geralmente registradas em áreas de pastagens na Amazônia peruana (Lavelle & Pashanasi, 1989; Pashanasi, 2002),

brasileira (Barros, 1999), bem como em pastagens mexicanas (Fragoso & Lavelle, 1987; Lavelle *et al.*, 1992) e em savanas e diferentes sistemas de uso da terra na Colômbia (Decaens *et al.*, 1994; Feijoo, 2001). No entanto, uma alta biomassa de minhocas, com diferentes categorias ecológicas, foi também registrada em plantações de *B. gasipaes* no México (Fragoso *et al.*, 1997). As minhocas epígeas (aquelas que vivem na superfície do solo) também estão incluídas entre os decompositores e, no presente estudo, estes apresentaram as maiores densidades na floresta primária. As minhocas influem na distribuição da matéria orgânica e na estrutura física do solo e têm uma biomassa importante na Amazônia peruana (Lavelle & Pashanasi, 1989) e na Amazônia central (Barros, 1999; Römcke *et al.*, 1999).

Existem poucos trabalhos apresentando resultados de biomassa dos grupos funcionais de macro-invertebrados. Um trabalho recente mostrou que a biomassa dos grupos funcionais de macro-invertebrados do solo, também amostrados com o método TSBF sob espécies perenes plantadas em sistemas agrossilviculturais e capoeiras, na Amazônia central, são muito variadas e maiores nas áreas próximas a árvores de *I. edulis* e *B. gasipaes* (Cortés (2003). Outro trabalho mostrou uma biomassa mais alta de decompositores num plantio florestal de *Mimosa caesalpinifolia*, uma leguminosa arbórea, do que no plantio de *Acacia mangium*. Esse resultado foi relacionado com a qualidade do material vegetal, ressaltando assim que estes organismos podem servir como indicadores da influência de plantios arbóreos sobre o solo (Correia & Faria, 1996).

3.6 Conclusão

A plantação florestal de *Simarouba* foi o sistema que apresentou as mais altas densidades de macro-invertebrados do solo, seguida pela floresta primária, com predominância dos grupos sociais (cupins e formigas), garantindo uma eficiente colonização e atividade da fauna do solo na decomposição da matéria orgânica e na estruturação do solo.

CAPÍTULO IV

Relação entre a biomassa dos macro-invertebrados e o estoque de carbono e nutrientes na liteira em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana

4.1 Introdução

As plantações florestais nos trópicos foram estabelecidas há aproximadamente 40 anos, com fins comerciais de exportação de madeira; na atualidade, continuam sendo incentivados e instalados com o propósito de obter benefícios ambientais, como o seqüestro de carbono (Brown *et al.*, 1986) ou como uma estratégia de recuperação de áreas degradadas e abandonadas. Recentemente, as pesquisas feitas em plantações florestais têm sido focalizadas na obtenção do crescimento da biomassa das árvores (Brown *et al.*, 1986), na ciclagem de nutrientes (Smith *et al.*, 1998; Binley *et al.*, 2000) e na regeneração natural da floresta (Parrotta *et al.*, 1997). No entanto, o impacto dos organismos vivos na fertilidade do solo em plantações florestais tropicais ainda é pouco estudado, apesar de se reconhecer que a fauna do solo é um fator importante na decomposição da matéria orgânica nos trópicos úmidos (Lavelle *et al.*, 1993; Gonzales & Seastedt, 2001) e que a fertilidade do solo depende da manutenção do sistema biológico, regulado principalmente pelos organismos decompositores (Warren & Zou 2002). Outros trabalhos também têm enfatizado a importância das propriedades químicas da liteira nas taxas de decomposição de folhas, em diferentes condições ambientais (Nussbaumer *et al.*, 1997; Lavelle & Spain, 2001). Estudos feitos em florestas temperadas, junto com evidências disponíveis também nos trópicos, indicam que as plantações florestais podem variar a quantidade e a qualidade da liteira produzida de acordo com a idade do plantio e as espécies plantadas, que afetam as populações dos macro-invertebrados do solo, resultando na imobilização ou liberação diferencial dos nutrientes e, deste modo, influenciando na ciclagem de nutrientes e na fertilidade do solo (Warren & Zou, 2002). Porém, hoje em dia, sabe-se que a diversidade das espécies de plantas é um componente importante do funcionamento do ecossistema, já que a qualidade da liteira em grande parte determina a participação da fauna do solo na ciclagem e na liberação dos nutrientes disponíveis para as plantas (Wardle & Lavelle, 1997; Lavelle, 2002; Lavelle *et al.*, 2003). Além disso, a diversidade de plantas pode assegurar uma maior variedade de macro-invertebrados no solo, evitando efeitos negativos

da dominância de uma única espécie, conforme observado para uma espécie de minhoca em pastagem da Amazônia central (Chauvel *et al.*, 1999).

4.2 Objetivo

Estabelecer relações entre a biomassa dos macro-invertebrados e o estoque de carbono e nutrientes na liteira em floresta madura, floresta secundária e plantações florestais em terra firme.

4.3 Métodos

Fizeram-se análises de regressão linear simples com o propósito de estabelecer as relações entre a biomassa dos macro-invertebrados coletados pelo método TSBF (terceiro capítulo) e o estoque de carbono e de nutrientes na liteira (primeiro capítulo). As regressões foram testadas para todos os grupos dos macro-invertebrados com o estoque de carbono e de nutrientes, em todos os tipos de vegetação. Foram usados os programas Systat v. 8.5 e para os gráficos o Sigma Plot v. 4.0.

4.4 Resultados

Na floresta primária, a biomassa de Formicidae teve uma relação linear e positiva com a massa total da liteira, com o estoque de fósforo e cálcio na liteira (Figura 4.1). Além disso, os formicídeos tiveram uma relação negativa com o material lenhoso da liteira, com o estoque de magnésio e a relação N:P na liteira (Tabela 4.1). A biomassa dos Isopoda apresentou uma relação positiva com a relação C:N (Figura 4.2) e negativa com a massa das folhas da liteira e a relação N:P na liteira (Tabela 4.1).

Floresta primária

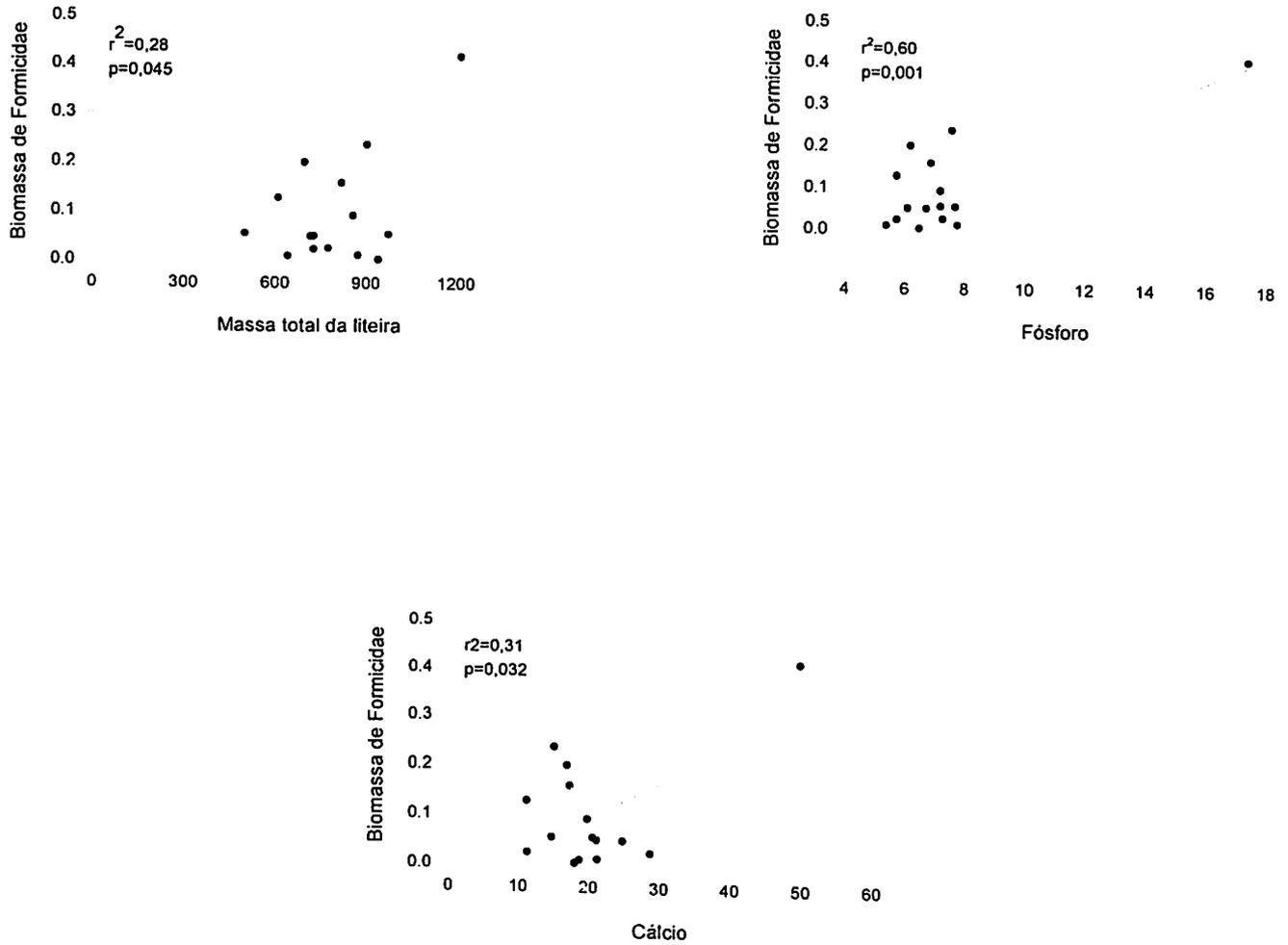


Figura 4.1: Relação da biomassa de Formicidae com a massa total da liteira, o estoque de fósforo e cálcio na Floresta Primária no CIJH. Os pontos representam cada monolito do TSBF (n=15).

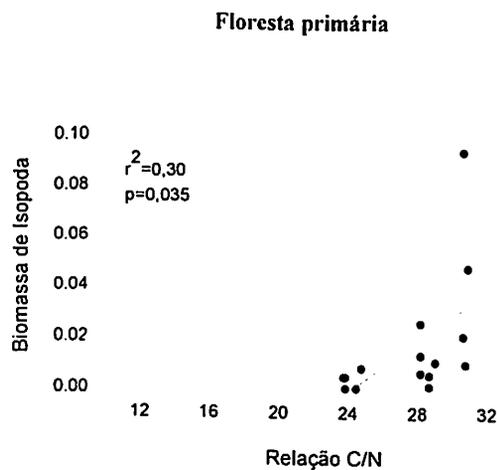


Figura 4.2: Relação da biomassa de Isopoda com a relação C:N na Floresta Primária no CIJH. Os pontos representam cada monolito do TSBF (n=15).

Tabela 4.1: Valores significativos das análises de regressão linear da biomassa total dos macroinvertebrados da liteira com a quantidade de folhas e material lenhoso e o estoque de Mg e as relações C:N e N:P na liteira. Os valores representam o número de monolitos do TSBF (n=15).

<i>Tratamentos</i>	<i>Grupos</i>	r^2	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>Relação</i>
FP	Formicidae	0,30	5,50	0,036	Material lenhoso
FP	Formicidae	0,28	4,99	0,044	Mg
FP	Formicidae	0,30	5,57	0,035	N:P
FP	Isopoda	0,31	5,96	0,03	Massa das folhas
FP	Isopoda	0,40	8,59	0,012	N:P
PFC	Larvas	0,29	5,27	0,039	Massa das folhas
PFS	Coleoptera	0,29	5,3	0,038	C:N
CAP	Outros	0,29	5,3	0,038	Material lenhoso

Na plantação florestal de *Cedrelinga*, a biomassa dos Diplopoda teve uma relação positiva com o material lenhoso da liteira, com o estoque de carbono, nitrogênio, potássio, cálcio e com o somatório das bases trocáveis (K+Ca+Mg) da liteira (Figura 4.3). A biomassa dos Isopoda foi também positivamente relacionada com o estoque de cálcio e o somatório das bases trocáveis da liteira (K+Ca+Mg) (Figura 4.4). Por outro lado, verificou-se que as larvas apresentaram uma relação positiva com a massa das folhas da liteira (Tabela 4.1).

Plantação Florestal de *Cedrelinga*

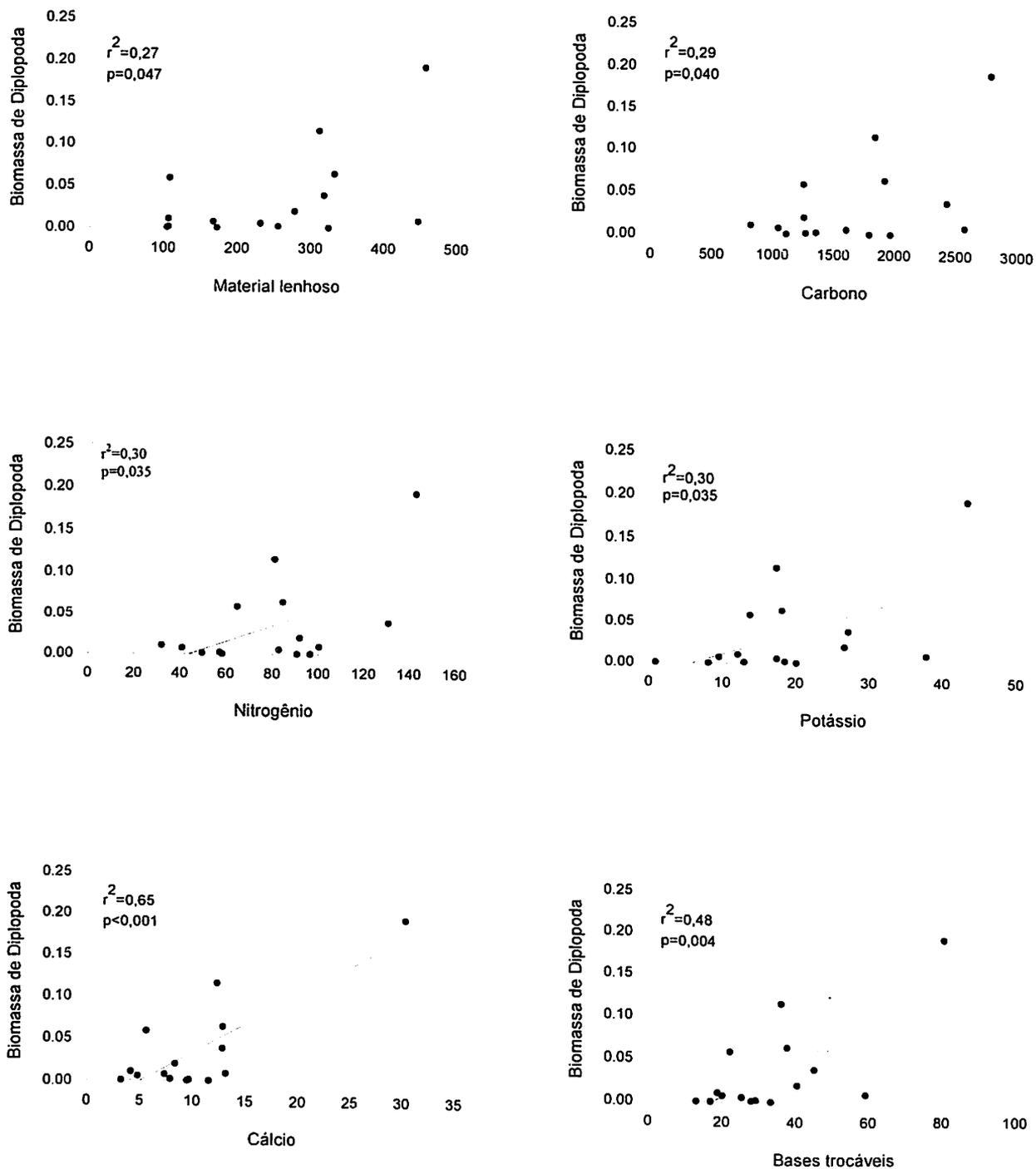


Figura 4.3 Relação da biomassa de Diplopoda com o material lenhoso, o estoque de carbono, nitrogênio, potássio, cálcio e as bases trocáveis na Plantação Florestal de *Cedrelinga* no CIJH. Os pontos representam cada monólito do TSBF (n=15).

Plantação Florestal de *Cedrelinga*

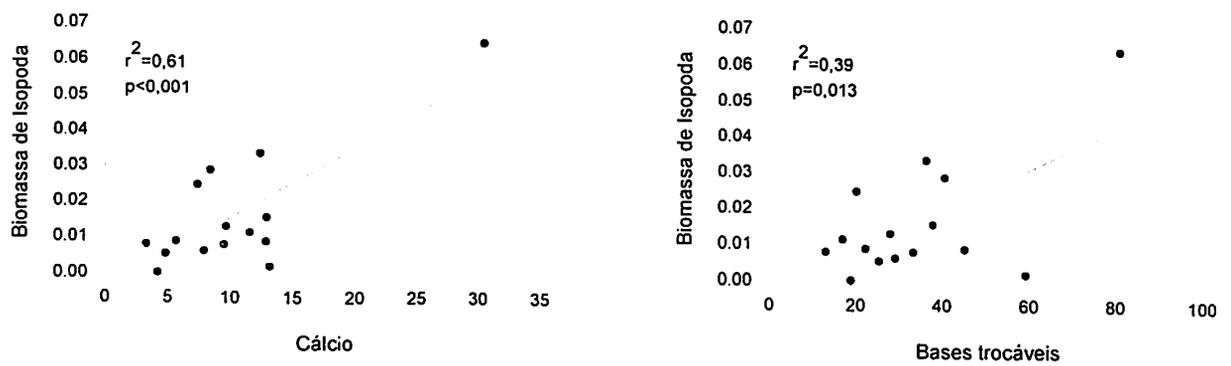


Figura 4.4: Relação da biomassa de Isopoda com o estoque de cálcio e as bases trocáveis na Plantação Florestal de *Cedrelinga* no CIJH. Os pontos representam cada monolito do TSBF (n=15).

Na plantação Florestal de *Simarouba*, os macro-invertebrados não apresentaram nenhuma relação positiva forte com o estoque de carbono e nutrientes na liteira; porém, observou-se uma relação negativa da biomassa dos Coleoptera com a relação C:N (Tabela 4.1).

Na floresta secundária ou capoeira, verificou-se uma relação positiva da biomassa de Formicidae com a relação C:N na liteira (Figura 4.5) e os “outros invertebrados” apresentaram uma relação significativa (porém negativa) com o material lenhoso da liteira (Tabela 4.1).

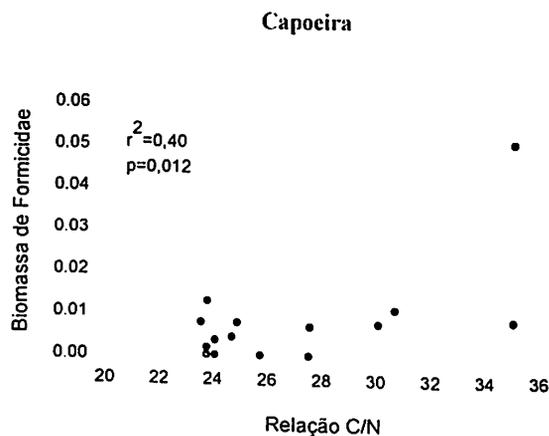


Figura 4.5: Relação da biomassa de Formicidae com a relação C:N na Capoeira, no CIJH. Os pontos representam cada monolito do TSBF (n=15).

Não encontrou-se nenhuma relação significativa da biomassa de Oligochaeta com o estoque de carbono e nutrientes em nenhum dos ecossistemas estudados.

4.5 Discussão

As relações da biomassa dos macro-invertebrados com a quantidade e a qualidade da liteira foram fracas, porém muitas delas foram significativas ao nível de 1% e 5% de probabilidade. Houve evidência pontual de relações (positivas e negativas) de alguns grupos específicos dos macro-invertebrados, como foi o caso dos formicídeos e dois detritívoros terrestres - diplópodos e isópodos - conhecidos por encontrar-se em áreas cultivadas principalmente com espécies arbóreas (Tapia-Coral, 1998), com a massa de liteira e seus componentes principais (folhas e material lenhoso). Estes grupos também apresentaram relações significativas com os estoques de carbono e nutrientes e as razões C:N e N:P na liteira, principalmente na plantação florestal de *Cedrelinga*, seguida pela floresta primária e a capoeira. A plantação florestal de *Cedrelinga* foi o sistema que garantiu uma maior densidade dos macro-invertebrados, que embora não muito diversificada (ver capítulo III), assegurou a liberação do estoque de carbono e de nutrientes disponíveis no sistema para o crescimento das árvores plantadas neste sistema manejado.

Petersen & Luxton (1982) observaram que os artrópodos são mais abundantes em solos que possuem um maior acúmulo de matéria orgânica. Por outro lado, Seasdedt (1984) relatou que a fauna do solo cumpre um papel importante na decomposição de materiais com uma alta relação C:N, já que esta pode significar altos conteúdos de nitrogênio. No presente estudo, os altos estoques de nitrogênio nas plantações florestais e na floresta primária podem indicar que este nutriente estaria favorecendo a colonização da fauna do solo (Luizão & Schubart, 1986) nestes sistemas. O elevado conteúdo de carbono também foi um componente importante para a grande atividade dos macro-invertebrados, principalmente na plantação de *Cedrelinga*. No entanto, em plantações de *Pinus patula* na Colômbia, as populações dos artrópodos não pareceram ter tido a mesma resposta aos altos teores de carbono, representados pelos altos conteúdos de matéria orgânica aportada ao solo pelas acículas do *Pinus* (Feijoo, 2001).

A densidade da fauna do solo decresce com a diminuição da qualidade do estoque de carbono nos solos (Amelung *et al.*, 2002), e com a degradação física e química do solo (Höfer *et al.*, 2001). Assim, a baixa qualidade da liteira pode ter efeitos tóxicos na biota do solo (Lavelle *et al.*, 1993), onde a disponibilidade dos resíduos das plantas é grandemente determinada por sua composição química, conteúdos de lignina, polifenóis e conteúdos nitrogenados, que influenciam na composição da comunidade da fauna do solo (Lavelle *et al.*, 2003). Por exemplo, no Kenya, a adição de resíduos orgânicos de *Tithonia diversifolia* e *Senna spectabilis* em cultivos de *Zea mays* incrementaram a diversidade, abundância e biomassa da fauna do solo, incrementando algumas populações mais do que outras; assim mesmo, a liberação dos nutrientes (N, P, K) foi mais alta com a presença deles (Ayuke, 1998). Porém, ainda não é muito conhecida a qualidade da liteira que deveria ser aplicada na superfície do solo para sustentar uma biomassa conhecida de macro-invertebrados habitantes da liteira, apesar de saber-se que 2 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de matéria orgânica servem para suprir a digestão de uma comunidade de minhocas (Lavelle *et al.*, 2003).

No presente estudo, as minhocas foram o grupo de maior biomassa entre os macro-invertebrados do solo (ver capítulo III), porém não apresentaram nenhuma relação significativa com o estoque de carbono e nutrientes, indicando assim que a presença deles foi independentemente de quantidades e qualidades da liteira nos diferentes tipos de vegetação estudados. Isto indicaria que todos os ecossistemas estudados teriam uma massa e qualidade suficientes de liteira e diversificação para permitir uma grande e variada população de minhocas. Porém, isto contraria os resultados de que altas biomassas de *P. corethrurus* estariam causando uma severa compactação superficial do solo numa

pastagem na Amazônia central (Chauvel *et al.*, 1999). Outro trabalho feito na Floresta madura de San Carlos do Río Negro na Venezuela mostrou que a abundância das minhocas teve uma relação positiva com a massa de liteira (Nemeth & Herrera, 1982). Fragoso & Lavelle (1992), analisaram as comunidades dos macro-invertebrados em várias florestas tropicais úmidas e concluíram que a estrutura delas é determinada principalmente pelo conteúdo de nutrientes do solo e pela sazonalidade das precipitações, encontrando uma relação significativa da biomassa relativa de minhocas epígeas com a massa de liteira acumulada sobre a superfície do solo. Outro estudo feito na China, mostrou-se que a distribuição das comunidades dos invertebrados, de acordo com o grupo taxonômico e/ou funcional estudado, estaria influenciando as propriedades físico-químicas do solo de diferentes maneiras, sendo que as formigas tiveram uma relação significativa com o percentual de argila e a matéria orgânica do solo (Dunxiao *et al.*, 1999).

Na Colômbia, em sistemas silvopastoris e de pastagens experimentais com seleção de leguminosas e gramíneas africanas houve um incremento da biomassa das minhocas e das densidades populacionais de minhocas e cupins (Decaens *et al.*, 1994); numa floresta secundária (> 40 anos), ao analisar a relação entre a massa de folhas e troncos caídos com a biomassa de minhocas, estas foram responsáveis por uma porcentagem muito baixa da variação total, indicando que a acumulação da massa de liteira não garante uma alta biomassa de minhocas (Feijoo, 2001). Outro estudo feito nos llanos de Carimagua, identificou 14 diferentes tipos de estruturas biogênicas depositadas na superfície do solo, feitas por minhocas, cupins e formigas, onde as estruturas biogênicas, principalmente dos cupins, tiveram relações significativas com os altos conteúdos de alumínio, matéria orgânica e os macronutrientes (P, K, Mg) (Decaens *et al.*, 1999). As densidades e biomassas de minhocas e dos cupins são dependentes da qualidade dos resíduos orgânicos; os cupins tendem a ser predominantes quando baixas qualidades de substratos estão disponíveis, enquanto que as minhocas dependem dos resíduos orgânicos de alta qualidade (Lavelle *et al.*, 2003).

Num estudo realizado no México, foi demonstrado que sistemas de policultivos ou diversificados tem efeitos positivos na conservação da biodiversidade, quando comparados com um sistema agrícola ou de monocultivo (Fragoso & Rojas, 1994). Assim, a provisão de habitats e alimentos em sistemas diversificados devem favorecer comunidades específicas dos invertebrados do solo, sobretudo de invertebrados epígeos (principalmente artrópodos da liteira, tais como diplópodos, quilópodos, coleópteros, formigas, cupins de superfície e minhocas epígeas) e invertebrados anécicos, como os que moram no solo e

sobem à superfície para se alimentar, tais como cupins subterrâneos e minhocas (Lavelle *et al.*, 2003). Assim, a diversidade das espécies de plantas é um componente importante para determinar a qualidade da liteira (Tilman *et al.*, 1996; Wardle & Lavelle, 1997).

Na Amazônia central, determinou-se uma relação forte e positiva da densidade e biomassa dos macro-invertebrados com a massa seca da liteira em sistemas de policultivo (Vohland & Schroth, 1999). Porém, a fauna do solo nestes mesmos sistemas dependeria também da qualidade da liteira, dos substratos orgânicos e de condições microclimáticas específicas em cada hábitat (Höfer *et al.*, 1996; Höfer *et al.*, 2001). Por outro lado, em sistemas multiestrato, ocorreram relações significativas e fortes entre os macro-invertebrados, principalmente dos isópodos e diplópodos, e as concentrações de fósforo na liteira (Tapia-Coral, 1998). No presente estudo, determinou-se que a biomassa dos formicídeos teve uma relação positiva e forte com o estoque de fósforo na liteira, na floresta primária. Outro estudo feito em plantios florestais, em Porto Rico, mostrou que a biomassa dos diplópodos teve uma relação positiva com a massa das folhas da liteira e negativa com a relação C:N da liteira (Warren & Zou, 2002).

Na Reserva Florestal Adolfo Ducke, na Amazônia central, recentemente estudou-se a diversidade de diferentes grupos de artrópodos da liteira, relacionando-os com a topografia do terreno, a porcentagem de argila no solo e a quantidade de liteira. O grupo Formicidae, principalmente a subfamília Ponerinae, teve relações significativas com a porcentagem de argila do solo, a inclinação do terreno e a quantidade de liteira (Fagundes, 2003); a densidade dos Collembola mostrou uma relação positiva também com a massa de liteira; e os Acari com a porcentagem de argila no solo, que, por sua vez relaciona-se com a altitude. Assim, o estudo mostrou que cada grupo responde de maneira diferenciada às variáveis ambientais, ao suprimento alimentar e às propriedades físicas e químicas do solo (Guimarães, 2003).

Os formicídeos, diplópodos e isópodos foram os principais grupos que mostraram relações significativas de sua biomassa com a massa de liteira, o estoque de carbono e nutrientes, sendo que estes artrópodos são considerados importantes decompositores da liteira, envolvidos diretamente na liberação dos estoques de carbono, nutrientes e na dinâmica da matéria orgânica em sistemas naturais e, mais ainda, em sistemas manejados onde a liteira das espécies de árvores plantadas são um determinante fundamental para o crescimento das plantas (Wardle & Giller, 1996).

4.6 Conclusão

Os grupos formicídeos, diplópodos e isópodos tiveram relações positivas com a massa total da liteira e seu componente lenhoso, com o estoque de carbono, nitrogênio, relação C:N, fósforo, potássio, cálcio e as bases trocáveis principalmente na plantação florestal de *Cedrelinga*.

CAPÍTULO V

Efeito da inoculação de *Pontoscolex corethrurus* Muller (Oligochaeta: Glossoscolecidae) sobre a disponibilidade de nitrogênio mineral em casa-de-vegetação

5.1 Introdução

As minhocas estão entre os componentes principais da macrofauna do solo em diferentes sistemas de uso da terra (Lavelle & Pashanasi, 1989; Decaens *et al.*, 1999), contribuindo para a manutenção da fertilidade do solo por meio de três ações principais: (i) constroem e mantêm a estrutura do solo, baseada nos macroagregados resistentes; (ii) liberam os nutrientes contidos nos resíduos vegetais da matéria orgânica do solo; e, (iii) protegem fisicamente o húmus dentro de turrículos compactos (Lavelle *et al.*, 1994). Além disso, as minhocas influenciam a mineralização do nitrogênio (N), tanto diretamente, através da liberação de N por produtos de seu metabolismo (excrementos, urina, muco) e de seus tecidos, ao morrer, como indiretamente, através da alteração das propriedades físicas do solo, fragmentação do material orgânico e através das interações com a biota do solo (Lee, 1985). Assim, a manipulação dos processos biológicos do solo conduzidos pelas minhocas e outros macro-invertebrados é uma das melhores alternativas para a recuperação do solo de áreas degradadas e/ou alteradas, podendo-se aproveitar a atividade das minhocas endógeas e/ou anécicas (aquelas que moram dentro do solo) para este fim (Pashanasi *et al.*, 1994). A atividade das minhocas cria estruturas, turrículos e galerias que modificam a agregação do solo, a porosidade e a comunicação dos poros entre si. A digestão e ulterior incorporação dos turrículos não-digeridos (resultantes da matéria orgânica do solo não digerida) tem um impacto que se mede numa escala temporal que vai desde algumas horas até vários meses ou mesmo alguns anos (Lavelle *et al.*, 1998).

A espécie *Pontoscolex corethrurus* é uma minhoca pantropical, endógea e que desempenha um papel importante, tanto na liberação de fósforo para as plantas como na reciclagem de outros nutrientes, sendo eficientes na decomposição dos compostos orgânicos (Guerra & Asakawa, 1981; Guerra, 1982). Vários trabalhos mostraram também que são minhocas muito comuns em ecossistemas que sofreram alguma alteração (Lavelle & Pashanasi, 1989; Feijoo *et al.*, 1999; Aquino, 1999; Feijoo, 2001; Langenbach *et al.*, 2002; Barros, 1999; Chauvel *et al.*, 1999; Barros *et al.*, 2003).

No “Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera”, *P. corethrurus* foi uma das espécies de minhocas encontradas nas plantações florestais de *Cedrelinga catenaeformis* e

Simarouba amara e na capoeira (capítulo III); por isso, decidiu-se avaliar se elas estariam contribuindo para a disponibilidade de nitrogênio mineral para o crescimento das plantas.

5.2 Objetivo

Determinar o efeito da inoculação de *P. corethrurus* sobre a disponibilidade de nitrogênio mineral (NH_4^+ e NO_3^-) do solo com adição de liteira de *Cedrelinga catenaeformis*, *Simarouba amara* e a mistura de ambas as espécies, em experimentos de casa-de-vegetação (mesocosmos).

5.3 Métodos

5.3.1 Delineamento experimental

Cada tratamento com inoculação de minhocas teve quatro réplicas distribuídas ao acaso; assim, para os três tipos de liteira: *Cedrelinga catenaeformis*, *Simarouba amara* e a mistura de ambas as espécies, com e sem minhocas adultas e juvenis (o controle, sem liteira e sem minhocas), perfazendo um total de 16 caixas de mesocosmos com a espécie *P. corethrurus* adultos e 16 caixas de mesocosmos com as juvenis, num total geral de 32 mesocosmos (Figura 5.1). Para facilitar a compreensão, daqui para frente serão usados somente os gêneros das duas espécies de folhas utilizadas: *Cedrelinga* e *Simarouba*.

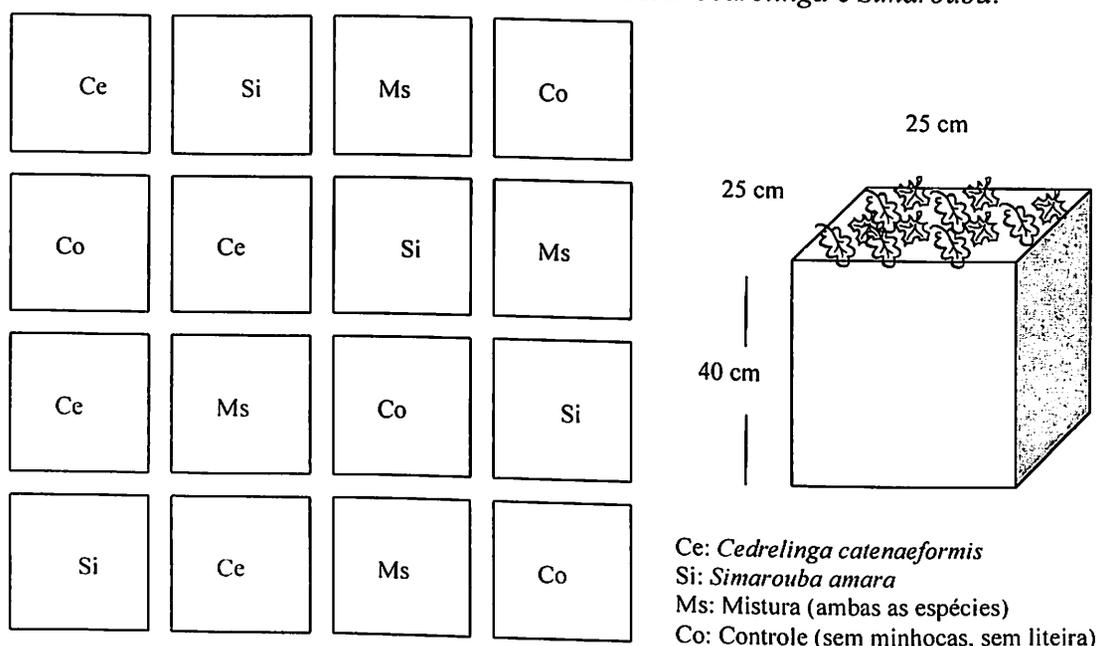


Figura 5.1: Esquema dos tratamentos no experimento de mesocosmos em casa de vegetação: 16 caixas com *P. corethrurus* juvenis e 16 com adultos. Total geral: 32 caixas.

5.3.2 Mesocosmos e inoculação de *P. corethrurus*

Foram construídas 32 caixas quadradas de madeira (mesocosmos) medindo 25 cm de lado e 40 cm de profundidade para o experimento. As caixas foram preenchidas com solo coletado da capoeira com ajuda de uma pá, em camadas de 0-20 cm de profundidade e transportado em baldes plásticos até a casa-de-vegetação. Em seguida, o solo foi limpo com ajuda de pinças, retirando as raízes e toda a fauna visível e peneirado com malha de 3 mm para remover todos os fragmentos da matéria orgânica do solo.

Os indivíduos de *P. corethrurus*, juvenis e adultos, também foram coletados nas áreas alteradas próximas ao CIJH, cavando-se o solo com auxílio de uma pá, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, retirando-se manualmente com muito cuidado as minhocas e colocando-as em bandejas plásticas contendo um pouco de solo do mesmo local; logo, foram transportadas para o local do experimento e mantidas em condições de casa-de-vegetação durante 15 dias até o início do experimento.

Nos tratamentos com minhocas, foram inoculados seis espécimes juvenis e quatro adultos da espécie, e sobre estes adicionou-se o solo da capoeira (Ultisol), distribuído uniformemente. Na superfície do solo dos mesocosmos foi colocada uma camada de folhas recém caídas e cortadas em quadrados pequenos, de *Cedrelinga catenaeformis*, *Simarouba amara* ou uma mistura de ambas as espécies, para cada tratamento, em pesos iguais (aproximadamente 10 g). A superfície e o fundo das caixas foram cobertas com malha de náilon de 0,5 mm para permitir a drenagem da água e evitar a saída das minhocas.

5.3.3 Local e condições do experimento

O experimento foi realizado de setembro 2001 até outubro de 2002 (13 meses) em casa-de-vegetação, no CIJH (3°39' S e 73°48' O). Os mesocosmos foram numerados e colocados sobre balcões de madeira a aproximadamente 1 m do chão (Figura 5.2), onde foram mantidos durante 360 dias em casa-de-vegetação coberta e com umidade controlada. Cada um dos mesocosmos era regado de dois em dois dias, com 500 ml de água. Também era feita uma verificação visual contínua da presença das minhocas, cavando-se com uma pequena pá na superfície do solo, com um mínimo de alteração, para verificar se as minhocas permaneciam vivas. Observou-se em poucas oportunidades que algumas minhocas conseguiam sair da malha de náilon da superfície até metade do corpo e quando isto foi observado, eram retornadas à caixa do mesocosmos. Porém, não se descarta a possibilidade de ter havido a fuga de algumas delas.

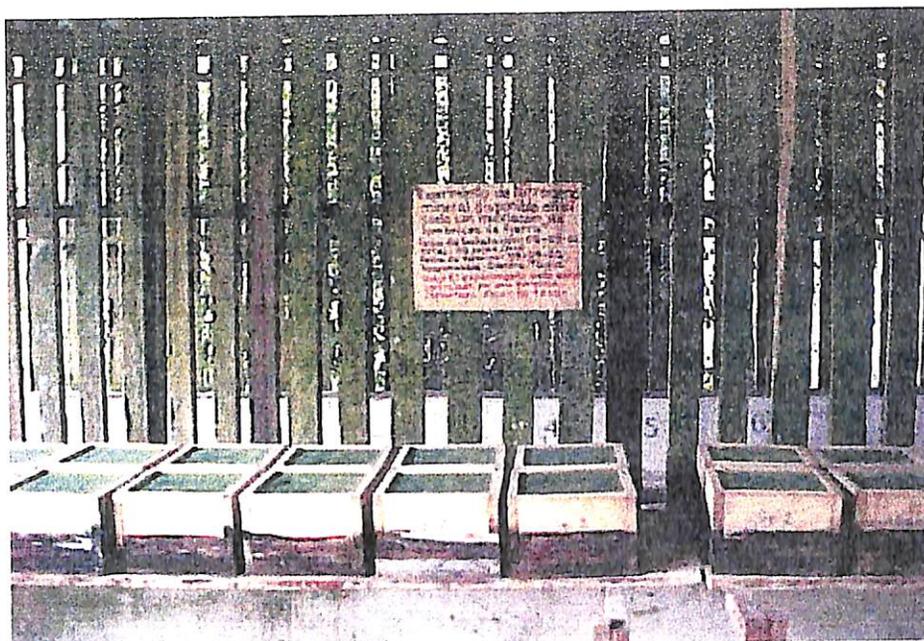


Figura 5.2: Foto do experimento sobre inoculação com *P. corethrurus* em caixas de mesocosmos na casa-de-vegetação no CIJH.

5.3.4 Clima durante o experimento

Durante o tempo de duração do experimento (setembro 2001 – outubro 2002) observou-se uma precipitação de 3010 mm, com precipitações mínima de 106 mm em setembro de 2002 e máxima de 355 mm em abril de 2002. A temperatura média máxima foi de 32,5 °C em outubro de 2001 e mínima de 20,8 °C em agosto de 2002 (Figura 5.3).

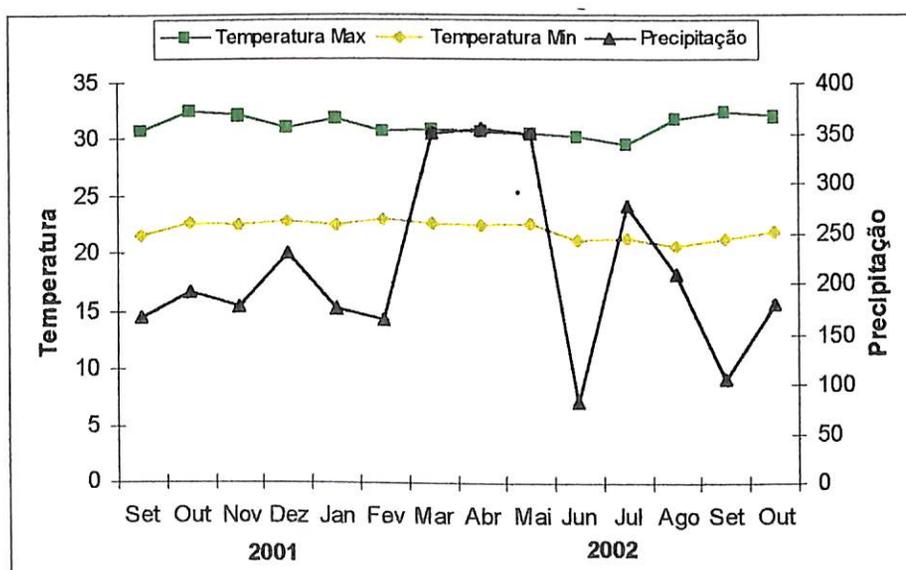


Figura 5.3: Temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) ao longo do experimento de mesocosmos (setembro 2001 – outubro 2002), registrados na Estação Climatológica do CIJH.

5.3.5 Coleta das amostras

Ao término do experimento (depois de 360 dias), os mesocosmos foram desmontados e cuidadosamente abertos: primeiro, foi coletada a liteira da superfície, que foi colocada em recipientes de tecnopor e, depois, seca ao ar livre, limpa com ajuda de pincéis finos de pêlo e pesada para se calcular a perda de peso da liteira. Em seguida, todas as minhocas presentes foram retiradas manualmente, contadas e pesadas numa balança de precisão, para obter sua densidade e biomassa. As fezes das minhocas foram cuidadosamente separadas, contadas e coletadas para determinar a proporção de excremento presente na superfície do solo dos mesocosmos, calculando-se a proporção relativa (%) de excremento produzido, a qual forneceu uma estimativa da atividade das minhocas (Guerra, 1982). Depois, as fezes foram guardadas em sacos plásticos e transportadas ao laboratório para as análises de carbono e macronutrientes. Amostras compostas de solo também foram coletadas para as análises de N mineral (amônio e nitrato).

5.3.6 Análises de laboratório

As concentrações de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) foram medidas após extração com cloreto de potássio (KCl) (20 g de solo e 150 ml de KCl 1 M) (Maynard & Kalra, 1993, modificada) e a determinação foi feita num aparelho de Fluxo Contínuo (SFA-2, Burkard Scientific) no “Laboratório de Suelos y Plantas” do INIA/ICRAF na cidade de Pucallpa, Peru.

As análises de carbono e nutrientes das fezes das minhocas foram feitas seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente no capítulo I, no “Laboratório Temático de Solos e Plantas” do INPA em Manaus, Brasil.

5.3.7 Análises dos dados

Foram aplicadas análises de variância múltiplas (MANOVA) para verificar as diferenças entre as médias das concentrações de nitrogênio mineral (amônio e nitrato), carbono, macronutrientes das fezes e as perdas de peso da liteira (variáveis dependentes), com a presença ou ausência de minhocas e para cada tipo de liteira (variáveis independentes). As análises foram feitas no programa estatístico Statistics para Windows.

5.4 Resultados

5.4.1 Nutrientes do solo inicial

O solo analisado no início do experimento mostrou concentrações muito baixas de carbono e nutrientes, quase similares ao solo de capoeira analisado anteriormente (capítulo I); no entanto, as concentrações de amônio e nitrato apresentaram altos conteúdos iniciais (Tabela 5.1).

Tabela 5.2: Concentrações de carbono, N total, nutrientes totais, amônio, nitrato e N mineral do solo inicial do experimento de mesocosmos.

C (%)	N (%)	C/N	P (g.kg ⁻¹)	K Ca Mg (cmolc.kg ⁻¹)			NH ₄ (mg.kg ⁻¹)	NO ₃ (mg.kg ⁻¹)	N-mineral (mg.kg ⁻¹)
2,01 (± 0,01)	0,16 (± 0,01)	12,6 (± 0,68)	2,49 (± 0,26)	0,06 (± 0,0)	0,01 (± 0,0)	0,09 (± 0,02)	18,6 (±9,4)	10,6 (± 4,16)	29,2 (± 13,6)

5.4.2 Perda de peso da liteira nos mesocosmos

A perda de peso da liteira ao final de 360 dias, foi calculada em relação às 10 g de liteira (100 %) adicionadas no início do experimento. A inoculação de *P. corethrurus* teve um efeito significativo sobre a perda de peso da liteira ($p < 0,05$), sendo que as perdas nos tratamentos com minhocas foram maiores do que sem minhocas (Tabela 5.2). A liteira de *Cedrelinga* perdeu mais peso durante o experimento do que a liteira de *Simarouba* e a mistura de ambas as espécies, com e sem as minhocas inoculadas (Tabela 5.2).

Tabela 5.2: Peso remanescente (residual) (%), 360 dias após a inoculação de minhocas juvenis e adultos, no experimento de mesocosmos com e sem inoculação de *P. corethrurus*. Os valores indicam a média ± desvio padrão (n=4). As letras diferentes nas colunas indicam as diferenças entre os tratamentos.

Minhocas inoculadas	Tratamentos	Perda de peso (%)	
		Com minhocas	Sem minhocas
Juvenis	<i>Cedrelinga</i>	14,7 (± 1,6) a	8,7 (± 1,2) a
	<i>Simarouba</i>	24,7 (± 2,7) b	18,2 (± 2,6) b
	Mistura	25,4 (± 2,7) b	20,7 (± 2,9) b
Adultos	<i>Cedrelinga</i>	8,9 (± 1,0) a	5,7 (± 0,8) a
	<i>Simarouba</i>	26,7 (± 2,9) b	14,0 (± 2,0) b
	Mistura	20,9 (± 2,3) c	17,5 (± 2,5) b

5.4.3 Densidade e biomassa de minhocas

No começo do experimento, em cada caixa de mesocosmos, foram inoculados seis indivíduos juvenis ou quatro indivíduos adultos de *P. corethrurus*. As densidades dos indivíduos de *P. corethrurus* coletados ao final do experimento (360 dias), em cada

tratamento, foram altamente variáveis, principalmente nas camadas de 10-20 cm; no entanto, as biomassas foram similares em todos os tratamentos (Tabela 5.3).

Os *P. corethrurus* inoculados juvenis, na camada de 0-10 cm, tiveram densidades similares em todos os tratamentos de adição de liteira; no entanto, na camada de 10-20 cm, as densidades das minhocas aumentaram em todos os tratamentos, sendo mais altos, tanto os imaturos como os adultos, na liteira de *Cedrelinga* do que em *Simarouba* e na mistura de ambas as espécies (Tabela 5.3). Os *P. corethrurus* inoculados adultos, na camada de 0-10 cm mantiveram-se similares; na camada de 10-20 cm, reproduziram-se consideravelmente, sendo que os imaturos foram mais abundantes na liteira da mistura de ambas espécies seguida da *Simarouba* e da *Cedrelinga* (Tabela 5.3).

No total, pode observar-se que as densidades de *P. corethrurus* inoculados adultos foram mais altas nas liteiras de *Simarouba* e na mistura de ambas as espécies do que na liteira de *Cedrelinga*; porém, suas biomassas mantiveram-se semelhantes nos três tratamentos de adição de liteira e em ambos os tratamentos de minhocas (juvenis e adultos). As densidades altas no final do experimento indicam que os indivíduos inoculados, tanto adultos como juvenis, conseguiram se reproduzir, encontrando-se ainda alguns poucos ovos em ambos tipos de mesocosmos no final do experimento (360 dias). Mesmo assim, não houve diferenças significativas entre os tratamentos quanto à densidade e biomassa das minhocas.

Tabela 5.3: Densidade inicial, densidade final e biomassa média de *P. corethrurus* juvenis e adultos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm no experimento de mesocosmos (n=4).

Minhocas inoculadas	Camada	Estágio de vida	Densidade Inicial			Densidade (nº ind.)			Biomassa (g)		
			Ce	Si	Ms	Ce	Si	Ms	Ce	Si	Ms
Juvenis	0-10	Imaturos	3	2	3,5	4,5	0,16	0,71	0,36		
		Adultos	-	0,25	1,25	1,0	0,11	0,63	0,46		
	10-20	Imaturos	3	15	9,25	13,5	1,0	0,71	0,91		
		Adultos	-	7,75	6,0	5,25	3,16	2,51	2,42		
		Casulos	-	0,75	-	-	-	-	-		
Total	6	25,7	20,0	24,2	4,43	4,56	4,15				
Adultos	0-10	Adultos	2	2,5	1,75	1,5	1,38	0,85	0,9		
		Imaturos	-	3	2,25	2	0,21	0,33	0,24		
		Casulos	-	0,25	0,25	-	-	-	-		
	10-20	Adultos	2	4,75	6,75	6,5	1,94	2,84	2,48		
		Imaturos	-	13,5	17,0	17,2	0,9	0,95	1,14		
		Casulos	-	0,25	0,5	-	-	-	-		
Total	4	24,7	28,5	27,2	4,43	4,97	4,76				

Tipo de liteira: Ce = *Cedrelinga*; Si = *Simarouba* e Ms = Mistura de ambas as espécies.

5.4.4 Atividade das minhocas

A presença dos excrementos das minhocas nos mesocosmos permitiu obter uma estimativa da atividade dos *P. corethrurus* adultos e juvenis nos diferentes tratamentos, sendo que a atividade foi mais alta no tratamento com as minhocas adultas e principalmente sob a liteira de *Simarouba* (Figura 5.4). No entanto, ambas as minhocas (adultas e juvenis) foram ativas em todos os tipos de liteira, sendo que os juvenis tiveram uma atividade similar na liteira de *Simarouba* e na mistura das espécies (Figura 5.4).

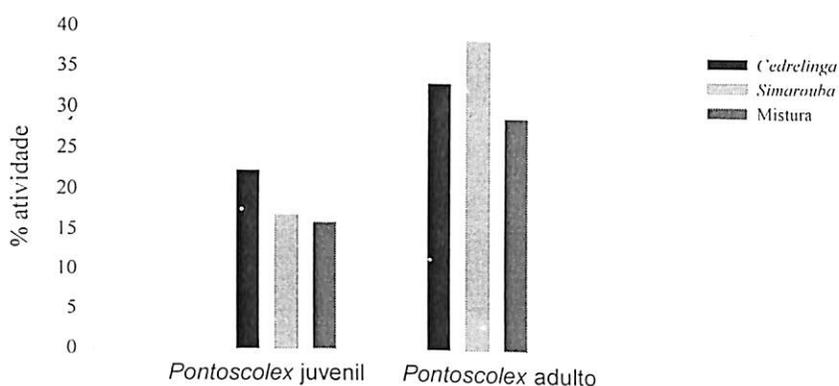


Figura 5.4: Atividade (%) de *Pontoscolex corethrurus* juvenis e adultos nos diferentes tratamentos de liteira, no experimento de mesocosmos. As barras representam as médias de quatro tratamentos (n=4).

5.4.5 Nutrientes nas fezes das minhocas

As concentrações de carbono, nitrogênio, fósforo e a relação C:N apresentaram valores similares aos do solo inicial; porém, as bases trocáveis apresentaram conteúdos muito mais altos do que no solo inicial: para juvenis (K=26,1%), (Ca=1,3%), (Mg=26,5%) e adultas: (K=28,6%), (Ca=1,3%) e (Mg=25,7%), indicando assim um incremento nas suas concentrações, após a passagem do solo pelo trato digestivo das minhocas. Porém, não se encontraram diferenças significativas nos conteúdos de carbono e nutrientes entre os tratamentos com minhocas juvenis e adultas (Tabela 5.4).

Tabela 5.4: Concentrações de carbono e nutrientes nas fezes de *P. corethrurus* juvenis e adultos no experimento de mesocosmos (n=4).

Fezes	C (%)	N (%)	C/N	P (g.kg ⁻¹)	K Ca Mg		
					(cmolc.kg ⁻¹)		
Juvenis	1,95 (± 0,02)	0,15 (± 0,05)	13,0 (± 1,72)	2,46 (± 0,34)	0,23 (± 0,04)	0,77 (± 0,26)	0,34 (± 0,16)
Adultos	2,01 (± 0,06)	0,21 (± 0,03)	9,6 (± 2,46)	2,49 (± 0,45)	0,21 (± 0,34)	0,77 (± 0,15)	0,35 (± 0,16)

5.4.6 Concentrações de amônio e nitrato no solo

Os mesocosmos inoculados com os *P. corethrurus* juvenis e adultos apresentaram concentrações mais altas de amônio, nitrato e N mineral do que os mesocosmos sem minhocas (Tabela 5.5). No tratamento com minhocas juvenis, as concentrações de amônio variaram de 2,44 mg.kg⁻¹ na liteira de *Cedrelinga* a 5,48 mg.kg⁻¹ na liteira de *Simarouba* e de 7,99 a 9,07, respectivamente, no tratamento com as minhocas adultas. As concentrações de amônio nos mesocosmos com minhocas adultas tiveram diferenças significativas entre os tratamentos de liteira adicionadas, sendo as concentrações maiores na liteira da *Simarouba* para os juvenis e na *Cedrelinga* para as adultas (F=16,8; p<0,01). As concentrações de nitrato sempre foram um pouco maiores com a presença das minhocas; houve diferenças significativas no tratamento com minhocas (F=34,2; p<0,01) sob a liteira da *Simarouba* com os dois tipos de minhocas inoculadas: juvenis e adultos (Tabela 5.5).

Tabela 5.5: Concentrações de amônio (NH₄), nitrato (NO₃) e N mineral do solo (mg/kg) no experimento de mesocosmos com e sem inoculação de *P. corethrurus* juvenis e adultos nos tratamentos de liteira, 360 dias após a inoculação. Os valores indicam a média de quatro tratamentos (n=4) ± desvio padrão entre parêntesis. As letras indicam as diferenças entre os tratamentos ao nível de 0,5% (p<0,05).

Minhocas inoculadas	Tipo de liteira	NH ₄		NO ₃		N mineral	
		Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
Juvenis	<i>Cedrelinga</i>	2.25 (±0.1)a	2.44 (±1.5)a	2.40 (±0.1)a	2.51 (±1.7)a	4.65 (±0.1)a	4.96 (±1.9)a
	<i>Simarouba</i>	2.34 (±0.3)a	5.48 (±7.3)a	3.29 (±1.6)a	4.68 (±4.0)a	5.63 (±1.9)a	10,2(±8,6)b
	Mistura	3.77 (±0.2)a	3.81 (±3.5)a	3.40 (±0.1)a	3.50 (±3.5)a	7.16 (±0.2)b	7.31 (±4,6)b
Adultos	<i>Cedrelinga</i>	7.13 (±0.3)a	9.07 (±0.8)a	3.20 (±0.0)a	6.41 (±1.4)a	10,3 (±0,3)a	15,5 (±1,9)a
	<i>Simarouba</i>	7.74 (±0.2)a	7.99 (±1.1)a	6.08 (±0.7)b	6.63 (±3,2)a	13,8 (±0,9)a	14,6 (±1,9)a
	Mistura	2.13 (±1.0)b	8.12 (±1.2)a	3.30 (±0.0)a	5.67 (±4,9)a	5.43 (±1,0)a	13,8 (±5,1)a

5.5 Discussão

Pontoscolex corethrurus é uma minhoca endógea, exótica, mesohúmica, encontrada freqüentemente em áreas que sofreram alguma alteração (Lavelle & Pashanasi, 1989), principalmente nos trópicos úmidos. Tem uma digestão altamente eficiente e

características demográficas excepcionais, que lhe permitem colonizar rapidamente lugares perturbados onde as espécies nativas não ocorrem mais (Lavelle & Pashanasi, 1989; Lavelle *et al.*, 1998). Devido à sua extensa distribuição e grande adaptabilidade a diversos ambientes (Lavelle *et al.*, 1987; Lavelle & Pashanasi, 1989), esta espécie tem sido objeto de numerosos estudos; assim, acredita-se que as condições mantidas durante o experimento foram satisfatórias para sua sobrevivência e reprodução nos mesocosmos.

No experimento de mesocosmos, os *P. corethrurus* juvenis e adultas inoculadas conseguiram se reproduzir durante o transcurso do experimento (360 dias), aumentando sua densidade nos três tratamentos de liteira testados. A densidade e biomassa das minhocas juvenis e adultas foram mais altas na camada de 10-20 cm em todos os tratamentos de liteira. Os *P. corethrurus* adultos foram predominantes nas camadas de 10-20 cm e principalmente no fundo das caixas (observação pessoal), o que é comum em espécies geófagas. A intensa e rápida reprodução das minhocas inoculadas confirmam resultados de experimentos anteriores, feitos no Peru, onde, em Yurimaguas, a produção massiva de *P. corethrurus* em camas de cultivos contendo substratos de resíduos de madeira (pó de serragem), mostrou uma produção de até 12000 minhocas (1,6 - 2,8 kg de peso vivo) numa superfície de um metro quadrado (Lavelle *et al.*, 1998). No mesmo lugar, outro experimento de cultivo de *P. corethrurus* em camas de 5 x 1 x 20 cm de profundidade, onde foram inoculados 40 indivíduos (20 ao início e 20 aos 40 dias do experimento), produziu, em 120 dias, um total de 3355 indivíduos com 839 g de peso, sendo a grande maioria imaturos (Senapati *et al.*, 1999).

A atividade das minhocas neste estudo foi comprovada pela quantidade de excrementos na superfície e nos primeiros 10 cm do solo; ao serem desmontadas as caixas de mesocosmos, observou-se maior quantidade de excrementos no tratamento com as minhocas adultas do que nas juvenis, e principalmente na liteira de *Cedrelinga*. Observações similares foram feitas num estudo da influência de *P. corethrurus* sobre os microorganismos em cubas com solos + composto orgânico (Guerra & Asakawa, 1981), onde verificou-se a presença de excrementos, tanto no fundo como distribuídos em todas as camadas do solo, atribuindo-se o aumento da população microbiana no decorrer do experimento principalmente à presença dos excrementos e ao deslocamento da matéria orgânica em profundidade.

No presente estudo, os excrementos das minhocas apresentaram concentrações de bases trocáveis mais altas do que o solo original, porém mostraram concentrações baixas dos outros nutrientes e de carbono, embora o conteúdo de carbono nos excrementos dos *P.*

corethrurus adultos tenha sido mais alto do que no solo inicial. Em outro estudo, as fezes de *Martiodrilus carimaguensis*, uma espécie típica das savanas da Colômbia, também apresentaram conteúdos mais altos de carbono do que o solo original das savanas (Rangel *et al.*, 1999). Num outro experimento feito em Yurimaguas, com inoculação de *P. corethrurus* em sacos contendo plântulas de *Bixa orellana*, observou-se que os excrementos das minhocas cobriram toda a superfície dos sacos, verificando-se inclusive algumas mortes das minhocas, porém aduziu-se que foi devido aos exudados tóxicos produzidos pela planta (Ydrogo *et al.*, 1995).

Os excrementos das minhocas possuem uma maior quantidade de matéria orgânica numa forma parcialmente digerida e facilmente assimilável pelos microorganismos (Lavelle & Martin, 1992), influenciando em diversos processos físicos, químicos e biológicos do solo (Decaens *et al.*, 1999). Assim, a população microbiana nesses excrementos geralmente é maior do que nos solos circundantes; no entanto, o aumento da microflora depende da quantidade e do tipo de material vegetal e de solo ingerido pela minhoca (Guerra & Asakawa, 1981). Em uma escala de tempo curta, as minhocas misturam ativamente o solo com o muco intestinal em seu trato digestivo, operação que facilita a alta atividade microbiana e a mineralização da matéria orgânica; assim, nas fezes frescas, populações importantes de microorganismos desenvolvem uma intensa mineralização, que libera os nutrientes para as plantas (Rangel *et al.*, 1999; Decaens *et al.*, 2001).

Os excrementos e as galerias das minhocas constituem, de fato, microhabitats privilegiados para algumas espécies de cupins e de formigas, as quais aproveitam os macroporos das estruturas para estabelecer suas colônias; outras espécies de cupins e pequenas espécies de minhocas utilizam as deposições como fonte de substrato alimentício pelo alto conteúdo de matéria orgânica (Jimenez *et al.*, 1998; Decaens *et al.*, 2001). Em Yurimaguas (Peru), a inoculação de *P. corethrurus* teve efeitos variáveis sobre as propriedades do solo e a produção das plantas de diferentes cultivos anuais (Pashanasi *et al.*, 1994). Porém, em pastagens na Amazônia central, foi observado que a espécie *P. corethrurus* invadiu nichos deixados pela eliminação de uma grande variedade de espécies florestais, provocando assim uma severa compactação do solo, com a conseqüente falta de infiltração de água e a redução do crescimento vegetal (Barros, 1999; Chauvel *et al.*, 1999). O mesmo aconteceu em Papua-Nova Guinéa, onde o desenvolvimento das populações de *P. corethrurus* teve efeitos negativos sobre a estrutura do solo, provocando o decréscimo da produção vegetal (Lavelle *et al.*, 1998). Em sistemas agroflorestais de Yurimaguas, a intensa atividade de *P. corethrurus* junto com a deposição dos excrementos

na superfície do solo levou à formação de uma crosta compacta, que reduziu a infiltração de água nos sistemas sem aplicação de cobertura do solo com resíduos orgânicos; por outro lado, produziu uma estrutura macroagregada favorável nos sistemas com presença de resíduos orgânicos e leguminosas de cobertura (Lavelle *et al.*, 1998).

No presente estudo, a adição da liteira de *Cedrelinga*, *Simarouba* e da mistura das duas espécies, com qualidades nutricionais distintas, teve efeitos significativos sobre a atividade de ambas as fases das minhocas, juvenis e adultas, sendo que a liteira da *Cedrelinga* foi mais decomposta do que os outros tipos de liteira, principalmente pelas minhocas adultas. Em outro estudo, feito em Manaus com duas espécies de minhocas, *P. corethrurus* e *Rhinodrilus* sp., não houve efeitos significativos sobre a decomposição da liteira de qualidades nutricionais distintas, provavelmente devido ao pouco tempo do experimento (97 dias) e principalmente à alta migração da espécie *Rhinodrilus* dos mesocosmos (Araújo *et al.*, 2004). As minhocas foram mais ativas no tratamento com as folhas de *Hevea brasiliensis*, de melhor qualidade nutricional e onde se verificaram os mais altos teores de Bio-N e nitrato (Araújo *et al.*, 2004). *P. corethrurus*, por ser uma espécie geófaga, comedora de solo, não se alimenta diretamente da liteira. No entanto, para o presente estudo, é possível afirmar o efeito indireto desta espécie de minhoca na decomposição dos diferentes tipos de liteira, principalmente na liteira da *Cedrelinga*, através de seus excrementos, do estímulo à atividade microbiana e principalmente pela maior liberação de nitrogênio. Assim, o efeito das minhocas sobre a decomposição dos resíduos vegetais depende da qualidade do recurso existente (Tian *et al.*, 1997).

No solo inoculado com minhocas, foram medidas concentrações mais altas de nitrogênio mineral (nitrato e amônio) do que no tratamento sem minhocas, porém todas as concentrações foram menores do que no solo original, provavelmente porque o solo inicial da capoeira foi peneirado e limpo antes de ser colocado nos mesocosmos e logo guardado durante vários meses na geladeira, sendo as análises feitas ao final do experimento do mesocosmos. Fato similar ocorreu no trabalho de Araújo *et al.* (2004), que encontraram concentrações baixas de N mineral no solo original da capoeira, atribuindo isto a mineralização da matéria orgânica que pode ser incrementada pela mistura e redução no tamanho da matéria orgânica, o que teria ocorrido aqui com o peneiramento do solo original de capoeira. No presente estudo, os *P. corethrurus* adultos produziram incrementos maiores de $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ no solo do que os juvenis e em comparação com o tratamento controle (sem minhocas), verificando-se assim que as minhocas adultas ingerem mais solo do que as juvenis e, conseqüentemente, contribuem mais diretamente

para a mineralização de N. Em pastagens colombianas, verificou-se que grandes quantidades de N mineral liberada no solo foram relacionadas às altas densidades da minhoca anécica *Martiodrillus carimaguensis*, que ingeriu anualmente centenas de toneladas de terra por hectare (Decaens *et al.*, 1999).

As atividades das minhocas estão entre os principais reguladores dos processos de ciclagem da matéria orgânica do solo, sendo que suas atividades podem melhorar a qualidade do solo (Lavelle *et al.*, 1998). A influência das minhocas na dinâmica do nitrogênio depende das quantidades do solo que elas ingerem e da qualidade do material ingerido (Rangel *et al.*, 2001). As minhocas adultas podem ingerir diariamente uma quantidade de solo até três vezes superior ao seu próprio peso; até mil toneladas de solo seco.ha podem transitar pelo sistema digestivo de uma minhoca num ano e este trânsito resulta numa significativa mineralização do nitrogênio nos excrementos (de 6 a 29 % de incremento) (Lavelle *et al.*, 1998). Em áreas de savanas do México, a densidade de *P. corethrurus*, ingeriu até 300 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de solo (Lavelle & Barois, 1988).

Em Yurimaguas, a inoculação de *P. corethrurus* em vasos contendo solo da capoeira com plântulas de três espécies de frutíferas tropicais, incrementou o Bio-N no solo, particularmente após 90 dias da inoculação das minhocas; também encontraram-se correlações positivas entre a concentração de N-NH₄⁺ e a biomassa de minhocas, enquanto que a nitrificação foi geralmente baixa e a concentração de N-NO₃⁻ foi inferior à de N-NH₄⁺ (Pashanasi *et al.*, 1992). Neste mesmo estudo, verificou-se que as minhocas incrementaram a infecção de raízes por micorrizas vesicular-arbusculares (VAM) (Ydrogo *et al.*, 1995). No trabalho de Araújo *et al.* (2004), as concentrações de N-NH₄ foram sempre mais baixas do que as de N-NO₃, indicando uma nitrificação mais acentuada do N-orgânico com a presença das minhocas. Barois *et al.* (1987), num experimento em laboratório com solo de pastagem, encontraram 2,7 vezes mais N-NH₄ nos excrementos dos *P. corethrurus* do que no solo original.

As espécies nativas de minhocas são difíceis de coletar, já que muitas são partenogênicas (B. Pashanasi, comunicação pessoal) e ainda pouco se conhece sobre a ecologia, distribuição fisiologia e resistência às perturbações. Porém, seu estudo é fundamental para futuras pesquisas, no entanto, o *P. corethrurus* parece estar bem adaptada às mudanças de fatores ambientais do trópico úmido e ser eficientes na mineralização do nitrogênio.

Conclusão

A inoculação dos *P. corethrurus* em experimento de mesocosmos em casa-de-vegetação aumentou consideravelmente as concentrações de nitrato, amônio e N-mineral no solo. As minhocas foram mais ativas no tratamento com a liteira de *Cedrelinga*, espécie de liteira de maior qualidade nutricional e que perdeu mais peso durante o experimento.

Considerações Finais

A elevada produção de biomassa das florestas tropicais úmidas em solos de baixa fertilidade se deve basicamente ao desenvolvimento de mecanismos de conservação e ciclagem de nutrientes. Em florestas nativas diversificadas e em plantios florestais heterogêneos há uma taxa constante de produção de liteira e, conseqüentemente, uma contínua decomposição da mesma, aumentando não somente a disponibilidade de nutrientes, como também a quantidade de matéria orgânica no solo. Nos plantios florestais diversificados, isto beneficia a todas as espécies, reproduzindo uma complexidade de interações que os assemelham às florestas naturais. No entanto, mesmo as plantações florestais deste estudo, em forma de monocultivos, onde a ciclagem de nutrientes fica restrita aos compostos da própria espécie e da idade que apresentam, mostraram um efeito positivo na recuperação do solo, muito melhor que do que na capoeira (sucessão secundária natural diversificada) de idade similar que foi deixada em sistema de pousio.

No capítulo 1, os resultados demonstraram que, a floresta primária apresentou a maior quantidade de liteira acumulada sobre o solo, sendo as folhas o principal componente da liteira na época seca. A liteira acumulada sob o solo estaria garantindo as maiores concentrações e estoques de carbono e nutrientes. As concentrações de carbono na liteira da floresta primária e na capoeira em ambos períodos de coleta (chuvosa e seca) foram baixas, no entanto, as plantações florestais apresentaram concentrações dos nutrientes relativamente altas, principalmente na época chuvosa, sendo que fósforo, potássio e cálcio foram nutrientes importantes nestes sistemas. Os estoques de carbono foram maiores na floresta primária, principalmente na época chuvosa, decrescendo nos quatro tipos de vegetação na época seca. As plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba* apresentaram maiores concentrações de carbono no solo do que a floresta primária e capoeira, principalmente na época seca. A plantação florestal de *Cedrelinga* apresentou altas concentrações e estoques de nitrogênio, possivelmente por estar fixando e liberando este nutriente.

O capítulo 2 apresentou o experimento de decomposição de folhas de *Cedrelinga*, *Simarouba* e a mistura de ambas as espécies em sacos de malha de náilon, onde a perda de peso da liteira de *Cedrelinga* e *Simarouba* foram muito similares nos quatro tipos de vegetação ao longo de todo o processo de decomposição. No entanto, observou-se que a liteira da mistura de ambas as espécies teve uma decomposição ligeiramente mais alta e variável, nos quatro tratamentos, até o final do processo de decomposição. Os principais

eventos biológicos observados no processo de decomposição dentro dos sacos de malha foram a atividade dos cupins e a colonização da liteira pelas raízes finas, observando um maior ataque dos cupins na liteira de *Simarouba*, principalmente aos 150 dias; a maior colonização pelas raízes finas ocorreu na floresta primária, nos três tipos de liteira. Os conteúdos residuais de carbono tiveram uma queda acentuada logo no início (30 dias) do experimento, mantendo-se depois em níveis similares e baixos em todos os tipos de vegetação, até o final do processo de decomposição e coincidindo assim com as taxas de perda de peso da liteira. Os conteúdos residuais de nutrientes nas folhas apresentaram-se muito variáveis no início do processo de decomposição; depois, mantiveram-se similares e baixos, nos quatro tipos de vegetação até o final do experimento.

No capítulo 3, foram avaliadas as densidades, biomassas e diversidades dos macro-invertebrados do solo, nos diferentes tipos de vegetação. A plantação florestal de *Simarouba* foi o sistema que apresentou as mais altas densidades dos macro-invertebrados do solo, com predominância dos grupos sociais (cupins e formigas), garantindo assim uma eficiente colonização e atividade da fauna do solo na decomposição da matéria orgânica e estruturação do solo. A biomassa dos macro-invertebrados foi maior na floresta secundária e primária do que nas plantações florestais de *Cedrelinga* e *Simarouba*, devido principalmente à maior presença dos oligoquetos, que influenciou na biomassa nestes sistemas; estes apresentaram baixas densidades e biomassas nas plantações florestais, com os dois métodos de coleta usados. A maior presença dos macro-invertebrados ocorreu geralmente na camada de liteira e na primeira camada do solo (0-10 cm), em todos os tipos de vegetação amostrados, verificando-se que a maior atividade deles ocorreu nas primeiras camadas do solo. Os macro-invertebrados estão intimamente associados aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, que são de fundamental importância para a manutenção da produtividade das culturas e práticas de manejo utilizadas em um sistema de produção. Assim, os invertebrados do solo, especialmente o grupo dos engenheiros-do-solo são parte de um recurso biológico que precisa ser corretamente manejado nestes ecossistemas.

O capítulo 4 apresentou as relações entre a biomassa dos macro-invertebrados e os estoques de carbono e nutrientes da liteira nos diferentes tipos de vegetação. Formigas, diplópodos e isópodos foram os principais grupos de macro-invertebrados que tiveram relações significativas com a massa da liteira e os estoques de carbono e de nutrientes sobre o solo, principalmente na floresta primária e nas plantações florestais de *Cedrelinga*. Formicidae foi o grupo dos macro-invertebrados do solo que mais teve relações

significativas com a massa total da liteira e seu componente lenhoso, com os estoques de Mg, Ca e as relações C:N e N:P na floresta primária. Os diplópodos foram o segundo grupo mais importante entre os macro-invertebrados, quanto ao número de relações significativas, com o material lenhoso, os estoques de carbono, N, K, Ca, Mg e as bases trocáveis da liteira, na plantação florestal de *Cedrelinga*. Os isópodos tiveram relações significativas com a massa das folhas da liteira, com o estoque de cálcio e as bases trocáveis, na floresta primária e na plantação florestal de *Cedrelinga*. Assim, os isópodos foram considerados como organismos muito importantes no plantio florestal, ao apresentar relações significativas com a massa de folhas da liteira, já que eles são considerados como um dos principais decompositores da matéria orgânica e indicadores de microclima e umidade do solo, tanto em florestas primárias como em SAFs e plantios florestais (Dindal, 1990; Tapia-Coral *et al.*, 1999).

O capítulo 5 apresentou o experimento em casa-de-vegetação sobre o efeito da inoculação de *P. corethrurus* na disponibilidade de N-mineral. A inoculação de *P. corethrurus*, adultos e juvenis, nos mesocosmos aumentaram consideravelmente as concentrações de nitrato, amônio e N-mineral no solo, especialmente no tratamento com as minhocas adultas. Ambos as fases de minhocas (adultos e juvenis) foram mais ativas no tratamento com a liteira de *Cedrelinga*, espécie de liteira que perdeu mais peso durante o experimento de mesocosmos.

Referências Bibliográficas

- Aber, J.D. & Melillo, J.M. 1980. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. *Canadian Journal of Botany*, 58(4):416-421.
- Aber, J.D. & Mellilo, J.M. 1991. *Terrestrial ecosystems*. Philadelphia, USA, Saunders College Publishing. 429 p.
- Adis, J. 1988. On the abundance and density of terrestrial artropods in Central Amazonian dryland forest. *Journal of Tropical Ecology*, 4(1):19-24.
- Alfaia, S.S.; Gomes, J.B.M.; Chaves, J.E.; van Leuween, J.; Siviero, A. 1997. Levantamento nutricional de plantas de cupuaçu em Sistemas Agroflorestais na Amazônia. *XXVI Congresso Brasileiro Ciência do Solo*. CD ROM, artigo 4-265 (5 pág) Software Gráfico Ltda. RJ.
- Alfaia, S.; Ribeiro, G.A.; Nobre, A.D.; Luizão, R.; Luizão, F. 2002. Avaliação da fertilidade do solo em sistemas agroflorestais comparada com outros sistemas de uso da terra. *In: IV Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, Anais*, Ilhéus, CD-ROM.
- Amelung, W.; Martius, C.; Bandeira, A.G.; Garcia, M.V.B.; Zech, W. 2002. Lignin characteristics and density fractions of termite nests in an Amazonian rain forest – indicators of termite feeding guilds?. *Soil Biology and Biochemistry*, 34:367-372.
- Anderson, J.M. 1988. Spatio-temporal effects of invertebrates on soil processes. *Biology and Fertility of Soils*, 6:216-227.
- Anderson, J.M. & Ingram, J.S. 1989. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods*. 1ª ed. C.A.B. International, Oxford, UK.
- Anderson, J.M. & Ingran, J.S. 1993. *Tropical biology and fertility, a handbook of methods*. 2ª ed. Wallinford: Commonwealth Agricultural Bureau. 221 p.
- Anderson, J.M.; Leonard, M.A.; Ineson, P.; Huish, S. 1985. Faunal biomass: A key component of a general model of nitrogen mineralisation. *Soil Biology and Biochemistry*, 17:735-737.
- Anderson, J.M. & Swift, M.J. 1983. Decomposition in tropical rain forests. *In: Sutton, S.L.; Chadwick, A.C.; Whitmore, T.C. (Eds.). The Tropical Rain Forest: Ecology and Management*. Oxford, UK: Blackwell. pp. 287-309.

- Araujo-Vergara, Y.M. 2000. *Oligoquetos Sob Adição de Ladeira e sua Relação com a Disponibilidade de Nitrogênio em Solos de Capoeira na Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado. INPA/UFAM. Manaus, AM. 88 p.
- Araujo-Vergara, Y.M.; Luizão, F.; Barros, E. 2003. Effect of earthworm addition on soil nitrogen availability, microbial biomass and litter decomposition in mesocosms. *Biology and Fertility of Soils*, In Press.
- Arguello-Arias, H. 1996. Dinámica de la producción y descomposición del mantillo en el bosque muy húmedo tropical del bajo calima, en el departamento del Valle del Cauca. *Agronomía Colombiana*, 13(2):198-214.
- Artaxo, P.; Andreae, M.O.; Guenther, A.; Rosenfeld, D. 2001 Unveiling the lively Atmosphere-Biosphere interactions in the Amazon. *Global Change News Letter*, 45:12-15.
- Aquino, A.M. 1999. Meso e Macrofauna do solo e sustentabilidade agrícola: perspectivas e desafios para o século. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Anais. Palestra 504.b. CD-Rom. Brasília.
- Ayuke, O.F. 1998. Diversity, abundance and functions of soil fauna in relation to quality of organic residues. In: *The Biology and Fertility of Tropical Soils Report*. pp. 52-55.
- Babbar, L.I. & Ewel, J.J. 1989. Decomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. *Biotropica*, 21:20-29.
- Bandeira, A.G. 1979. Ecologia de cupins (Insecta: Isoptera) da Amazônia central: efeitos do desmatamento sobre as populações. *Acta Amazônica*, 9:481-499.
- Bandeira, A.G. & Harada, A.Y. 1991. Cupins e Formigas na Amazônia. In: Val, A.L.; Figliuolo, R.; Feldberg, E. (Eds.). *Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia: Fatos e Perspectivas*. Vol.1., Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, pp: 387-395.
- Bandeira, A.G. & Harada, A.Y. 1998. Densidade e distribuição vertical de macroinvertebrados em solos argilosos e arenosos na Amazônia central. *Acta Amazônica*, 28(2):191-204.
- Bandeira, A.G. & Torres, M.F.P. 1985. Abundância e distribuição de invertebrados do solo em ecossistemas da Amazônia Oriental. O papel ecológico dos cupins. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi*, sér. Zool., 2(1):13-38.

- Barbosa, R.I. & Fearnside, P.M. 1996. Carbon and nutrient flows in an Amazonian forest: Fine litter production and composition at Apiaú, Roraima, Brasil. *Tropical Ecology*, 37(1):115-125.
- Barbosa, R.I. & Fearnside, P.M. 2000. Erosão do solo na Amazonia: Estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. *Acta Amazônica*, 30(4):601-613.
- Barnes, D.R. 1984. Zoologia dos invertebrados. 4ª Edição, Pennsylvania. Roca. 1179 p.
- Barois, I.; Verdier, B.; Kaiser, P.; Lavelle, P.; Mariotti, A. 1987. Influence of the tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) on the fixation and mineralization of nitrogen. In: Bonvicini, A.M.; Omodeo, P. (Eds). *On Earthworm*. pp. 151-159.
- Barros, E. 1999. Effet de la Macrofaune Sur la Structure et les Processus Physiques du Sol de Paturages Degradés D'Amazonie. Thèse de Doctorat de L'Université Paris VI. France. 127 pp.
- Barros, E.; Pashanasi, B.; Constantino, R.; Lavelle, P. 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biol Fertil Soils*, 35:338-347.
- Barros, E.; Neves, A.; Blanchart E.; Fernandes, E.C.M.; Wandelli, E.; Lavelle, P. 2003. Soil macrofauna community of Amazonian Agroforestry Systems. *Pedobiologia*, 47(3):267-274.
- Beck, L. & Gasparotto, L. 2000. Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forest and a mixed culture system in Amazonia. *Shift Project ENV 052. Final Report 1996-1999*. Karlsruhe, 291 p.
- Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133:13-22.
- Bernhard-Reversat, F. 1993. Dynamics of litter and organic matter at the soil-litter interface in fast-growing tree plantations on sandy ferrallitic soil (Congo). *Acta Oecologica*, 14(2):179-195.
- Bincley, D.; Giardina, C.; Bashkin, M.A. 2000. Soil phosphorous pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia falcataria*. *Forest Ecology and Management*, 128:241-247.
- Blair, J.M. 1988. Nutrient release from decomposing foliar litter of tree species with special reference to calcium, magnesium and potassium dynamics. *Plant and Soil*, 110:49-55.
- Bocock, K.L. & Gilbert, O.J.W. 1957. The disappearance of litter under different woodland conditions. *Plant and Soil*, 9(2): 179-185.

- Brown, S.; Lugo, A.E.; Chapman, J. 1986. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. *Canadian Journal Forest Research*, 16:390-394.
- Brown, G.; Pashanasi, B.; Gilot, C.; Patron, J.C.; Senapati, B.K. Giri, S.; Barois, I.; Lavelle, P.; Blakemore, A.V.; Spain, A.V.; Boyer, J. 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: Lavelle, P.; Brussard, L.; Hendrix, P. (Eds.). *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*. CAB International UK. pp 87-147.
- Chauvel A.; Grimaldi, M.; Barros, E.; Blanchart, E.; Sarrazin, M.; Lavelle, P. 1999. An Amazonian earthworm compacts more than a bulldozer. *Nature*, 398:32-33.
- Chen, J.; Saunders, S.C.; Crow, T.R.; Naiman, R.J.; Brosofske, K.D.; Mroz, G.D.; Brookshire, B.L.; Franklin, J.F. 1999. Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology. *BioScience*, 49:288-297.
- Claussi, A.; Marmillod, D.; Blaser, J. 1992. *Descripción silvicultural de las plantaciones forestales de Jenaro Herrera*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera. Iquitos, Perú. 225 p.
- Coinneau, Y. 1974. Introduction A L'étude des microarthropodes du sol et de Ses Annexes.
- Coleman, D.C.; Reid, C.P.P.; Cole, C.V. 1983. Biological strategies of nutrient cycling in soil systems. *Advance Ecology Research*. 13:1-55.
- Collins, N.M. 1983. Termite populations and their role in litter removal in Malaysian rain Forest. In: Sutton, S.L.; Whitmore, T.C.; Chadwick, A.C. (Eds.). *Tropical rain forest: ecology and management*. Blackwell Scientific, Oxford, England. pp. 311-325.
- Constantinides, M. & Fownes, J.H. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(1):49-55.
- Cornu, S.; Luizão, F.; Rouiller, J.; Lucas, Y. 1997. Comparative study of litter decomposition and mineral element release in two Amazonian Forest ecosystem: litter bag experiments. *Pedobiologia*, 41:456-471.
- Corrêa, J.C. & Corrêa, A.F.F. 1996. Ciclagem de nutrientes em uma plantaçao de jacarandá-da-baía (*Dalbergia nigra* Fr. Allem.) consorciado com desmódio (*Desmodium ovalifolium* Wall). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31(7):467-472.
- Correia, M.E.F.; Faria, S.M. de. 1996. Variação sazonal da comunidade de macroartrópodos edáficos sob plantios de duas leguminosas arbóreas. *XIII*

- Congresso Latino-americano de Ciência do Solo*, 1996. CD ROM, artigo, 03-072 (4 pág.) Software Gráfico Ltda. Campinas, SP.
- Cortez, T.I. 2003. *Relação entre a biomassa dos grupos funcionais da macrofauna e o volume de macro-poros do solo na área de influência de plantas perenes de sistemas agrossilviculturais na Amazônia central*. Dissertação de Mestrado, INPA/UFAN. 75 p.
- Costa, E.S.; Luizão, R.C.; Luizão, F. 1998. Soil microbial biomass and organic carbon in reforested sites degraded by bauxite mining in the Amazon. *Advances in GeoEcological* 31:443-450.
- Costa, E.S.; Luizão, F.J.; Luizão, R.C.; McMillan, A. 2002. Litter layer dynamics and soil microbial biomass in reforested areas after degradation by bauxite mining in eastern Amazon. In: Reddy, M.V. (Ed.). *Management of tropical plantation-forest and their soil litter system*. Chapter 6, pp. 129-147.
- Crossley, Jr.D.A.; Mueller, B.R.; Perdue, J.C. 1992. Biodiversity of microarthropods in agricultural soils: relations to processes. *Agriculture , Ecosystems and Environment*, 40:37-46.
- Couteaux, M.; Bottner, P.; Berj, B. 1995. Litter decomposition climate and litter quality. *Tropical Ecology Evolution*, 10:63-66.
- Dantas, M. 1979. Pastagens da Amazônia Central: Ecologia e fauna do solo. *Acta Amazônica supl.*, 9(2):5-54.
- Dantas, M. & Phillipson, J. 1989. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian 'terra firme' rain forest. *Jour. Trop. Ecol.*, 5:27-36.
- Decaens, T.; Lavelle, P.; Jiménez Jaen, J.J.; Escobar, G.; Rippstein, G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *European Journal Soil Biology*, 30(4):157-168.
- Decaens, T.; Rangel, A.F.; Asakawa, N.; Thomas, J. 1999. Carbon and nitrogen dynamics in ageing earthworm casts in grassland of the Eastern Plains of Colombia. *Biology Fertility and Soils*, 30:20-28.
- Decaens, T.; Jiménez, J.J.; Rangel, A.F.; Cepeda, A.; Moreno, A.G.; Lavelle, P. 2001. La Macrofauna del suelo em la sabana bien drenada de los llanos orientales. In: Rippstein, G.; Escobar, G.; Motta, F. (Eds.). *Agroecologia y Biodiversidad de las Sabanas em los Llanos Orientales de Colombia*. CIAT. pp. 111-137.
- Desjardins, T.; Lavelle, P.; Barros, E.; Brossard, M.; Chapuis-Lardy, L.; Chauvel, A.; Grimaldi, M.; Guimarães, F.; Martins, P.; Mitja, D.; Muller, M.; Sarrazin, M.;

- Tavares Filho, J.; Topall, O. 2000. Dégradation des pâturages amazoniens. *Étude et Gestion des Sols* 7: 353-378.
- Dindal, D.L. (Ed.). 1990. *Soil Biology Guide*. John Wiley & Sons. New York. 1349 p.
- Dresch, P. 2003. *Influência da Pueraria phaseoloides sobre a transformação microbiana do nitrogênio do solo nos sistemas agroflorestais do projeto RECA em Nova Califórnia – RO*. Dissertação de mestrado, INPA/UFAM. 53 p.
- Dunisch, O.; Erbreich, M.; Eilers, T. 2002. Nutrient fluxes and growth of *C. guianensis* Aubl. in two plantation systems in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*, 166:55-68.
- Dunxiao, H.; Chunru, H.; Yaling, X.; Banwang, H.; Liyuam, H.; Paoletti, M.G. 1999. Relationship between soil arthropods and soil properties in a Suburb of Qianjiang City, Hubei, China. *Critical Reviews in Plants Sciences*, 18(3):467-473.
- EEC, 1994. Project “Dynamics of soil organic matter in the Amazon ecosystem and after deforestation: Bases for efficient agricultural management”. ORSTOM/CNRS-CPB/CSIC/CENA/INPA. Final Report. Brussels. pp. 43-46.
- Edwards, C.A. 1974. Macroarthropods. In: Dickinson, D.H. & Pugh, G.J.F. (Eds.). *Biology of Plant Litter Decomposition*. Academic Press. London. v. 1. pp. 188-195.
- Edwards, C.A. 1979. Macroarthropods. In: Dickinson, D.H. & Pugh, G.J.F. (Eds.). *Biology of Plant Litter Decomposition*. Academic Press. London. v. 2.
- Ellwood, M.D.F.; Jones, D.T.; Foster, W.A. 2002. Canopy ferns in lowland dipterocarp forest support a prolific abundance of ants, termites, and other invertebrates. *Biotropica*, 34(4):575-583.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ. (EMBRAPA – CNPS. Documentos; 1). 212 p.
- Ewel, J.J. 1986. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Annual Reviews in Ecology and Systematics*, 17:245-271.
- Fagundes, P.E. 2003. Efeitos de fatores do solo, altitude e inclinação do terreno sobre os invertebrados da serrapilheira, com ênfase em Formicidae (Inseta, Hymenoptera) da Reserva Ducke, Manaus, Am. Brasil. Dissertação de Mestrado. INPA/UFAM. 69 p.
- Fassbender H.W.; Alpizar, L.; Heuvelop, J.; Foster, H.; Enríquez, G. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems*, 6:46-62.

- Fearnside, P.M. 1992. Agroforestry in Brasil's Amazonian development policy: The role and limits of a potential use for degraded lands. In: Aragón, L.E. (Ed.). *Desenvolvimento Sustentável nos Trópicos Úmidos*. (série Cooperação Amazônica, vol.2. N°13) Associação das Universidades Amazônicas (UNAMAZ/Universidade Federal do Pará-UFPA), Belém. pp. 427-433.
- Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80(1-3):21-34.
- Fearnside, P.M. 1997. Amazonie: la deforestation repart de plus belle. La destruction de la forêt dépend étroitement des choix politiques. *La recherche*, 294 :44-46.
- Fearnside, P.M. 2000. Greenhouse gas emissions from land use change in Brazil's Amazon region. In: Lal, R.; Kimble, J.M.; Stewart, B.A. (Eds). *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Advances in soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 231-249.
- Feijoo, A.M. 2001. *Impacto del uso de la tierra en áreas de laderas sobre comunidades de macrofauna del suelo (Caldono, Cauca, Colombia)*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia. 196 p.
- Feijoo, A.M.; Bronson Knapp, E.; Lavelle, P.; Moreno, A.G. 1999. Quantifying soil macrofauna in a Colombian watershed. *Pedobiologia*, 43:513-517.
- Fernandes, E.C.M.; Neves, E.J.M.; Matos, J.C.S. 1994. Agrofloresta, capoeiras manejadas e plantações florestais para reabilitação de áreas desmatadas na Amazônia Brasileira. In: *Forestry for Development: Policy, Environment, Technology and Markets. Proceedings of the 1st Panamerican Forestry Congress*. Brazilian Society of Silviculture and Brazilian Society of Foresters, São Paulo, pp. 96-101.
- Fittkau, E.J. & Klinge, H. 1973. On biomass and trophic structure of the Central Amazonian rain forest. *Biotropica*, 5(1):2-14.
- Fragoso, C. & Lavelle, P. 1987. *The earthworm community of a mexican tropical rain forest (Chajul, Chiapas)*. In: Bonvicini, A.M. & Omodeo, P. (Eds.). *On Earthworms*. Selected Symposia Monographs U.Z.I., 2, Mucchi, Modena, Italy, 281-295.
- Fragoso, C. & Lavelle, P. 1995. Are earthworms important in the decomposition of tropical litter? In: Reddy, M.V. (Ed.) *Soil organisms and litter decomposition in the tropics*. pp. 103-112.

- Fragoso, C. & Rojas, P. 1994. Soil biodiversity and land management in the tropics. The case of ant and earthworms. In: Etchevers, J.D. (Ed.). Transactions of the 15th World Congress of Soil Science. Vol. 4a. Commission III, ISSA, Acapulco, pp. 232-237.
- Fragoso, C.; Brown, G.G.; Patrón, J.C.; Blanchart, E.; Lavelle, P.; Pashanasi, B.; Senapati, B.; Kumar, T. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agrosystem function in the tropics: role of earthworm. *Applied Soil Ecology*, 6:17-35.
- Franken, W.; Leopoldo, P.; Bergamin, H. 1985. Nutrient flow through natural waters in "Terra Firme" forest in Central Amazon. *Turrialba*, 35 (4):383-393.
- Gallardo-Ordinola, J.E.L. 1999. *Produção e qualidade da liteira em sistemas agroflorestais e seu efeito sobre as propriedades químicas do solo*. Dissertação de Mestrado. INPA/FUA. 72p.
- Gama-Rodrigues, A.C. & Barros, N.F. de 1996. Biomassa e nutrientes da serrapilheira e do solo sob plantios puros e misto de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. *XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. CD ROM, artigo 04-185 (4 pág) Software Gráfico Ltda. Campinas, SP.
- Gama-Rodrigues, A.C.; Barros, N.F.; Mendonça, E.S. 1999. Alterações edáficas sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:581-592.
- Gama-Rodrigues, A.C.; Barros, N.F.; Santos, M.L. 2003. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1021-1031.
- Garay, I.; Kindel, A.; Carneiro, R.; Franco, A.A.; Barros, E.; Abbadie, L. 2003. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acácia mangium* e *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:705-712.
- González, G. & Seastedt, T.R. 2001. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forest. *Ecology*, 82:955-9564.
- Gosz, J.R.; Likens, G.E.; Bormann, F.H. 1976. Organic matter and nutrient dynamics of the forest floor in the Hubbard Brook Forest. *Oecologia*, 22:305-320.
- Grace, J.; Lloy, J.; McIntyre, J.; Miranda, A.C.; Meir, P.; Miranda, H.C.; Nobre, C.; Moncrieff, J.; Massheder, J.; Malhi, Y.; Wright, I.; Gash, J. 1995. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science*, 270:778-780.

- Guerra, R.T.; Asakawa, N. 1981. Efeito da presença e do número de *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) sobre a população total de microorganismos do solo. *Acta Amazônica*, 11(2):319-324.
- Guerra, R.T. 1982. *Influência de Pontoscolex corethrurus* (Muller, 1857) (Glossoscolecidae, Oligochaeta) na absorção de fósforo pelas plantas utilizando ^{32}P como traçador. Dissertação de Mestrado. INPA/UFAM. 82 p.
- Guimarães, R.L. 2003. *Topografia, serapilheira e nutrientes do solo: análise dos seus efeitos sobre a mesofauna do solo na Reserva Florestal Adolfo Ducke, Manaus Am, Brasil*. Dissertação de Mestrado. INPA/UFAM. 81p.
- Haag, H.P. 1985. Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Campinas: Fundação Cargill, 144 p.
- Heal, O.W.; Anderson, J.M.; Swift, M.J. 1997. Plant litter quality and decomposition an historical overview. In: Cadish, G. & Giller, K.E. (Eds). *Driven by nature: plant litter and quality decomposition*. CAB International UK. pp: 3-30.
- Hendershot, W.H.; Lalande, H.; Duquette, M. 1993. Soil reaction and exchangeable acidity. In: Carter, M.R. (Ed.). *Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publishers, USA. Chapter 16, p. 141-145.
- Heneghan, L.; Coleman, D.C.; Zou, X.; Crossley, Jr.D.A.; Haines, B.L. 1999. Soil microarthropod contributions to decomposition dynamics: tropical-temperate comparisons of a single substrate. *Ecology*, 80:1873-1882.
- Herrera, R.; Jordan, D.; Klinge, H.; Medina, E. 1978. Amazon ecosystems. Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia*, 3:223-232.
- Heuvelop, J.; Feassbender, H.W.; Alpizar, L.; Enriquez, G.; Folster, H. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems*, 6:37-48.
- Higuchi, N.; Santos, J. dos.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea de vegetação de floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazônica*, 28:153-166.
- Höfer, H. & Luizão, F. 1999. Decomposition in litterbags and mini-containers. Shift Project ENV52. Soil Fauna and Litter Decomposition. Final Report (1996-1999). pp. 217-229.

- Höfer, H.; Martius, C.; Beck, L. 1996. Decomposition in an Amazonian rain forest after experimental litter addition in small plots. *Pedobiologia*, 40:570-576.
- Höfer, H.; Hanagarth, W.; Garcia, M.; Martius, C.; Franklin, E.; Rombke, J.; Beck, L. 2001. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *European Journal Soil Biology*, 37:1-7.
- Hopkin, S.P. & Read, H.J. 1992. *The Biology of Millipedes*. Oxford Science Publications, 233 p.
- ICRAF (International Centre for Research in Agroforestry). *Annual Report*. 1996. Nairobi. Kenya. pp. 39-69.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). 1997. *Compendio Estadístico de la Actividad Forestal del Perú*. Proyecto Monitoreo de la Deforestación en la Amazonía Peruana. DGFF. Lima. Perú. 77 p.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2001. Amazonia: Deforestation 1995-1997. São José dos Campos, SP. Brasil. Documento consultado via Internet (www.inpe.gov.br).
- Jimenez, J.J.; Moreno, A.G.; Lavelle, P.; Decaens, T. 1998. Population dynamics and adaptative strategies of *Martiodrilus carimaguensis* nov. sp. (Oligochaeta, Glossoscolecidae), a native species from the well-drained savannas of Colombia. *Applied Soil Ecology*, 9(1-3):153-160.
- Jones, C.G.; Lawton, J.H.; Shachak, M. 1994a. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69:373-386.
- Jones, C.G.; Lawton, J.H.; Shachak, M. 1994b. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, 78(7):1946-1957.
- Jordan, C.F. & Herrera, R. 1981. Tropical rain forests: are nutrients really critical?. *The American Naturalist*, 117(2):167-180.
- Jordan, C.F. & Stark, N. 1978. Retención de nutrientes en la estera de raíces de un bosque pluvial amazónico. *Acta Cient. Venezolana*, 29(4):263-267.
- Kalliola, R. & Puhakka, M. 1993. Geografía de la selva baja peruana. In: Kalliola, R. & Danjoy, W. (Eds.). *Amazonía Peruana. Vegetación húmeda tropical en el llano subandino*. PAUT y ONERN, Jyvaskyla. pp. 9-21.
- Kang, B.T.; Akinnifesi, K.; Pleysier, J.L. 1994. Effect of agroforestry woody species on earthworm activity and physiochemical properties of worm casts. *Biology Fertility and Soils*, 18:193-199.

- Kato, A.K. 1995. *Dinâmica da Entrada de Nutrientes via Littera em Plantios de Castanheira-do-Brasil (Bertholletia excelsa H.B.K.) em Ecossistemas de Pastagens Degradadas e de Floresta Primária*. Tese de Doutorado. INPA/FUA. Manaus-AM. 180 p.
- Klinge, H. 1973. Biomasa y materia orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva centro amazônica. *Acta Científica Venezolana*, 24:174-181.
- Klinge, H. 1977. Fine litter production and nutrient return to the soil in three natural forests stands in eastern Amazon. *Geo. Ecol. Trop.*, 1:159-167.
- Klinge, H. & Rodrigues, W.A. 1968. Litter production in an área of Amazonian terra firme Forest. Part I and II. *Amazoniana*, 1:287-303.
- Koroleff, F. 1976. Determination of ammonia. In: K. Grasshoff, (Ed.). *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie, pp. 126-133.
- Langenbach, T.; Inácio, M.V.S.; Aquino, A.M.; Brunninger, B. 2002. Influência da minhoca *Pontoscolex corethrurus* na distribuição do acaricida dicofol em um Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(11):1663-1668.
- Lavelle, P. 1978. *Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire): peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème*. PhD. Thesis. Université Paris VI. 301 p.
- Lavelle, P. 1984. The Soil System in the Humid Tropics. *Biology International*, 9:2-15.
- Lavelle, P. 1988. Assessing the abundance and role of invertebrate communities in tropical soils: Aims and methods. In: Ghabbour, S.I. & Davis, R.C. (Eds.). *Proceedings of the Seminar on Resources of Soil Fauna in Egypt and Africa*. Cairo, 16-17 April 1986. *Revue Zool.Afr – J. Afr. Zool.*, 102: 275-283.
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. *Advances Ecological Research*, 27:93-132.
- Lavelle, P. 2002. Functional domains in soils. *Ecological Research*, 17:441-450.
- Lavelle, P. & Barois, I. 1988. Potential use of earthworms in tropical soils. In: Edward, C.A.; Neuhauser, E.F. (Eds). *Earthworms in waste and environmental management*. SPB Academic Publishing. The Netherlands. pp. 273-279.
- Lavelle, P. & Pashanasi, B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia*, 33:283-291.
- Lavelle, P. & Martin, A. 1992. Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:1491-1498.

- Lavelle, P. & Spain, A.V. 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Scientific Publications, Amsterdam. 654 p.
- Lavelle, P.; Barois, I.; Fragoso, C.; Cruz, C.; Hernandez, A.; Pineda, A.; Rangel, P. 1987. Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics. *Biology and Fertility of Soils* 5:188-194.
- Lavelle, P.; Spain, A.V.; Blanchart, E.; Martin, A.; Martin, S. 1992. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. In: Myths and Science of Soils of the Tropics. SSSA Special Publication. Madison Wisconsin, pp. 157-185.
- Lavelle, P.; Blanchart, E.; Martin, A.; Martin, S.; Spain, A.; Toutain, F.; Barois, I.; Schaefer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems. Application to soils in the humid tropics. *Biotropica*, 25(2):130-150.
- Lavelle, P.; Dangerfield, M.; Fragoso, C. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: Swift, M.J.; Wooper, P. (Eds). *Tropical Soil Biology and Fertility*. Jhon Wiley Sayce. New York. pp. 137-169.
- Lavelle, P.; Barois, I.; Blanchart, E.; Brown, G.; Brussaard, L.; Decaens, T.; Fragoso, C.; Jiménez, J.J.; Kajondo, K.; Martinez, M.A.; Moreno, A.; Pashanasi, B.; Senapati, B.; Villenave, C. 1998. Las lombrices como recurso en los agrosistemas tropicales. *Naturaleza y Recursos*, 34(1):28-44.
- Lavelle, P.; Barros, E.; Blanchart, E.; Brown, G.; Desjardins, T.; Mariani, L.; Rossi, J.P. 2001. SOM management in the tropics: Why feeding the soil macrofauna?. *Nutrient Cycling in Agrosystems*, 61:53-61.
- Lavelle, P.; Senapati, B.; Barros, E. 2003. Soil Macrofauna. In: Schroth, G. & Sinclair, F.L. (Eds.) *Trees, Crops and Soil Fertility: concepts and research methods*. Chapter 16, pp. 303-323.
- Lean, J.; Bunton, C.B.; Nobre, C.A.; Rowntree, P.R. 1996. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (Eds). *Amazonian Deforestation and Climate*. Wiley, Chichester, Reino Unido. pp. 549-576.
- Lee, K.E. 1985. *Earthworm: Their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press, Sydney, 411 p.
- Lee, K.E. & Wood, T.G. 1971. Physical and chemical effects on soils of some Australian termites, and their pedological significance. *Pedobiologia*, 11:376-409.

- Lehmann, J.; Schroth, G.; Zech, W. 1995. Decomposition and nutrient release from leaves, leaves, twigs and roots of three alley-cropped tree legumes in central Togo. *Agroforestry Systems*, 29:21-36.
- Lehmann, J. & Schroth, G. 2003. Nutrient leaching. In: Schroth, G. & Sinclair, F.L. (Eds.). *Trees, Crops and soil fertility: concepts and research methods*. Chapter 7, pp. 151-166.
- Leitão, da S.P.; Teixeira, B.L.; Junior, B.S.; Sommer, R. 1998. Soil fauna activity in natural and improved secondary vegetation (capoeira). In: Proceedings of the Third Shift-Workshop Manaus, Am. pp. 145-149.
- Lewis, S.L.; Phillips, O.L.; Baker, T.R.; Lloyd, J.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Higuchi, N.; Laurance, W.F.; Neill, D.; Silva, N.; Terborgh, J.; Lezama, A.T.; Vásquez, M.R.; Brown, S.; Chave, J.; Kuebler, C.; Nuñez, P.; Vinceti, B. 2004. Concerted changes in tropical forest structure and dynamics: evidence from 50 South American long-term plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Series B* (in press).
- Lugo, A.E.; Cuevas, E.; Sanchez, M.J. 1990. Nutrient and mass in litter and top soil of ten tropical tree plantations. *Plant and Soil*, 125:263-280.
- Luizão, F.J. 1982. *Produção e Decomposição da Littera em Floresta de Terra Firme da Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado. PPG INPA/FUA. 111 p.
- Luizão, F.J. 1989. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *GeoJournal*, 19:407-417.
- Luizão, F.J. 1995. *Ecological Studies in Contrasting Forest Types in Central Amazonia*. Ph. D. thesis. University of Stirling, Stirling, UK. 288 p.
- Luizão, F.J. & Schubart, H.O.R. 1987. Litter productions and decomposition in a terra-firme of central Amazonian. *Experientia* 43:259-265 p.
- Luizão, F.; Luizão, R.; Chauvel, A. 1992. Premiers résultats sur la dynamique des biomasses racinaires et microbiennes dans un latosol d'Amazonie centrale (Brésil) sous forêt et sous pâturage. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVII, 1: 69-79.
- Luizão, F.J.; Proctor, J.; Thompson, J.; Luizão, R.C.C.; Marrs, R.H.; Scott, D.A.; Viana, V. 1998. Rain forest on Maracá island, Roraima, Brazil: soil and litter process response to artificial gaps. *Forest Ecology and Management*, 102:291-301.
- Luizão, R. 1994. *Soil biological studies in contrasting types of vegetation in Central Amazonian rain forest*. Ph. D. thesis. University of Stirling, Stirling, UK. 204 p.

- Luizão, R.C.C.; Luizão, F.J.; Paiva, R.Q.; Monteiro, T.F; Souza, L.S. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology* (LBA Special Issue) (In press).
- Malhi, Y.; Nobre, A.D.; Grace, J.; Kruijt, B.; Pereira, M.G.P.; Culf, A.; Scott, S. 1998. Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 103,31:593-612.
- Maynard, D.G. & Kalra, Y.P. 1993. Nitrate and exchangeable ammonium nitrogen. In: Carter, M.R. (Ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, USA. pp. 25-38.
- McGrath, D.A.; Duryea, M.L.; Cropper, W.P. 2001. Soil phosphorus availability and fine root proliferation in Amazonian agroforestry 6 years following forest conversion. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 83, 271-284.
- Mckerrow, A.J. 1992. *Nutrient Stocks in Abandoned Pastures of the Central Amazon Basin Prior to and Following Cutting and Burning*. MSc. thesis. North Carolina State University, Raleigh, USA. 116 p.
- Magalhães, L.M.S. 1979. Exploração florestal na Amazônia. *Acta Amazonica, supl.*, 9(4):141-146.
- Malhi, Y. & Grace, J. 2000. Tropical forest and atmosphere carbon dioxide. *Trends Ecological Evolutions*, 15:332-337.
- Martius, C. 1994. Diversity and ecology of termites in Amazonian forest. *Pedobiologia*, 38: 407-428.
- Mason, C.F. 1980. *Decomposição*. Ed. da Universidade de São Paulo. 63 p.
- Melillo, J.M.; Aber, J.D.; Muratore, J.F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, 63:621-626.
- Mesquita, R.C.G., Workman, S.W., Neely, C.L. 1998. Slow litter decomposition in a *Cecropia*-dominated secondary forest of Central Amazonia *Soil Biol. Biochem.*, 30(2):167-175.
- Morais, J.W.; Franklin, E.; Luizão, F. 1999. Invertebrados em Litter-Bags. Shift Project ENV52. Soil Fauna and Litter Decomposition. Final Report (1996-1999). pp. 230-255.
- Morais, R.R. de. 2003. *Ecofisiologia de espécies arbóreas crescidas sob condições de plantios na Amazônia central*. Teses de Doutorado, INPA/UFAM. 158 p.

- Montagnini, F., Ramstad, K., Sancho, F. 1993. Litterfall, litter decomposition and the use of mulch of four indigenous tree species in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 23:39-61.
- Mota, M.S.S. 2003. *Relação entre a qualidade nutricional da liteira e a disponibilidade de nutrientes para as plantas em sucessão secundária na Amazônia central*. Teses de Doutorado. INPA/UFAM. 81 p.
- Muller, A.A. 1987. Avaliação de leguminosas para cobertura de solos em dendezaís. EMBRAPA/UEPAE. Belém. 3 p.
- Myers, N. 1992. *The primary source: Tropical forests and our future*. 2 ed. W.W. Norton, New York. 416 p.
- Nascimento, A.R. & Barros, E. 2003. Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais e floresta na Amazônia ocidental (RO). XII Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA. 09-11 de Julho. Manaus, Am.
- Nebel, G ; Dragsted, J.; Salazar, V.A. 2001. Litter fall, biomass and net primary production in flood plain forests in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 150(1-2):93-102.
- Nelson, D.W. & Sommers, L.E. 1982. Total carbon organic carbon and organic matter. In: Black, C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy*. Madison, WI, USA. pp. 570-571.
- Nemeth, A. & Herrera, R. 1982. Earthworm populations in a Venezuela tropical rain forest. *Pedobiologia*, 23:437-443.
- Nussbaumerr, U.; Ascher, J.; Kraft, A.; Insam, H. 1997. Litter decomposition of a tropical understory species (*Ctenanthe lubbersiana*) grown under ambient and elevated CO₂. *Acta Oecologica*, 18:377-381.
- Oliveira, E.P. & Franklin, E. 1993. Efeito do fogo sobre a mesofauna do solo. Recolonização de áreas queimadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28(3):357-369.
- Oliveira, L.A.; Guitton, T.L.; Moreira, F.W. 1999. Relações entre as colonizações por fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes foliares em oito espécies florestais da Amazônia. *Acta Amazonica*, 29(2):183-193.
- Olsen, S.R. & Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: Black, C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of Agronomy*. Madison, WI, USA. pp. 403-430.

- Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44:322-331.
- Palm, C.A. & Sanchez, P.A. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biology and Biochemistry*, 23:83-88.
- Parrotta, J.A.; Turnbull, J.W.; Jones, N. 1997. Catalyzing native Forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, 99(1-2):1-7.
- Parton, W.J.D.; Sandford Jr., R.L.; Sanchez, P.A.; Stewart, J.W.B. 1989. Modeling soil organic matter dynamics in tropical soils. In: Coleman, D.C., Oades, J.M.; Uehara, G. (Eds.). 1989. *Dynamics of Soil Organic Matter In Tropical Ecosystems*, University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii, pp. 153-171.
- Pashanasi, B. 2002. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía Peruana. *Folia Amazonica*, 12(1-2):75-97.
- Pashanasi, B.; Melendez, G.; Szott, L.; Lavelle, P. 1992. Effect of inoculation with the endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae) on N availability, soil microbial biomass and the growth of three tropical fruit tree seedlings in a pot experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12):1655-1659.
- Pashanasi, B.; Lavelle, P.; Alegre, J. 1994. Efecto de lombrices de tierra (*Pontoscolex corethrurus*) sobre el crecimiento de cultivos anuales y características físicas y químicas em suelos de Yurimaguas. *Folia Amazônica*, 6(1-2):5-45.
- Pellens, R. & Garay, I. 1999. Edaphic macroarthropod communities in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maid (Myrtaceae) and *Acacia mangium* Wild (Leguminosae) in Brazil. *European Journal of Soil Biology*, 35(2):77-89.
- Pesquisa FAPESP, 2003. Fluxo Invertido: Após sucessivas ocorrências do El Niño nos anos 90, a Floresta Nacional de Tapajós libera mais gás carbônico do que absorve. *Pesquisa FAPESP*, 88:50-51.
- Petersen, H. & Luxton, M. 1982. A survey of the main animal taxa of detritus food web. *Oikos*, 39(3):293-294.
- Pires, J.M. & Prance, G.T. 1985. *The vegetation types of the Brazilian Amazon*. In: Prance, G.T. & Lovejoy, T.E. (Eds.). *Key Environments: Amazonia*, pp. 109-145.
- Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Laurance, W.F.; Nunez, P.; Vasquez, R.; Laurance, S.G.; Ferreira, L.; Stern, M.S.; Brown & Grace, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plots. *Science*, 282:439-442.

- Proctor, J. 1983. Tropical forests litterfall. I. Problems of data comparison. In: Sutton, L. S.; Whitmore, T.C.; Chadwick, A.C. (Eds). Tropical Rain Forest: Ecology and Management. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 267-273.
- Rangel, A.F.; Thomas, R.J.; Jiménez, J.J.; Decaens, T. 1999. Nitrogen dynamics associated with earthworm casts of *Martiodrilus carimaguensis* Jiménez and Moreno in a Colombian savanna Oxisol. *Pedobiologia*, 43:557-560.
- Quisen, R.C.; Souza, V.F.; Castilla, C. 1996. Teste de sistemas agroflorestais para solos de baixa fertilidade. II. Avaliação da biomassa de liteira sob o solo. In: *IV Simpósio Internacional sobre Ecossistemas Florestais*. FOREST'96. 13-16 agosto, Belo Horizonte, MG. pp. 347-348.
- Recco, R.D.; Amaral, E.F.; Pinto, E.M.; Melo, A.W.F. 2000. Avaliação do nível de carbono em solos tropicais submetidos a plantio de sistemas agroflorestais em diferentes idades na Amazônia Ocidental. In: *III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*. EMBRAPA, Manaus, Brasil. 55-57 p.
- Ribeiro, C.; Madeira, M.; Araújo, M.C. 2002. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *Forest Ecology and Management*, 171:31-41.
- Rodriguez, M.R.L.; Santos, J.A.; Barcelos, E. 2000. Carbono e nitrogênio na biomassa aérea de cultivo do dendê em latossolo amarelo na Amazônia ocidental. In: *III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*. Manaus, 21-25 novembro. pp. 82-84.
- Rombke, J.; Meller, M.; Garcia, M. 1999. Earthworm densities in central Amazonian primary and secondary forest and a polyculture forestry plantation. *Pedobiologia*, 43:518-522.
- Ross, S.M.; Thornes, J.B.; Nortcliff, S. 1990. Soil hidrology, nutrient and erosional response to the clearance of terra firme forest, Maracá Island, Roraima, northern Brazil. *The Geographical Journal*, 156:267-282.
- Rubinstein, A. 2001. *Efeito da fragmentação florestal sobre a decomposição da liteira na Amazônia central, Manaus, Am.* Dissertação de Mestrado. INPA/UFAM. 51 p.
- Ruokolainen, K. & Tuomisto, H. 1993. La Vegetación de terrenos no inundables (tierra firme) en la selva baja de la Amazonía Peruana. In: Kalliola, R. & Danjoy, W. (Eds.). *Amazonía Peruana. Vegetación húmeda tropical en el llano subandino*. PAUT y ONERN, Jyväskylä. pp. 139-153.

- Sanchez, P.A.; Villachica, J.H.; Bandy, D.E. 1983. Soil fertility dynamics after clearing of a tropical rainforest in Peru. *Soil Sciences Society American Journal*, 47:1171-1178.
- Sanchez, P.A.; Palm, C.A.; Szott, L.T.; Cuevas, E.; Lal, R. 1989. Organic input management in tropical agroecosystems. In: Coleman, D.C.; Oades, J.M.; Uehara, G.D. (Eds.). *Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems*. Univ. of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii. 125-152 p.
- Schroth, G.; Seixas, R.; da Silva, L.F.; Teixeira, W.G.; Zech, W. 2000. Nutrient concentrations and acidity in ferralitic soil under perennial cropping, fallow and primary forest in central Amazonia. *European Journal of Soil Science*, 51:219-231.
- Schroth, G.; D'Angelo, S.A.; Teixeira, W.G.; Haag, D.; Lieberei, R. 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. *Forest Ecology and Management* 163: 131-150.
- Schroth, G.; Lehmann, J.; Barrios, E. 2003. Soil nutrient availability and acidity. In: Schroth, G. & Sinclair, F.L. (Eds.). *Trees, Crops and soil fertility: concepts and research methods*. Chapter 5, p. 93-130.
- Schubart, H.O.R.; Franken, W.; Luizão, F.J. 1984. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2(10):26-32.
- Scott, D.A.; Proctor, J.; Thompson, J. 1992. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. II. Litterfall and nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 80:705-717.
- Seastedt, T.R. 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Ann. Rev. Entomol.*, 29:25-46.
- Senapati, B.K.; Lavelle, P.; Giri, S.; Pashanasi, B.; Alegre, J.; Decaens, T.; Jiménez, J.J.; Albrecht, A.; Blanchart, E.; Mahieux, M.; Rousseaux, L.; Thomas, R.; Panigrahi, P.K.; Venkatachalam, M. 1999. In-soil earthworm technologies for tropical agroecosystems. In: Lavelle, P.; Brussaard, L.; Hendrix, P. (Eds.). *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*. CAB International. pp. 199-237.
- Serrão, E.A.S. 1989. Pecuária na Amazonia: a evolução da sustentabilidade das pastagens substituindo florestas. *Pará Desenvolvimento*, 25:117-127.
- Skole, D. & Tucker, C. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978. *Science*, 260:1905-1910.

- Siira-Pietikainen, A.; Haimi, J.; Siitonen, J. 2003. Short-term responses of soil macroarthropod community to clear felling and alternative forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management*, 172: 339-353.
- Silva, M.F.; Lisboa, P.L.B.; Lisboa, R.C.L. 1977. Nomes vulgares de plantas amazônicas. INPA. 222 p.
- Smith, C.K.; Gholz, H.L.; de Assis Oliveira, F. 1998. Fine litter chemistry, early-stage decay, and nitrogen dynamics under plantations and primary forest in lowland Amazonian. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(14):2159-2169.
- Smith, C.K.; Oliveira, F. de A.; Gholz, H.L.; Baima, A. 2002. Soil carbon stocks after Forest conversion to tree plantations in lowland Amazônia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 164:257-263.
- Spain, A.V.; Lavelle, P.; Mariotti, A. 1992. Stimulation of plant growth by tropical earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:1629-1633.
- Stork, N.E. & Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal Alternative Agriculture*, 7:38-47.
- Sundarapandian, S.M. & Swamy, P.S. 1999. Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forest at Kodayar in the Western Ghats, India. *Forest Ecology and Management*, 123:231-244.
- Swift, M.J. & Anderson, J.M. 1989. Decomposition. In: Lieth, H. & Werger, M. (Eds). *Tropical Rain Forest Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam. pp. 547-569.
- Swift, M.J. & Anderson, J.M. 1992. Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems. In: Schultz, E.D. & Mooney, H. (Eds.). *Biodiversity and Ecosystem Function*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Swift, M.J.; Heal, O.W.; Anderson, J.M. 1979. *Decomposition in terrestrial Ecosystems*. Studies in Ecology 5. University of California Press, Berkeley.
- Szott, L.T.; Fernandes, E.C.M.; Sanchez, P.A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 45:127-152.
- Szott, L.T.; Palm, C.A.; Davey, C.B. 1994. Biomassa and litter accumulation under managed and natural tropical fallows. *Forest Ecology and Management*, 67:177-190.
- Tapia-Coral, S.C. 1998. *Macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais implantados em áreas de pastagens abandonadas na Amazônia central*. Dissertação de Mestrado. INPA/FUA. 98 p.

- Tapia-Coral, S.C.; Luizão, F.J.; Wandelli, E.V. & Fernandes, E.C.M. 1998. Relação entre a biomassa da macrofauna e a quantidade e qualidade da liteira em sistemas agroflorestais na Amazônia central. In: IV Congresso de Ecologia do Brasil. Livro de Resúmes. Belém, 04 ao 09 Outubro. pp. 360 - 361.
- Tapia-Coral, S.C.; Luizão, F.; Wandelli, E. 1999. Macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais sobre pastagens abandonadas na Amazônia central. *Acta Amazônica*, 29(3): 477-495.
- Tapia-Coral, S.C.; Luizão, F.; Barros, E.; Pashanasi, B.; del Castillo, D. 2002. Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais na Amazônia peruana. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. CD Rom.
- Tapia-Coral, S.C.; Luizão, F.; Wandelli, E.; Fernandes, E.C.M. 2004. Carbon and nutrient stocks of the litter layer in central Amazonian agroforestry systems. (*Agroforestry Systems, Submetido*).
- Tayasu, I.; Abe, T.; Eggleton, P.; Bignell, D.E. 1997. Nitrogen and carbon isotope ratios in termites: an indicador of trophic habit along the gradient from wood-feeding to soil-feeding. *Ecol. Entomol*, 22:343-351.
- Taylor, B.R.; Parkinson, D.; Parsons, W.F.J. 1989. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology*, 70:97-104.
- Teixeira, L.B. & Bastos, J.B. 1989. Nutrientes nos Solos de Floresta Primária e Pastagem de *Brachiaria humidicola* na Amazônia Central. *Boletim de Pesquisa. EMBRAPA/CPATU*, nº98, 31 p.
- Teixeira, L.B.; Oliveira, R.F.; Martins, P.F.S. 2001. Ciclagem de nutrientes a través da liteira em floresta, capoeira e consórcios com plantas perenes. *Revista Ciência Agrária*, 36:9-17.
- Tian, G.; Brussaard, L.; Kang, B.T.; Swift, M.J. 1997. Soil Fauna-mediated decomposition of plant residues under constrained enviromental and residue quality conditions. In: Cadish, G. & Giller, K.E. (Eds.). *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International, UK, pp. 125-134.
- Tilman, D.; Wedin, D.; Johannes, K. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, 379:718-720.

- Uguen. K.; Bernhard-Reversat, F.; Luizão, F.; Pereira, J.; Schroth, G. 2000. Litter production and decomposition in na agroforestry system with perennial crops. Shift Project ENV52. Soil Fauna and Litter Decomposition. Final Report (1996-1999).
- Vieira. L.S. 1988. *Manual de Ciência do Solo*. 2a edição. Editora Agronômica Ceres. 84. pp.
- Vieira. I.C.G.; Nepstad, D.C.; Brienza, Jr.;S.; Pereira, C. 1993. A importância de áreas degradadas no contexto agrícola e ecológico da Amazônia. In: Ferreira, E.J.G.; Santos, G.M.; Leão, E.L.; Oliveira, L.A. (Eds.). *Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia*. INPA, Manaus, AM. Vol. 2. pp. 43-53.
- Villela. D.M. 1995. *Nutrient Cycling in a Monodominant and other Rain Forest Types on Maraca Island, Brazil*. Ph.D. thesis. University of Stirling, Stirling.
- Vitousek, P.M. 1980. Nitrogen losses from disturbed ecosystems – ecological considerations. In: T. Rosswall, (Ed.). *Nitrogen Cycling in West African Ecosystems*. 39-53 p.
- Vitousek, P.M.; Turner, D.R.; Parton, W.J.; Sanford, R.L. 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: Patterns, mechanisms, and models. *Ecology*, 75, 418-429.
- Volhland, K. & Schroth, G. 1999. Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in Central Amazonia as affected by plant species and management. *Applied Soil Ecology*, 13: 57-68.
- Wardle. D.A. & Giller, K.E. 1996. The quest for a contemporary ecological dimension to soil biology. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(12):1549-1554
- Wardle. D.A. & Lavelle, P. 1997. Linkages between soil biota, plant litter quality and decomposition. In: Cadisch, G. & Giller, K.E. (Eds.). *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB. International. pp. 107-124.
- Warren, M.W. & Zou, X. 2002. Soil macrofauna and litter nutrient in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 170:161-171.
- Wieder. R.K. & Lang, G.E. 1982. A critique of the analytical methods using in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63(6):1636-1642.
- Xuluc-Tolosa. F.J.; Vester, H.F.M.; Ramirez-Marcial, N.; Castellanos-Albores, J.; Lawrence, D. 2003. Leaf litter decomposition of tree species in three sucesional

- phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 174:401-412.
- Yano, C.Y. 1994. *Caracterização Física e Química do Solo num Gradiente de Regeneração Natural de uma Pastagem Abandonada na Amazônia Central*. Monografia. FUA. 60 p.
- Ydrogo, B.H.F.; Ruiz, C.P.; Pashanasi, B.; Lavelle, P. 1996. Inoculación de lombrices de tierra *P. corethrurus* y presencia de micorrizas Vesiculo Arbusculares em plântulas de Araza (*Eugenia stipitata*), Achiote (*Bixa orellana*) y Pijuayo (*Bactris gasipaes*) y sus efectos en el crecimiento. *Folia Amazónica*, 7(1-2):5-27.
- Zar, J.H. 1974. *Bioestatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 718 p.

APÊNDICES

Apêndice 1: Lista de espécies de plantas que ocorrem na Floresta secundária ou capoeira no CIJH. Inventário realizado durante o ano 2001.

Família	Nome científico	Nome vulgar (Amazônia brasileira)	Nome vulgar (Amazônia peruana)
Annonaceae	<i>Guatteria megalophylla</i>	Envira preta	Carahuasca
Apocynaceae	<i>Himatanthus sucuuba</i>	Sucuúba	Bellaco caspi
Arecaceae	<i>Astrocaryum huicungo</i>	Muru-muru	Huicungo
Arecaceae	<i>Bactris monticola</i>	Marajá	Ñejilla
Arecaceae	<i>Dieffenbachia sp</i>	Jibóia	Patiquina
Arecaceae	<i>Iriartea exorrhiza</i>	Paxiuba	Pona
Bignoniaceae	<i>Jacaranda macrocarpa</i>	Jacarandá ou parápara	Huamansamana
Bignoniaceae	<i>Tynanthus panurensis</i>	Cipó-nanela	Clavo huasca
Clusiaceae	<i>Vismia sp.</i>	Lacre	Pichirina
Dilleniaceae	<i>Davilla nitida</i>	Cipó-de-fogo	Paujil chaqui
Euphorbiaceae	<i>Alchornea cordata</i>	Caibrero	Yanavara
Melastomataceae	<i>Maieta elata</i>	Tinteiro	Rifari
Myristicaceae	<i>Pimenta calophylla</i>	Ucuúba vermelha	Cumala colorada
Vitaceae	<i>Odontadenia cognata</i>	Cipó-tinteiro	Sapo huasca
Zingiberaceae	<i>Renealmia alpinia</i>	Gengibre-do-mato	Mishquipanga