

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENTOMOLOGIA

**INFLUÊNCIA DE FATORES ABIÓTICOS SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DE  
COLÊMBOLOS (COLLEMBOLA: ENTOMOBRYOMORPHA) EDÁFICOS E  
REDUÇÃO DO ESFORÇO AMOSTRAL EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa DE  
TERRA-FIRME NA AMAZÔNIA CENTRAL, BRASIL**

FÁBIO GONÇALVES DE LIMA OLIVEIRA

Manaus, Amazonas

Julho, 2013

FÁBIO GONÇALVES DE LIMA OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DE FATORES ABIÓTICOS SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DE  
COLÊMBOLOS (COLLEMBOLA: ENTOMOBRYOMORPHA) EDÁFICOS E  
REDUÇÃO DO ESFORÇO AMOSTRAL EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSE DE  
TERRA-FIRME NA AMAZÔNIA CENTRAL, BRASIL**

Dr.<sup>o</sup> JOSÉ WELLINGTON DE MORAIS

Dr.<sup>a</sup> Elizabeth Franklin Chilson

Dr.<sup>a</sup> Elisiana Pereira de Oliveira

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Entomologia).

Manaus, Amazonas

Julho, 2013

O48 Oliveira, Fábio Gonçalves de Lima

Influência de fatores abióticos sobre a distribuição de colêmbolos (Collembola : Entomobryomorpha) edáficos e redução do esforço amostral em floresta ombrófila densa de terra-firme na Amazônia Central, Brasil / Fábio Gonçalves de Lima Oliveira. --- Manaus : [s.n.], 2013.

xiii, 53 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) --- INPA, Manaus, 2013.

Orientador : José Wellington de Moraes  
Elizabeth Franklin Chilson  
Elisiana Pereira de Oliveira

Área de concentração : Entomologia

1. Colêmbolos edáficos – Amazônia. 2. Collembola – Ecologia. 3. Entomobryomorpha. 4. Composição de espécies. 5. Esforço amostral. 6. Protocolo de coleta. I. Título.

CDD 19. ed. 595.715045

**Sinopse:**

Foi estudada a riqueza e distribuição de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos em floresta de terra-firme. Aspectos envolvendo a composição das espécies, as relações entre a comunidade e os elementos do solo e a possibilidade de redução amostral foram abordados.

**Palavras-chave:** composição, esforço amostral, estequiometria, nutrientes do solo, protocolos de coleta.

Aos meus pais Nelson e Maria Antonia e aos meus irmãos Fabrício e Fellipe,  
por representarem a relação mais sólida e o sentimento  
mais estável que pude conquistar.

## **Agradecimentos**

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e ao Programa de Pós Graduação em Entomologia por estimular meu crescimento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador Dr<sup>o</sup> José Wellington de Moraes pela orientação, amizade e por compreender minhas demandas e torná-las sempre possíveis. Agora ao amigo Wellington, por sempre se importar comigo e por ter feito mais de 1000 cafés para mim.

À Dr<sup>a</sup> Elizabeth Franklin Chilson por configurar-se em estímulo e incentivo ao crescimento e aperfeiçoamento em direção ao sucesso.

À Dr<sup>a</sup> Elisiana Pereira de Oliveira por ter possibilitado ainda em minha graduação o melhor estágio em Collembola. Especialmente por ter logo de início incentivado e acreditado em mim.

Ao Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) pela coleta e disponibilização dos dados das variáveis ambientais utilizadas neste estudo.

Ao projeto Cenários pelos recursos financeiros disponibilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

À todo o Laboratório de Sistemática e Ecologia de Invertebrados do Solo do INPA, ao Nikolas que foi mais meu mestre que calouro, Inaura por me alegrar todos os dias, Brenium pela amizade e apoio constante, Rafael pelo carinho e amizade, Camila pela amizade, Jorge pela atenção e humildade, Nete por todo o apoio e carinho, Pedro por todo o apoio e sugestões e Marlon pelo apoio e boa convivência. Enfim, por representarem em minha vida “isso” que não existem palavras para descrever.

Ao Dr<sup>o</sup> Bruno Cavalcante Bellini e aos colegas Aila, Nerivânia e Diego e a todo o Laboratório de Sistemática e Ecologia de Invertebrados da Universidade Federal do Rio Grande do Norte por toda a contribuição ao meu trabalho durante minha estadia em Natal.

Aos meus pais Nelson e Maria Antonia pelo apoio incondicional, admirável e sem limites, demonstrando a cada dia de minha ausência a relevância das suas presenças em minha vida.

Aos meus irmãos Fabrício e Fellipe, pelo apoio e incentivo.

Aos meus tios Lourdes e Nei e as minhas primas Bruna, Bianca e Natália por todo o apoio.

Ao meu querido amigo Gui. Por sempre estimular o que há de melhor em mim. Por representar para mim um ponto de referência. Por tudo que fez por mim...

Ao querido amigo Gean por toda a amizade e paciência comigo. Por ter de imediato me acolhido e por não ter me expulsado! HAHAHA... Por me perdoar por ter quebrado 70%

dos seus copos, seus enfeites de gesso e de porcelana... Logo eu encontro aquele pedaço que ficou faltando naquele enfeite do boisinho... ;) S2

Ao Miquéias (Kiki) por toda a amizade e carinho. Por ser meu amigo pra desabafos até de madrugada, por todos os conselhos e por todos os bolos integrais.

Aos meus bons amigos de sempre do INPA e da vida: Tamires (my top model forever =\* no ombro) minha primeira amiga em Manaus. Adriano (my BFF versão heterossexual) exemplo de paciência e dedicação. Alexandre (gaúcho político) por todo o incentivo e atenção. Willians (negrinho) pela amizade e todo o apoio. Maríliah (psicopatuzinha) pela amizade e por não ter me matado ainda com a faca da cozinha. Suzane (a domadora de tucandeiras e piuns) por ser tão fofa e tão carinhosa sempre.

Ao Augusto por todo o carinho e amizade. Ao Fabrício Myiachi (Fabs) pelo carinho e seu humor típico que me tirou várias risadas. Ao Filipe Mory por todo o carinho, pelos livros e amizade. Ao Felipe Pinagé (Felipium) pela amizade e por ter simpatizado pelos colêmbolos e inclusive ter ido a minha defesa.

Aos irmãos Samuel e Luis, por todo o carinho e atenção sempre comigo!

Ao Walter, por ter me proporcionado muitos momentos legais, especialmente por ter se esforçado para me ensinar a maravilhosa cultura local.

Aos grandes amigos de MINAS GERAIS especialmente por sempre me apoiarem. Saudades!

A família Lopes por todo o apoio inicial, pelos estímulos positivos e por todo o carinho constante em uma boa fase da minha vida.

Ao Sr<sup>o</sup> Mário, Sr<sup>a</sup> Alzira, Fábria e Matheus Senna por me receberem com carinho e conforto no meu primeiro mês em Manaus.

Ao colega Pedro Aurélio Lima Pequeno por todo apoio estatístico.

Aos colegas Msc. Rafael Boldrini, Eduardo Goulart, Msc. Cristian Dambros, Dr. Jorge Souza, Dr. Douglas Zeppelini, Msc. Alexandre Somavilla, Dr. Nicholas Gotelli, Msc. Guilherme Pereira, Msc. Geangelo e Dr. Arthur Anker pelas valiosas críticas e sugestões.

À Dr<sup>a</sup> Ana Tourinho pelas críticas e sugestões e por se lembrar de mim em um momento necessário.

Aos colembólogos Dr<sup>o</sup> Roger Arlé (*In memoriam*), Dr<sup>a</sup> Elisiana Pereira de Oliveira, Dr<sup>a</sup> Maria Cleide Mendonça, Dr<sup>o</sup> Douglas Zeppelini Filho, Dr<sup>o</sup> Bruno Cavalcanti Bellini, Dr<sup>o</sup> Eduardo Abrantes, Dr<sup>a</sup> Liliane Fernandes e Msc. Gabriel Costa Queiroz por terem contribuído para o estado atual do conhecimento científico e representarem para muitos alunos o início do conhecimento em Collembola aqui no Brasil.

À cidade de Manaus por ter sido um laboratório a céu aberto em minha vida, me ensinando muitas coisas e contribuindo para o que sou hoje.

Ao Seu Paulo, bom e recomendável companheiro de campo, por ter amenizado e agilizado de forma segura o período de coletas na Reserva Ducke.

À todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

## Resumo

A partir de estudos ecológicos com Collembola, tem sido fortalecido o potencial das informações obtidas. Tais informações, em primeira instância podem ser utilizadas em estudos ecológicos básicos ou direcionadas em estudos aplicados que busquem compreender, monitorar e conservar a estabilidade da comunidade. No entanto, estudos com Collembola, devido à natureza diversa e abundante destes organismos, demandam muito tempo e elevados custos financeiros. Foram investigadas as relações da comunidade de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos com os teores de Carbono, Nitrogênio e Fósforo (C, N e P) do solo e foi estimada a possibilidade de redução do esforço amostral em diferentes níveis de esforço. Com uma sonda 3,5 cm<sup>2</sup>, foram coletadas cinco subamostras de solo e serrapilheira em 30 parcelas de 250 m para extração dos colêmbolos com aparelho de Berlese-Tullgren modificado. As relações ecológicas foram testadas a partir de regressões múltiplas entre cada um dos dois primeiros eixos resultantes da PCoA com sete possíveis modelos a partir de C, N e P. Na redução do esforço amostral, a congruência da composição de espécies em cada nível de redução em relação ao esforço máximo de cinco subamostras por parcela foi estimada a partir do teste de Mantel. A eficiência da resposta ecológica com os elementos do solo C, N e P em cada nível de redução amostral em relação ao esforço máximo, foi estimada a partir dos valores de variância explicada, obtidos através de regressões múltiplas. Foram obtidos 1.031 indivíduos de Entomobryidae e Paronellidae, distribuídos em uma riqueza de 13 gêneros e 30 espécies (sendo 86,7% morfoespécies). Os dois modelos de regressão que melhor explicaram a variação na composição de espécies de colêmbolos edáficos mostraram que os três elementos químicos analisados (C, N e P) explicaram 14% a 19% da distribuição desses animais na escala da paisagem. O padrão de substituição de espécies em função dos gradientes de N e P foi visualizado graficamente. O esforço em amostragem por parcela poderá ser reduzido para quatro subamostras, ou seja, uma redução de 20%, reduzindo os custos financeiros e 60 dias de trabalho. As mudanças dos teores de C, N e P atuam sobre a distribuição das espécies de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos, indicando que os processos ecológicos estequiométricos podem ser utilizados para prever alterações na comunidade. Com uso da redução amostral, os recursos financeiros e tempo economizado poderão ser direcionados a compra de material para o laboratório e ainda auxiliar outras coletas de campo e estimular o aumento do número de parcelas amostradas.

**Palavras-chave:** Composição de espécies, Elementos do solo, Fauna do solo, Inventários rápidos, Nutrientes do solo.



## Abstract

From ecological studies with Collembola, the potential of the information obtained has been strengthened. Such information, in first instance, can be used in basic ecological studies, or directed to applied studies aiming to understand, monitor and maintain the stability of a community. However, studies with Collembola, due to the diverse nature and abundance of these organisms are time demanding and require high financial costs. The present study investigated the relationships of Collembola Entomobryomorpha edaphics community with Carbon, Nitrogen e Phosphorus (C, N, and P) concentrations in the soil, and the possibility of sampling effort reduction was estimated. Using a 3.5 cm<sup>2</sup> soil core, five sub-samples were collected from soil and litter in 30 plots of 250 m, to extract the springtails in the modified Berlese-Tullgren extraction. The ecological relationships were tested using multiple regression between each one of the first two axes resulted from PCoA with seven possible models using C, N and P. For the reduction of the sampling effort, the congruence of species composition at each reduction level in relation to the maximum effort composed by five subsamples per plot was estimated with the Mantel test. The efficiency of the ecological response to C, N and P at each reduction level related to the maximum effort was estimated from values of the explained variance obtained by multiple regression. A total of 1,031 individuals of Entomobryidae and Paronellinae and a richness of 13 genera and 30 species (86.7% morphospecies) was recorded. The two regression models that best explained the variation in species composition of Collembola edaphics showed that N, P and C explained 14% to 19% of the distribution of these animals in the landscape. The substitution pattern of species as a function of the gradients of C, N and P was graphically visualized. The sampling effort per plot could be reduced to four subsamples, i.e., a reduction of 20%, reducing financial costs and 60 working days. The changes of C, N and P concentrations influence the distribution of species, indicating that the stoichiometric ecological processes can be used to predict changes in the community. With the use of reduced sampling effort, the financial resources and time saved can be directed to purchase materials for the laboratory and also assist other field collections and increase the number of sampled plots.

**Keywords:** Quick inventories, Soil elements, Soil fauna, Soil nutrients, Species composition.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>2</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>5</b>
ÁREA DE ESTUDO.....	5
DELINEAMENTO AMOSTRAL .....	6
COLETA E EXTRAÇÃO .....	7
TRIAGEM, CONSERVAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
2.1 <i>Análise dos dados</i> .....	14
3. RESULTADOS .....	14
3.1 <i>Riqueza de colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos de uma floresta ombrófila densa de terra firme Amazônica</i> .....	15
3.2 <i>Influência estequiométrica</i> .....	16
3.3 <i>Substituição das espécies ao longo do gradiente formado pelas parcelas</i> .....	19
4. DISCUSSÃO .....	22
4.1 <i>Riqueza de colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos em floresta ombrófila de terra firme Amazônica</i> .....	22
4.2 <i>Influência estequiométrica</i> .....	24
4.3 <i>Substituição das espécies ao longo do gradiente formado pelas parcelas</i> .....	25
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
1. INTRODUÇÃO.....	33
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	34
2.1 <i>Análise dos dados</i> .....	35
2.2 <i>Redução do esforço amostral: padrão de distribuição de espécies da comunidade</i> .	35
2.3 <i>Redução do esforço amostral: relações ecológicas</i> .....	36
2.4 <i>Redução dos Custos</i> .....	36
3. RESULTADOS .....	37
3.1 <i>Redução do esforço amostral: padrão de distribuição de espécies da comunidade</i> .	38
3.2 <i>Redução do esforço amostral: relações ecológicas</i> .....	39
3.3 <i>Redução de tempo e custos</i> .....	41
4. DISCUSSÃO .....	42
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE TABELAS

### **Capítulo 1: Influência estequiométrica sobre a comunidade de colêmbolos (Collembola, Entomobryomorpha) edáficos em floresta ombrófila densa de terra firme da Amazônia Central .....9**

Tabela 1. Abundância e frequência das espécies de colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos registradas na Reserva Ducke..... 15

Tabela 2. Valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e valores de Critérios de Informação de Akaike (AIC) obtidos para cada eixo da PCoA, após regressão com cada um dos sete modelos utilizando Carbono, Nitrogênio e Fósforo (C, N e P)..... 17

### **Capítulo 2: Colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos da Amazônia Central: redução do esforço amostral para monitoramento da biodiversidade em florestas tropicais .....31**

Tabela 1. Abundância e frequência das espécies de colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos registradas na Reserva Ducke.....37

Tabela 2. Custos em tempo e dinheiro (R\$ e U\$) para realização das etapas de triagem, conservação e identificação dos espécimes de colêmbolos edáficos.....42

Tabela 3. Economia em tempo e dinheiro (R\$ e U\$) em função de cada nível de redução amostral na parcela. Em negrito e entre linhas tracejadas o nível possível de redução, com as respectivas economias em tempo e dinheiro.....42

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Reserva Florestal Ducke e da cidade de Manaus (Fonte: Moraes 2010).....5

Figura 2. Delineamento amostral da grade do Programa de Pesquisas em Biodiversidade situada na Reserva Ducke (Fonte: PPBio 2013).....7

Figura 3. Esquema de delineamento amostral utilizado nas coletas (Fonte: Moraes, 2010).....8

### **Capítulo 1: Influência estequiométrica sobre a comunidade de colêmbolos (Collembola, Entomobryomorpha) edáficos em floresta ombrófila densa de terra firme da Amazônia Central .....9**

Figura 1. Parcial da regressão do modelo composto do primeiro eixo de ordenação da comunidade de colêmbolos edáficos em relação aos resíduos de Carbono (C).....18

Figura 2. Parcial da regressão do modelo composto do primeiro eixo de ordenação da comunidade de colêmbolos edáficos em relação aos resíduos de Nitrogênio (N).....18

Figura 3. Parciais das regressões do modelo composto do segundo eixo de ordenação da comunidade de colêmbolos edáficos em relação aos resíduos de Nitrogênio (Gráfico A) e Fósforo (Gráfico B).....19

Figura 4. Distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos ao longo do gradiente de fósforo (P - mg/dm<sup>3</sup>) em 30 parcelas da Reserva Ducke.....20

Figura 5. Distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos ao longo do gradiente de nitrogênio (N - g/kg) em 30 parcelas da Reserva Ducke.....21

### **Capítulo 2: Colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos da Amazônia Central: redução do esforço amostral para monitoramento da biodiversidade em florestas tropicais .....31**

Figura 1. Correlação de Mantel entre o esforço máximo (5 subamostras) e níveis inferiores de rarefação por parcela na Reserva Ducke, módulo PPBio. Os 10 valores para cada nível de rarefação foram obtidos pela seleção randômica por reposição.....39

Figura 2. Variação explicada entre o primeiro eixo da PCoA da comunidade de colêmbolos edáficos e os resíduos de Carbono em cada nível de redução amostral. O símbolo em “X” representa as médias das aleatorizações em cada nível de redução amostral. A linha representa a distância entre as médias de cada nível de redução amostral.....40

Figura 3. Variação explicada entre o primeiro eixo da PCoA da comunidade de colêmbolos edáficos e os resíduos de Nitrogênio e Fósforo em cada nível de redução amostral. O símbolo em “X” representa as médias das aleatorizações em cada nível de redução amostral. A linha representa a distância entre as médias de cada nível de redução amostral.....41

## INTRODUÇÃO GERAL

Algumas pesquisas em florestas tropicais têm constatado que a composição de espécies de invertebrados do solo é reflexo das interações entre a comunidade e as variáveis do meio edáfico circundante (Franklin *et al.* 2004; Aguiar *et al.* 2006; Jacquemin *et al.* 2012). Neste contexto, essas variáveis podem ser expressas em diferentes faixas de condições, e de disponibilidade de recursos que compõem o nicho ecológico dos organismos (Begon 2008). Interações dos organismos com o meio circundante viabilizam processos inerentes ao solo, como por exemplo, a decomposição da matéria orgânica, e assim, influenciam o ritmo em que ocorrerá a ciclagem dos elementos (Ernst *et al.* 2009; Kaspari 2009).

Dentre os invertebrados do solo, a Classe Collembola destaca-se em diferentes zonas geográficas, por ser bastante representativa em termos de riqueza de espécies, abundância e densidade (Oliveira 1994; Hopkin 1997; Franklin *et al.* 2001). Além disso, esse grupo tem relevante contribuição em processos ecológicos a partir de interações com o meio. Essas interações ocorrem principalmente, por meio da dispersão de organismos decompositores (Hopkin 1997; González *et al.* 2001; Rotheray *et al.* 2009). Estes organismos decompositores são representados principalmente por fungos e bactérias, principais recursos alimentares de Collembola (Ponge 2000).

Alguns estudos recentes têm mostrado que a disponibilidade de elementos, tais como Carbono, Nitrogênio e Fósforo no solo, pode influenciar fatores como densidade e abundância de colêmbolos. Isso se deve principalmente a importância limitante destes elementos, que são essenciais em compor a biomassa e ao metabolismo de microorganismos, tais como fungos e bactérias (Huang *et al.* 2012; Jacquemin *et al.* 2012; Kaspari *et al.* 2009), principais recursos alimentares de Collembola. A partir destes estudos foram levantadas hipóteses sobre o potencial destes elementos essenciais em predizer mudanças na composição de espécies de colêmbolos em florestas tropicais.

Estudos sobre comunidades de colêmbolos têm configurado cada vez mais, em potencial para subsídios em áreas distintas da ciência aplicada, especialmente em projetos de caráter conservacionista (Ponge *et al.* 2003; Sousa *et al.* 2004; Ponge *et al.* 2006; Domene *et al.* 2007; Zeppelini 2009). No entanto, a elevada abundância e riqueza, o tamanho diminuto do corpo e o conhecimento taxonômico ainda limitado aqui na região Amazônica, têm configurado um obstáculo ao uso deste grupo em trabalhos científicos, por demandar tempo e elevados custos financeiros. No intuito de modificar esta realidade, estudos recentes realizados na Amazônia Central com a fauna de invertebrados do solo (Moraes *et al.* 2011;

Landeiro *et al.* 2012; Souza *et al.* 2012) têm estimulado o aperfeiçoamento de protocolos de coleta, a fim de padronizar métodos e delineamentos amostrais, para otimizar e integrar as informações.

A elaboração de protocolos torna-se necessária devido a diferenças entre métodos e esforços amostrais que dificultam comparações e extrapolações a respeito das informações obtidas em cada estudo (Landeiro *et al.* 2012; Souza *et al.* 2012). Nas amostragens de colêmbolos realizadas na Amazônia Central, os principais métodos utilizados para acessar esses ambientes edáficos, foram “armadilhas de Pitfall” e “Berlese-Tullgren” (Oliveira 1983, 1994, 2009; Gauer 1995; Franklin *et al.* 1997), com abrangências espaciais inferiores a 10 km<sup>2</sup>. Nesses estudos, não houve padronização entre métodos e esforços em campo. A partir destas questões, este trabalho: 1) Investigou a riqueza de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos em floresta ombrófila densa de terra firme em 25 km<sup>2</sup> da Amazônia Central e a distribuição das espécies desta comunidade em função das concentrações dos elementos C, N e P do solo; e 2) Propôs a elaboração de um protocolo amostral para estudos ecológicos rápidos e econômicos.

## **OBJETIVOS**

- Investigar a riqueza e composição de espécies de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos em floresta ombrófila densa de terra firme em 25 km<sup>2</sup> da Amazônia Central;
- Testar possíveis relações entre a comunidade de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos com os teores de carbono (C) nitrogênio (N) e fósforo (P) do solo, em floresta ombrófila densa de terra firme em 25 km<sup>2</sup> da Amazônia Central;
- Propor a elaboração de um protocolo amostral de redução de esforço na coleta de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos para estudos ecológicos rápidos e econômicos em floresta ombrófila densa de terra firme em 25 km<sup>2</sup> da Amazônia Central.



## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi realizado na Reserva Florestal Ducke (02°55' e 03°01'S, 59°53' e 59°59' W) localizada na extremidade nordeste do município de Manaus, Km 26 da rodovia AM-010 (Manaus-Itacoatiara) (Figura 1). A Reserva Ducke é um modelo para estudos em florestas de terra-firme da região amazônica e constantemente utilizada em inventários biológicos da Amazônia Central (Oliveira *et al.* 2008).

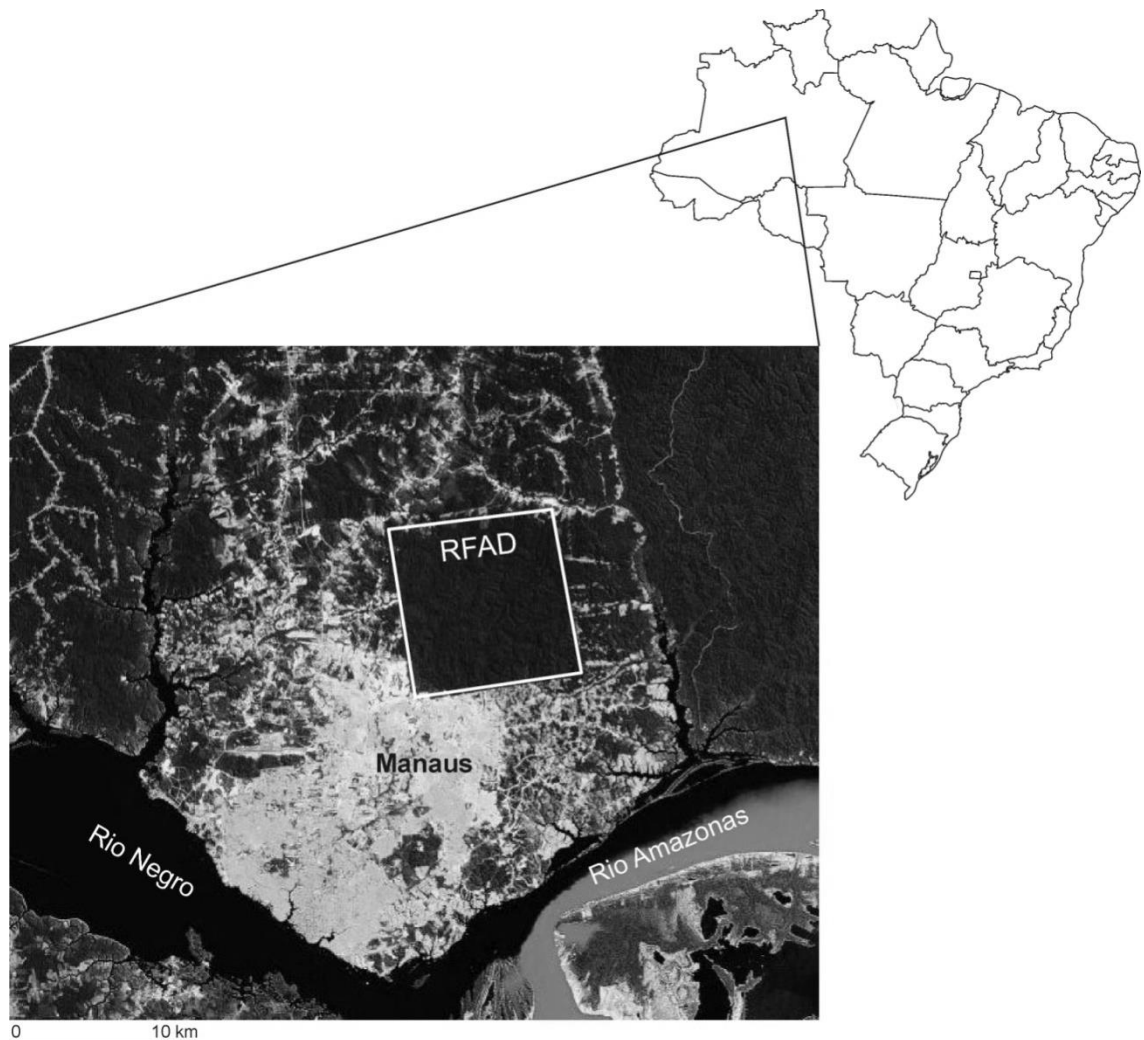


Figura 1. Localização da Reserva Florestal Ducke e da cidade de Manaus (Fonte: Moraes 2010).

As áreas da reserva têm relevo ondulado, com uma variação altitudinal de 80 m entre platôs originais e baixios. A vegetação é do tipo floresta de terra firme e está dividida segundo Ribeiro e Adis (1999) em três topografias: 1) platô com solo argiloso de terra firme; 2)

vertente com paisagem colinosa, solo argiloso ou areno-argiloso; e 3) baixio caracterizado por planície deposicional na margem de igarapé e solo arenoso. O clima é tropical úmido e a umidade relativa varia de 77 a 86%. A precipitação anual 3.017 mm, com maior volume de chuva entre os meses de novembro a maio; a temperatura média anual é 25,5 °C, com pouca variação ao longo do ano (Coordenação de Pesquisas em Clima e Recursos Hídricos 2011). A dinâmica da serrapilheira é sazonal, ocorrendo maior queda de folhas na estação seca, sendo a taxa de decomposição maior na estação chuvosa (Luizão e Schubart 1987).

### **Delineamento amostral**

Foi utilizado o método RAPELD (Magnusson *et al.* 2005), que possibilita a execução de levantamentos rápidos (RAP), aliados a Projetos Ecológicos de Longa-Duração (PELD). Esse sistema é adotado pelo Programa de Pesquisas em Biodiversidade (PPBio) para o monitoramento da biodiversidade brasileira e implementação de um delineamento padronizado para diversos grupos animais e vegetais (Magnusson *et al.* 2005). Tal método se baseia na utilização de protocolos de amostragem que viabilizem a execução de estudos interdisciplinares integrados, possibilitando correlações e associações ecológicas. O delineamento RAPELD é baseado no sistema de trilhas instalado pela Coordenação de Pesquisas em Biodiversidade do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA-CPEc).

A grade do sistema é composta por nove trilhas Norte-Sul e nove Leste-Oeste, totalizando 72 parcelas, posicionadas sobre uma grade de 64 km<sup>2</sup>, estando cada parcela distante em 1 km uma da outra. O estudo foi realizado em 30 dessas parcelas, localizadas entre a L3 e L8 (sentido norte-sul), e N1 a N6 (sentido leste-oeste), selecionadas para uso no Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), ocupando 25km<sup>2</sup> da reserva.

Cada parcela amostrada está representada por um transecto de 250 m, cujo formato é em curva de nível, para minimizar variações topográficas que podem tornar a parcela mais heterogênea (Magnusson 2005).

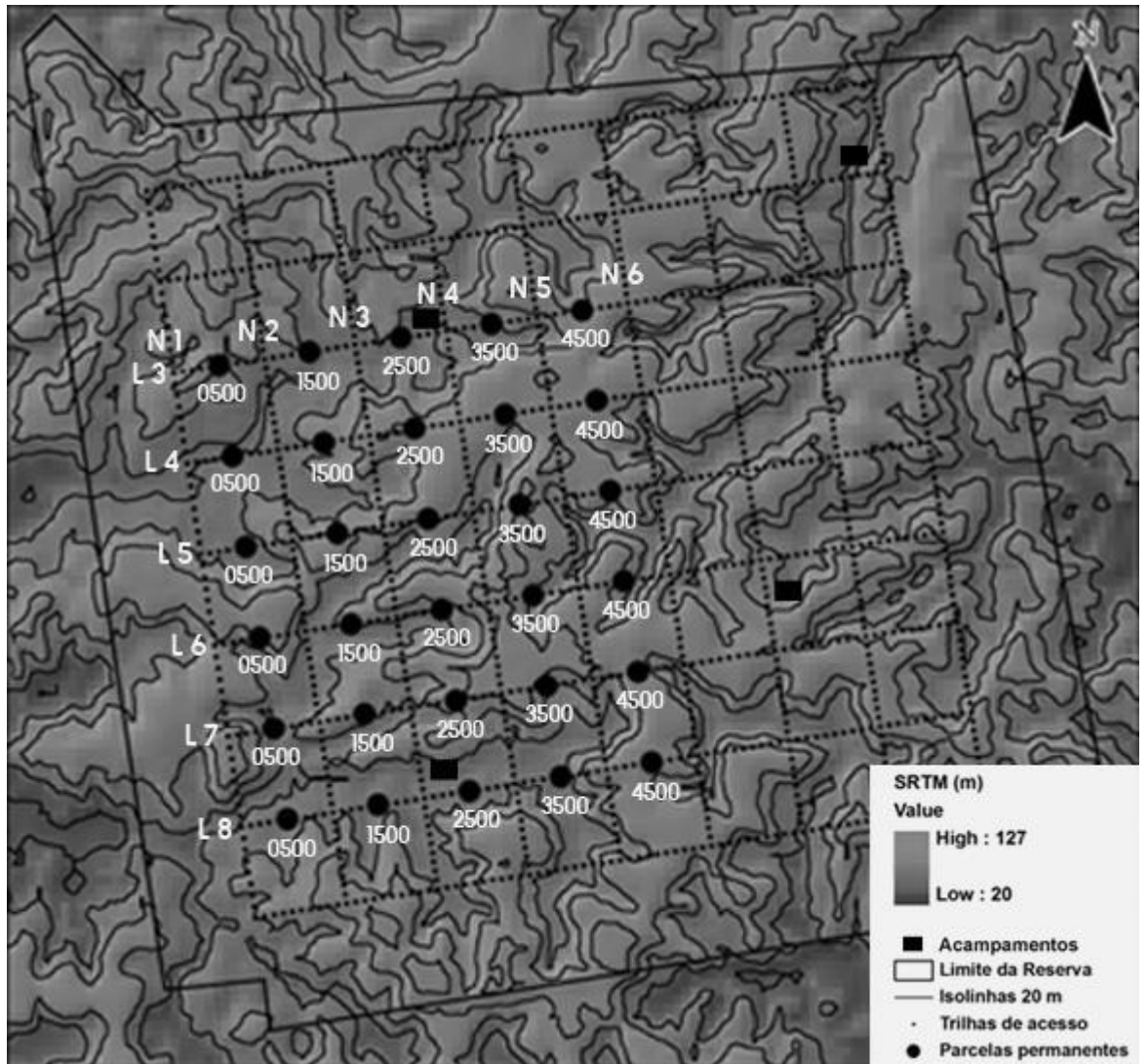


Figura 2. Delineamento amostral da grade do Programa de Pesquisas em Biodiversidade situada na Reserva Ducke (Fonte: PPBio, 2013).

### Coleta e extração

As coletas da fauna de invertebrados do solo foram realizadas em novembro de 2011, em período chuvoso. Ao longo do transecto da parcela de 250 m, a cada 12,5 m uma subamostra de solo foi coletada com a sonda de 3,5 cm<sup>2</sup> com 5 cm de profundidade, obtendo um volume de 61,25 cm<sup>3</sup> de solo. O solo foi retirado com uma faca e colocado em recipiente plástico de 340 ml. Após a junção de quatro subamostras nesse recipiente plástico ao longo de 50 m, foi obtida uma amostra composta, totalizando ao fim de 250 m cinco amostras compostas em cada parcela, no total, foram 150 amostras compostas em 30 parcelas (Figura 2). Os recipientes foram fechados com tampa, liga de borracha e etiquetados. O material

coletado foi acondicionado em uma bolsa térmica que aproximava as amostras da temperatura ambiente, e a cada dois dias foram levadas para o laboratório para a extração.

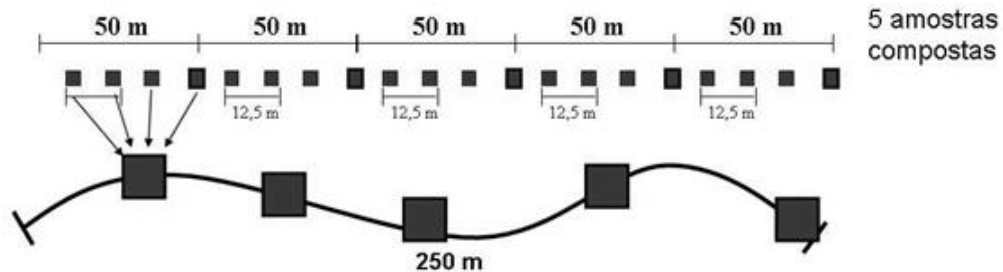


Figura 3. Esquema de delineamento amostral utilizado nas coletas (Fonte: Moraes, 2010).

A extração da fauna foi feita no Aparelho de Berlese-Tullgren modificado, (Franklin e Moraes 2006). O aparelho consiste em cabines de madeira (160 cm x 85 cm x 90 cm), com o terço inferior separado por placas de madeira ou isopor. Essas placas servem ao mesmo tempo para sustentar os funis e isolar a temperatura do compartimento superior. Cada amostra de solo e serrapilheira foi colocada em funil plástico, provido de uma peneira com malha de 1 mm no fundo. Os funis plásticos foram conectados a frascos coletores contendo o líquido mortífero/preservativo (formalina 2%). A temperatura foi mantida por lâmpadas incandescentes (25 W; 120V) localizadas na parte interna superior das cabines, a uma altura de 14 – 15 cm sobre as amostras de solo. As lâmpadas permaneceram apagadas no primeiro dia, deixando as amostras submetidas à temperatura ambiente. No dia seguinte as luzes foram acesas em baixa luminosidade, e a cada dia foi aumentada a intensidade da iluminação. Desse modo a temperatura no interior aumenta gradativamente até atingir 45 °C, e assim permanecem para estabilização do peso seco, o que ocorre ao final de 8 dias. O aumento gradativo da temperatura no interior da cabine permite a secagem gradativa das amostras da parte superior para a inferior, forçando os invertebrados a migrarem para a base da amostra e consequentemente caírem no recipiente que contém o líquido mortífero/preservativo. O material extraído foi em seguida filtrado com uso de um funil acoplado a uma malha fina, lavado em água corrente e após isso fixado em álcool 75% com 5% de glicerina.

Devido à composição química naturalmente hidrofóbica da cutícula dos colêmbolos, cada amostra foi submetida a um “banho-maria”, sendo esse um método comumente empregado no estudo com Collembola (Oliveira 1994). Com o aquecimento das amostras, há a perda dos componentes hidrofóbicos presentes na cutícula e a quebra da tensão superficial

do líquido conservativo. Neste processo, os indivíduos submergem e o álcool penetra rapidamente nos tecidos dos animais.

### **Triagem, conservação e identificação**

As amostras foram triadas utilizando microscópio estereoscópico, e os colêmbolos foram retirados e fixados em álcool 95% e mantidos na coleção do Laboratório de Sistemática, Biologia e Ecologia de Invertebrados do Solo do INPA. Neste estudo foram selecionados a partir de Collembola os representantes Entomobryomorpha edáficos (Entomobryidae e Paronellidae) para identificação em nível de espécie e morfoespécie.

No processo de montagem das lâminas, parte dos espécimes foram submetidos ao processo de clarificação de Arlé (1959), colocados sobre uma placa de Kline, contendo duas gotas de dicromato de potássio 2% e 1 gota de ácido clorídrico 35%. O tempo de exposição foi determinado a partir da observação em microscópio estereoscópico do processo de diafanização e clarificação das estruturas do corpo. Para montagem das lâminas permanentes, foi utilizado o Líquido de Hoyer em lâminas de vidro, sobre o qual os espécimes foram colocados e posteriormente cobertos por uma lamínula. As lâminas foram etiquetadas e levadas em estufa a 40 °C por 48h. Em seguida as lâminas foram seladas com esmalte nas extremidades. Os indivíduos de Entomobryomorpha edáficos pertencentes a Entomobryidae e Paronellidae foram identificados em espécies ou morfoespécies, sob supervisão dos especialistas do grupo Dra Elisiana Pereira de Oliveira (INPA) e Dr. Bruno Cavalcanti Bellini (UFRN). Foram utilizadas chaves de identificação de Bellini e Zeppelini (2004) e Christiansen (1998), além de chaves disponíveis do site [www.collembola.org](http://www.collembola.org). Parte deste material, incluindo espécies e morfoespécies será depositado na coleção zoológica do INPA como material testemunho. O restante ficará no Laboratório de Sistemática e Ecologia de Invertebrados do Solo como uma coleção de referência.

## **Capítulo 1: Influência estequiométrica sobre a comunidade de colêmbolos (Collembola, Entomobryomorpha) edáficos em floresta ombrófila densa de terra firme da Amazônia Central**

### **Resumo**

Os colêmbolos atuam em processos ecológicos importantes no ambiente, como por exemplo, a decomposição da matéria orgânica e a mineralização dos elementos químicos para o solo. Alguns estudos têm constatado haver uma relação entre os elementos essenciais Carbono, Nitrogênio e Fósforo (C, N e P) disponíveis no solo e a distribuição de colêmbolos. Mas ainda não houve em floresta tropical, um estudo em ampla escala espacial relacionando a composição de espécies de colêmbolos com estes elementos. Assim, foi avaliada a riqueza, abundância e composição de espécies da comunidade de Collembola Entomobryomorpha edáficos e testadas as relações entre a composição desta comunidade com os elementos C, N e P presentes no solo em uma área de 25 km<sup>2</sup> de floresta. Com uma sonda 3,5 cm<sup>2</sup>, foram coletadas amostras de solo e serrapilheira em 30 parcelas de 250 m, para extração dos colêmbolos em Aparelho de Berlese-Tullgren modificado. As relações ecológicas foram testadas a partir de regressões múltiplas entre cada um dos dois primeiros eixos resultantes da ordenação de PCoA com sete possíveis modelos formulados à partir dos elementos C, N e P. Foram obtidos 1.031 indivíduos de Entomobryidae e Paronellidae, distribuídos em 13 gêneros e 30 táxons, sendo quatro espécies e 26 morfoespécies (86,7%). Os dois modelos de regressão que melhor explicaram a variação na composição de espécies de colêmbolos edáficos mostraram que os três elementos químicos analisados (C, N e P) explicam entre 14% a 19% da distribuição desses animais na escala da paisagem. Concluímos que as mudanças nas faixas dos elementos C, N e P atuam, em parte, sobre a distribuição das espécies de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos. Esse resultado indica que os processos ecológicos estequiométricos podem ser utilizados para prever alterações na comunidade.

### **Palavras-chave**

Ambientes edáficos, Composição de espécies, Elementos químicos, Fauna do solo, Microbiota do solo.

## **Stoichiometric influence on the community of edaphic springtails (Collembola: Entomobryomorpha) in dense ombrophilous rain forest in Central Amazon**

### **Abstract**

The springtails operate in important ecological processes in the environment, as for example, decomposition of organic matter and mineralization of the chemicals to the soil. Some studies have found a relationship between the essential elements C, N and P available in the soil and the distribution of springtails. But there has not been in the rainforest, a study on a large spatial scale relating the species composition of Collembola with these elements. So, it was evaluated the richness, abundance and species composition of edaphic Collembola Entomobryomorpha community and tested the relationship between the composition of this community with the elements C, N and P presents in the soil of a forest area of 25 km<sup>2</sup>. Using a 3.5 cm<sup>2</sup> probe, soil and litter samples were collected in 30 plots of 250 m for extraction of the springtails with modified Berlese-Tullgren apparatus. The ecological relationships were tested using multiple regression between each one of the first two axes resulted from PCoA ordination with seven possible models originated from the elements C, N and P. A total of

1,031 individuals distributed in Entomobryidae and Paronellidae, 13 genera, four species, and 26 (86.7%) morphospecies. The two regression models that best explained the variation in species composition of springtails showed that the three elements analyzed (C, N and P) explained 14% to 19% of the distribution of these animals at the landscape scale. The substitution pattern of species as a function of the gradients of N and P was graphically visualized. We concluded that changes in the ranges of the elements C, N and P act, in part, on the distribution of springtails edaphic Entomobryomorpha species. This result indicates that the stoichiometric ecological processes can be used to predict changes in the community.

### **Keywords**

Chemical elements, Edaphic environments, Soil fauna, Soil microbiota, Species composition.

## **1. INTRODUÇÃO**

Em ambientes presentes na superfície do solo, existem recursos e faixas de condições abióticas diferentes, conferindo uma comunidade de organismos, também distinta, que são dependentes e essenciais no processo de formação destes ambientes (Franklin *et al.* 2004; Moreira e Siqueira 2006; McGlynn e Salinas 2007; Kaspari e Yanoviak 2008; Begon *et al.* 2008; Kaspari e Yanoviak 2009; Kaspari *et al.* 2010). A principal forma de aporte nutricional do solo de uma floresta é a partir da decomposição de matéria orgânica de origem vegetal e de outros organismos mortos que se encontram sobre ele (Ayres *et al.* 2006). Em florestas e ambientes terrestres, a decomposição é essencial para a ciclagem dos nutrientes, suprindo as demandas por elementos químicos inerentes ao nicho ecológico dos organismos ali existentes (Weerakkody e Parkinson 2006; Milton e Kaspari 2007; Marichal *et al.* 2011). Essas interações ecológicas entre consumidores, decompositores, detritívoros e produtores, objetivando alcançar o balanço de biomassa de elementos químicos são conhecidas por “estequiometria ecológica”. Esses processos são relevantes, a ponto de influenciar características de populações e comunidades, como a distribuição de espécies, assim como a estabilidade, coexistência, competição e interações entre diferentes guildas (Moe *et al.* 2005; Begon *et al.* 2008; Kaspari e Yanoviak 2009). A estequiometria ecológica reconhece que os organismos são formados a partir de reações químicas, e dessa forma o crescimento e a reprodução podem ser limitados pela disponibilidade de elementos essenciais no ambiente (Sturner *et al.* 2002). Esses processos têm sido relativamente bem estudados sob o ponto de vista “planta-herbívoros”, mas pouco é conhecido sobre os organismos do sistema terrestre com enfoque nos decompositores, detritívoros e seus recursos. Estudos com o sistema dos decompositores e detritívoros são relevantes, pois 90% de toda a produção primária é

processada por estes organismos, enquanto que apenas 10% serve de alimento para herbívoros (Moe *et al.* 2005; Begon *et al.* 2008).

Variações ao longo do gradiente latitudinal implicam em mudanças climáticas (Takeda e Abe 2001). Estas influenciam as taxas de acúmulo de matéria orgânica sobre os solos das florestas e em processos de decomposição e mineralização de elementos químicos (Takeda 1998). Assim, há um contraste entre o funcionamento dos ecossistemas de florestas tropicais em que o acúmulo e a taxa de decomposição da matéria orgânica é mais rápida comparados ao funcionamento dos ecossistemas de florestas temperadas onde a produção primária é menor e mais lenta (Takeda e Abe 2001). Nesse sentido, as relações das comunidades de decompositores e detritívoros poderão também ser distintas. McGlynn e Salinas (2007) ressalta que nos ambientes de florestas temperadas as associações estequiométricas entre os animais do solo e os elementos químicos é bastante conhecida, mas o mesmo nível de informação sobre interações estequiométricas não ocorre em áreas de florestas tropicais. A partir do trabalho de McGlynn e Salinas (2007), alguns outros estudos têm constatado que a abundância, densidade e riqueza de artrópodes edáficos em florestas tropicais úmidas estão associados aos teores de C, N, P, Ca e Na do folhigo e/ou do solo, assim como em florestas temperadas (McGlynn e Salinas 2007, Kaspari e Yanoviak 2009). Em florestas tropicais, o acesso ao C, N e P é mais difícil, e isso limita as taxas de decomposição da serrapilheira, pois os microrganismos decompositores demandam esses elementos em sua biomassa (Elser *et al.* 1996; Jacquemin *et al.* 2012). Em experimentos de adição de CN e CP, houve um aumento na densidade de microbívoros (colêmbolos e ácaros oribatídeos) em consequência do aumento nos recursos, que nesse contexto, são os microrganismos, tais como fungos e bactérias (Jacquemin *et al.* 2012).

Na superfície do solo, sobre e entre os fragmentos da serrapilheira depositada, habitam diversos organismos que em decorrência desse estrato são classificados como edáficos (Lavelle 1997; Villani *et al.* 1999; Ponge 2000). Esses, em função de seus tamanhos podem ser citados como pertencentes à macrofauna, mesofauna e microfauna (Lavelle 1997). Entre os habitantes edáficos da mesofauna de uma floresta tropical ombrófila densa, como as florestas presentes na Amazônia Central, destacam-se os colêmbolos, animais representados por elevada abundância e diversidade (Oliveira 1983, 1994, 2009; Gauer 1995; Franklin *et al.* 1997, 2001; Morais *et al.* 2010). Dentro da Classe Collembola, há a ordem Entomobryomorpha cujos representantes edáficos mais comuns pertencem à Paronellidae e Entomobryidae. Estes animais comumente possuem estruturas bem desenvolvidas para orientação e locomoção, pigmentação e inúmeras cerdas ao longo da superfície do corpo



(Oliveira 1983; Hopkin 1997). Notável é a importância dos mesmos em alterar as dimensões de seus habitats, atuando sobre a decomposição e assim influenciando os processos ecológicos estequiométricos (Beare *et al.* 1995; Moreira e Siqueira 2006; Ernest *et al.* 2009; Jacquemin *et al.* 2012).

É crescente o número de estudos sobre a mesofauna edáfica em grande escala espacial, abrangendo áreas representadas em quilômetros de uma reserva ecológica da Amazônia Central. Os mais recentes foram conduzidos com pseudoescorpiões (Aguiar *et al.* 2006), formigas (Oliveira *et al.* 2009, Souza *et al.* 2009), ácaros oribatídeos (Moraes *et al.* 2011), cupins (Dambros 2010; Pequeno 2012) e baratas (Tarli 2012). Tais estudos foram realizados com base em protocolos padronizados desenvolvidos pelo Programa de Pesquisas em Biodiversidade (PPBio), que buscam relacionar a composição de espécies com variáveis ambientais de florestas primárias de terra firme, seguindo o método RAPELD (Magnusson *et al.* 2005). No entanto, até o momento, nunca haviam sido realizados estudos com colêmbolos (Collembola) dessa natureza, que abrangessem grande escala espacial, como a destes estudos efetuados através do delineamento PPBio.

Atualmente, a maioria dos estudos que objetivaram compreender influências estequiométricas de C, N ou P, sobre a comunidade de colêmbolos e outros invertebrados do solo em florestas tropicais, utilizaram principalmente dados de abundância e densidade de indivíduos, sem explorar a mudança na composição das espécies (McGlynn e Salinas 2007; Kaspari *et al.* 2009; Marichal *et al.* 2011; Jacquemin *et al.* 2012; Huang *et al.* 2012).

Nesse estudo, abordamos as dimensões da comunidade de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos sob o ângulo da distribuição dos elementos químicos no solo, partindo do pressuposto de que esses animais são constituídos por elementos químicos obtidos do ambiente. Sendo assim, investigamos a riqueza desses invertebrados edáficos em uma floresta ombrófila densa de terra firme Amazônica e testamos as possíveis relações entre a comunidade de colêmbolos com os teores de Carbono, Nitrogênio e Fósforo (C, N e P) do solo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A descrição da área de estudo, o delineamento amostral, os procedimentos de coleta, obtenção e identificação dos organismos constam na seção “Material e métodos” (página 5) deste trabalho.

## 2.1 Análise dos dados

Os dados para correlações ecológicas como teor de C (g/kg), N (g/kg) e P (mg/dm<sup>3</sup>) foram obtidos no portal do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) disponível em <http://ppbio.inpa.gov.br/>.

Para análise estatística, foram utilizados dados de composição, abundância e distribuição das espécies ao longo das parcelas. O programa “R” foi utilizado para análises estatísticas (R Development Core Team 2013). Foi feita uma análise da matriz de correlação de Pearson entre as variáveis independentes (C, N e P) usadas nos modelos de regressão múltipla, de forma a evitar no mesmo modelo o uso de duas ou mais variáveis que se correlacionem. As correlações ecológicas foram observadas fixando-se a comunidade de espécies de colêmbolos como uma variável dependente. Devido à presença de três espécies muito abundantes entre as demais espécies, foi feita uma padronização dos dados, transformando-os em “abundância relativa” usando  $\log(x+1)$ . Para possibilitar uma análise em dois eixos, devido ao elevado número de espécies, foi realizada uma ordenação das matrizes a partir de uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA). Para reduzir os padrões da comunidade foi estimada a dissimilaridade entre as parcelas. Essa dissimilaridade foi baseada no índice de Bray-Curtis (Bray e Curtis 1957) para dados quantitativos (presença da espécie e abundância relativa). Após isso, foi realizada a análise de regressão múltipla para relacionar os eixos resultantes da ordenação com as variáveis independentes (variáveis ambientais). Depois de realizada a regressão múltipla, foram feitas regressões com as possíveis combinações entre cada um dos dois eixos da PCoA com os elementos C, N e P, de forma que para cada eixo, um conjunto de sete modelos foi proposto, sendo eles: 1) Eixo em função  $N + C + P$ ; 2) Eixo em função  $N + C$ ; 3) Eixo em função  $N + P$ ; 4) Eixo em função  $P + C$ ; 5) Eixo em função  $P$ ; 6) Eixo em função  $C$  e 7) Eixo em função  $N$ . Cada conjunto de modelos foi submetido a uma análise por Critério de Informação de Akaike (AIC) com o objetivo de selecionar para cada um dos dois eixos o modelo que melhor representa a variação na composição de espécies da comunidade. Este melhor modelo é expresso pelo menor valor de AIC. Após isso, o modelo que melhor representou a variação na composição de espécies foi utilizado para ilustrar a partir de representação gráfica a substituição de espécies em função do gradiente.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Riqueza de colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos de uma floresta ombrófila densa de terra firme Amazônica

Foram encontrados 1031 indivíduos (Entomobryomorpha) edáficos, 30 espécies ou morfoespécies) pertencentes a Entomobryidae e Paronellidae. Desse total, apenas quatro (13,3%) espécies foram identificadas nominalmente (Tabela 1). A família mais abundante foi Paronellidae, representando 79,5% dos indivíduos, sendo *Trogolaphysa* o gênero mais diverso e abundante, representando 78,3% dos indivíduos e 36,5% das espécies da comunidade. Entre as espécies encontradas na comunidade estudada, *Trogolaphysa* sp. 3 foi a mais abundante (34,6% dos indivíduos) e a única que esteve presente em todas as parcelas. Entomobryidae foi a mais diversa taxonomicamente, com 16 táxons, mas não ocorreu em todas as parcelas. A espécie mais abundante de Entomobryidae, mas não a mais frequente ao longo das 30 parcelas, foi *Heteromurtrella* sp. 1 (4,7% dos indivíduos), seguida por *Lepidosira* sp. 3 (3,5% dos indivíduos) que foi a mais frequente, ocorrendo em 19 parcelas. Das espécies obtidas na amostragem, foram consideradas “acidentais” as representadas por um único ou dois indivíduos (“singletons” e “doubletons”, respectivamente), e aquelas que, apesar de ocorrerem em número superior, tiveram sua distribuição limitada a uma ou duas parcelas. Dessa forma, 43,3% das espécies encontradas são acidentais (Tabela 1).

Tabela 1. Abundância e frequência das espécies de colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos registradas na Reserva Ducke.

<b>Família/Subfamília/Tribo e Espécie</b>	<b>Abundância</b>	<b>Frequência</b>
<b>Entomobryidae</b>		
<b>Entomobryinae</b>		
<b>Tribo Seirini</b>		
<i>Lepidosira</i> sp. 1	7	6
<i>Lepidosira</i> sp. 2	8	6
<i>Lepidosira</i> sp. 3	34	19
<b>Tribo Willowsini</b>		
<i>Willowsia</i> sp. 1	1	1
<i>Willowsia</i> sp. 2	1	1
<b>Tribo Entomobryini</b>		
<i>Entomobrya</i> sp. 1	19	9
<b>Tribo Lepidocyrtini</b>		
<i>Acanthurella</i> sp. 1	1	1
<i>Pseudosinella</i> sp. 1	4	1
<i>Setogaster</i> sp. 1	15	11
<i>Setogaster</i> sp. 2	1	1
<i>Setogaster nigrosetosus</i> Folsom 1927	16	7

<i>Setogaster biphasis</i> Mari Mutt 1986	20	13
<b>Orchesellinae</b>		
<b>Tribo Heteromurini</b>		
<i>Heteromurtrella</i> sp. 1	48	17
<b>Tribo Mastigocerini</b>		
<i>Mastigoceras camponoti</i> Handschin 1924	1	1
<b>Tribo Orchesellini</b>		
<i>Dicranocentrus</i> sp. 1	34	18
<i>Orchesella</i> sp. 1	1	1
<b>Paronellidae</b>		
<b>Paronellinae</b>		
<b>Tribo Paronellini</b>		
<i>Campylothorax schafferi</i> Börner 1906	10	6
<i>Campylothorax</i> sp. 1	1	1
<i>Paronella</i> sp. 1	2	1
<b>Tribo Troglopedetini</b>		
<i>Trogolaphysa</i> sp. 1	197	28
<i>Trogolaphysa</i> sp. 2	174	26
<i>Trogolaphysa</i> sp. 3	357	30
<i>Trogolaphysa</i> sp. 4	14	8
<i>Trogolaphysa</i> sp. 5	15	5
<i>Trogolaphysa</i> sp. 6	35	17
<i>Trogolaphysa</i> sp. 7	2	1
<i>Trogolaphysa</i> sp. 8	7	7
<i>Trogolaphysa</i> sp. 9	4	2
<i>Trogolaphysa</i> sp. 10	1	1
<i>Trogolaphysa</i> sp. 11	1	1

Os gêneros *Orchesella*, *Heteromurtrella*, *Acanthurella*, *Willowsia* e *Trogolaphysa* são novos registros para floresta da Reserva Ducke. De fato, *Orchesella*, *Heteromurtrella* e *Acanthurella* são registrados pela primeira vez no Brasil através deste trabalho. Sobre o acréscimo no conhecimento das espécies de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos na região, duas espécies são novos registros para o estado do Amazonas, *Setogaster nigrosetosus* Folsom, 1927 e *Setogaster biphasis* Mari Mutt, 1986.

### 3.2 Influência estequiométrica

A partir da análise de AIC, foram obtidos para cada um dos dois eixos da PCoA, valores para cada um dos sete modelos propostos, estando os menores valores de probabilidade, indicando os modelos que melhor explicam a variação da composição de espécies (Tabela 2).

Tabela 2. Valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e valores de Critérios de Informação de Akaike (AIC) obtidos para cada eixo da PCoA, após regressão com cada um dos sete modelos utilizando Carbono, Nitrogênio e Fósforo (C, N e P).

Modelo	Variáveis ambientais	PCoA 1		PCoA 2	
		$r^2$	AIC	$r^2$	AIC
1	N + C + P	0,155	-17,15	0,223	-30,8
2	N + C	0,155	-19,15	0,154	-30,2
3	N + P	0,147	-18,87	0,193	-31,67
4	P + C	0,146	-18,85	0,154	-30,2
5	P	0,001	-16,12	0,136	-31,62
6	C	0,146	-20,83	0,022	-27,8
7	N	0,146	-20,82	0,090	-30

Para o primeiro eixo da PCoA, dois modelos de regressão (Eixo 1 em função de C e Eixo 1 em função de N) foram os mais representativos com um AIC de -20.83 e -20.82, respectivamente (Figura 2 e 3). A porcentagem de variância explicada para ambos os modelos foi de ~ 15%. Nas figuras 2 e 3, cada ponto no gráfico expressa a informação contida na composição de espécies da comunidade, presente em cada uma das 30 parcelas amostradas. A partir dos valores do eixo y e x é possível visualizar uma tendência à mudança na composição das espécies da comunidade, em função da variação nos valores dos resíduos de C e N, respectivamente.

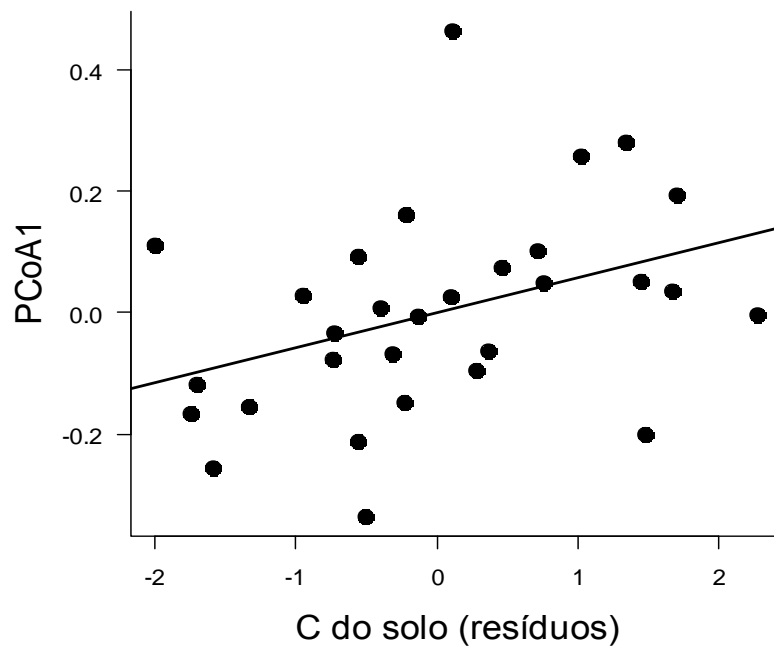


Figura 1. Parcial da regressão do modelo composto do primeiro eixo de ordenação da comunidade de colêmbolos edáficos em relação aos resíduos de Carbono (C).

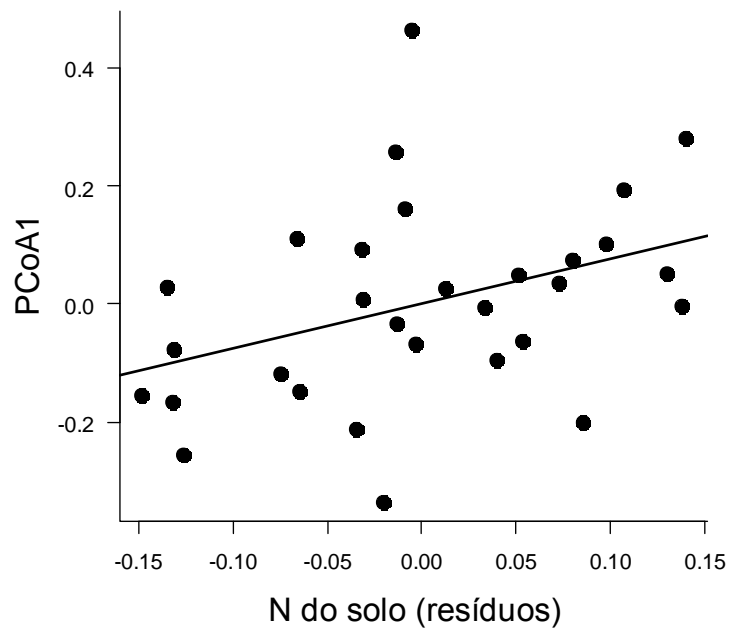


Figura 2. Parcial da regressão do modelo composto do primeiro eixo de ordenação da comunidade de colêmbolos edáficos em relação aos resíduos de Nitrogênio (N).

No segundo eixo da PCoA, o modelo mais representativo é o 1) Eixo 2 em função de N + P, obtendo um AIC de -31.67 e uma porcentagem de variância explicada de 19% (Figura 4). Na figura 4, a partir dos escores do eixo y e x em cada gráfico do modelo, é possível visualizar uma tendência à mudança na composição das espécies da comunidade amostrada. No gráfico A, há uma mudança perceptível entre a composição de espécies presente nos valores inferiores e em valores superiores de resíduos. No gráfico B, a informação sobre a composição de espécies da comunidade está basicamente restrita aos valores mais baixos de resíduos, mas há uma tendência à mudança da composição em função dos valores dos resíduos.

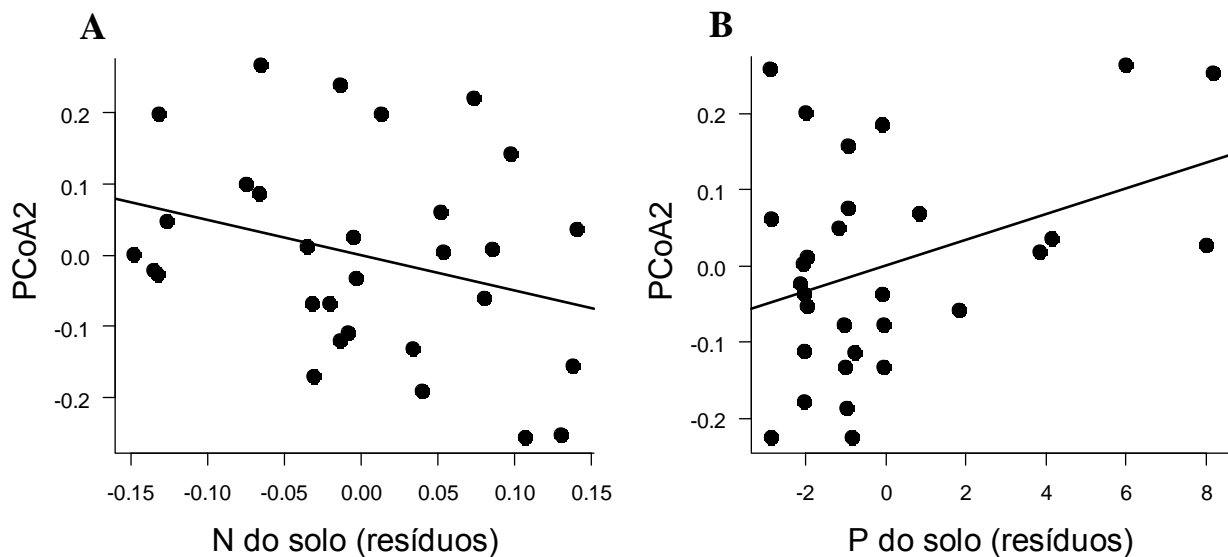


Figura 3. Parciais das regressões do modelo composto do segundo eixo de ordenação da comunidade de colêmbolos edáficos em relação aos resíduos de Nitrogênio (Gráfico A) e Fósforo (Gráfico B).

### 3.3 Substituição das espécies ao longo do gradiente formado pelas parcelas

A partir de representações gráficas utilizando análise direta de gradientes, com uso de informações de abundância relativa e frequência das espécies, foi detectado um padrão de substituição das espécies em função do gradiente de P e N do solo. Isso demonstra que a composição da comunidade muda em função da variação nos gradientes desses elementos (Figura 5 e 6). As frequências concentradas na parte superior direita das figuras representam as espécies predominantes em faixas mais elevadas do gradiente, ou seja, onde há maior concentração desses elementos no solo, e na parte inferior esquerda aquelas que predominaram em faixas de menor concentração desses elementos no solo.

Algumas morfoespécies/espécies têm distribuição generalista em relação aos valores de P, são elas *Trogolaphysa* sp. 1, *Trogolaphysa* sp. 2 e *Trogolaphysa* sp. 3 que foram abundantes e frequentes na maioria das parcelas. *Lepidosira* sp. 3, *Dicranocentrus* sp. 1 e *Trogolaphysa* sp. 6, foram frequentes na maioria das parcelas, ainda que não tenham tido elevada abundância. Outras espécies menos abundantes, *Setogaster nigrosetosus*, *Setogaster biphasis*, *Setogaster* sp. 1, *Entomobrya* sp. 1, *Lepidosira* sp. 1, *Lepidosira* sp. 2, *Heteromurtrella* sp. 1, *Campylothorax schafferi* Börner, 1906, *Trogolaphysa* sp. 5 e *Trogolaphysa* sp. 8 estão distribuídas em faixas específicas, ocorrendo em concentrações restritas do gradiente (Figura 5).

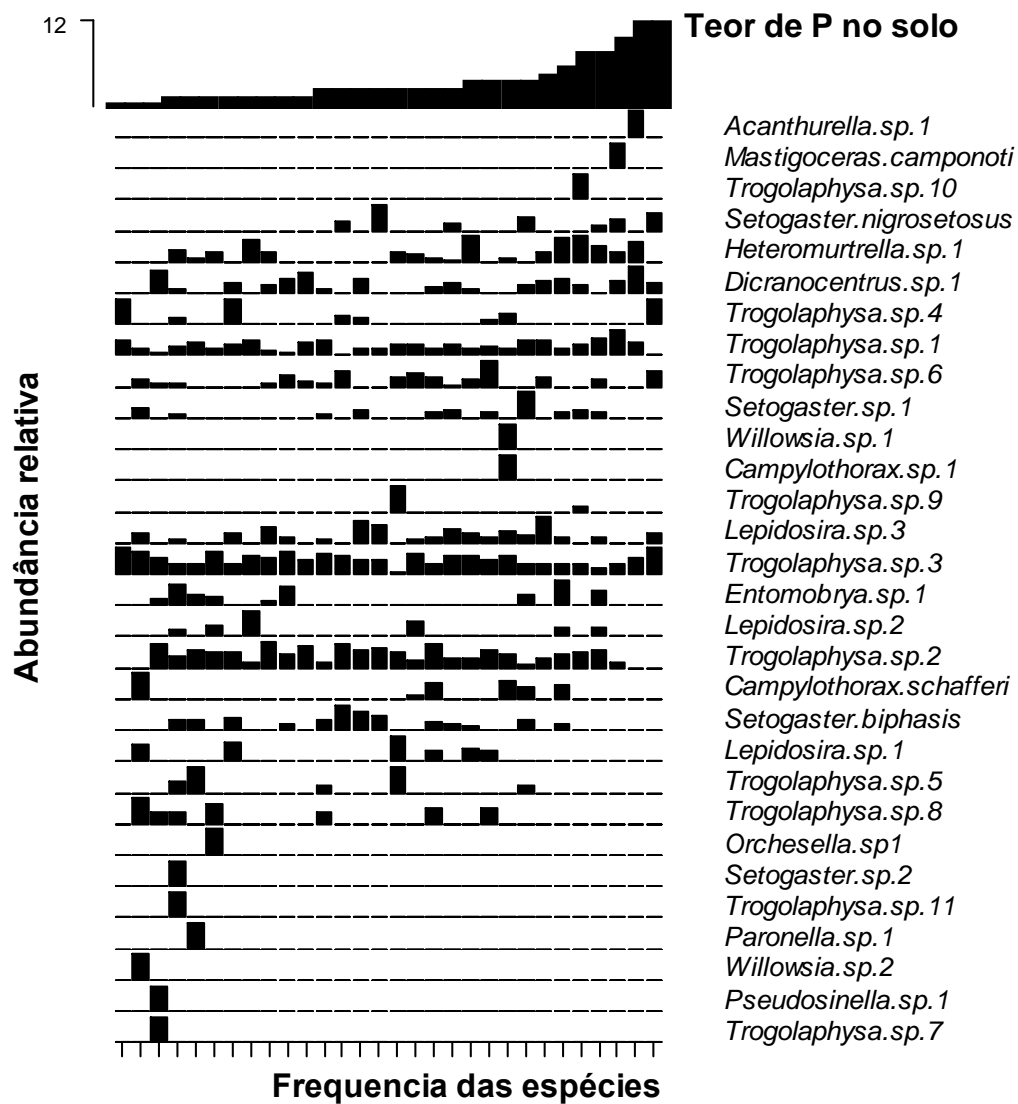


Figura 4. Distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos ao longo do gradiente de fósforo (P - mg/dm<sup>3</sup>) em 30 parcelas da Reserva Ducke.



Na substituição das espécies ao longo do gradiente de N (Figura 6), as morfoespécies *Trogolaphysa* sp. 1, *Trogolaphysa* sp. 2, *Trogolaphysa* sp. 3 estiveram distribuídas em padrão semelhante ao ocorrido no gradiente de P. Algumas espécies foram menos frequentes, mas ocorreram em faixas diferentes ao longo do gradiente de N, são elas, *Setogaster biphasis*, *Setogaster nigrosetosus*, *Dicranocentrus* sp. 1, *Lepidosira* sp. 1, *Lepidosira* sp. 3, *Campylothorax schafferi*, *Trogolaphysa* sp. 4 e *Trogolaphysa* sp. 6. Outras espécies, tais como *Heteromurtrella* sp. 1, *Lepidosira* sp. 2, *Trogolaphysa* sp. 5 e *Trogolaphysa* sp. 8 estiveram presentes em faixas específicas, ocorrendo em concentrações restritas de N.

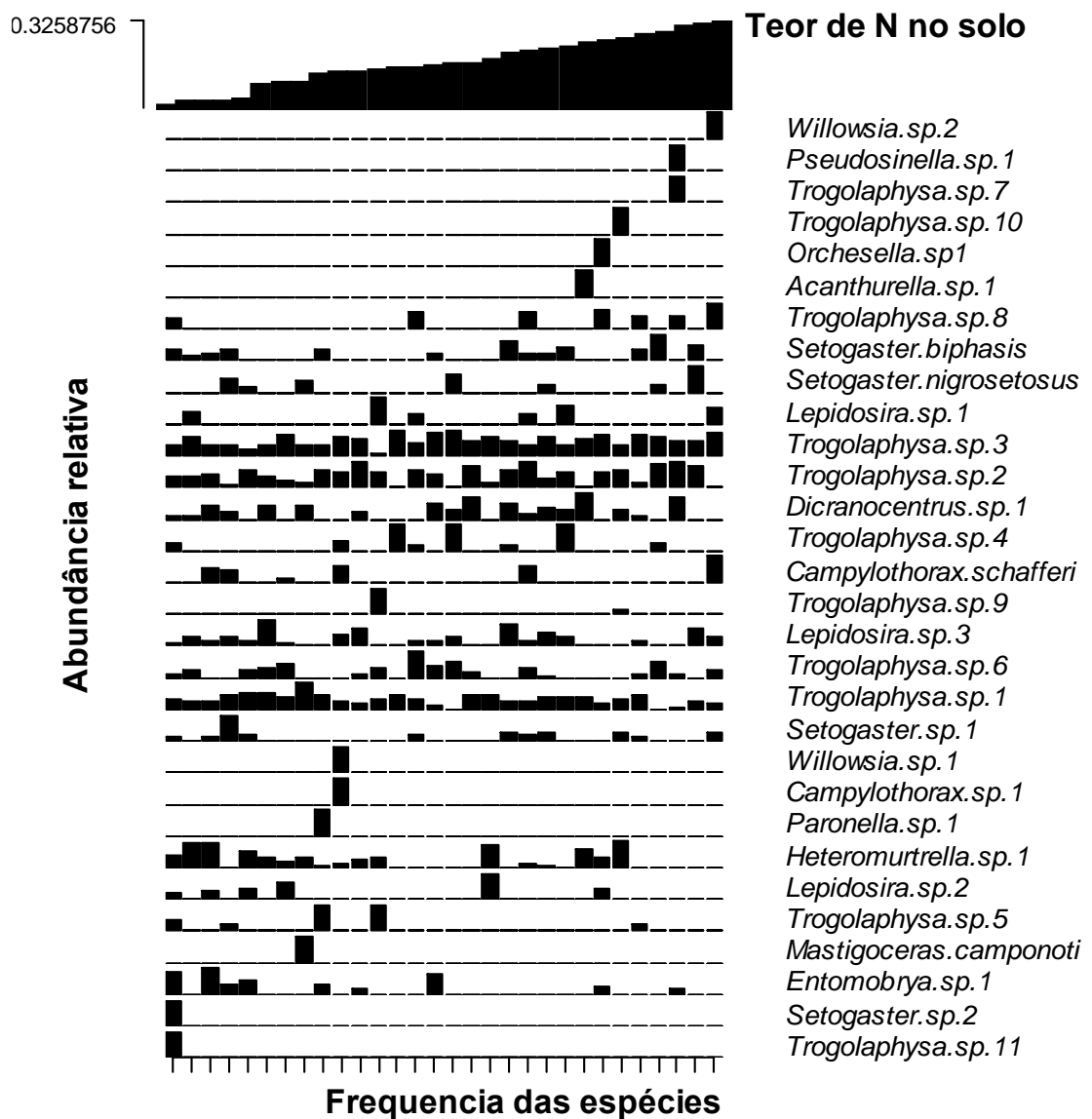


Figura 5. Distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficas ao longo do gradiente de nitrogênio (N - g/kg) em 30 parcelas da Reserva Ducke.

Para as espécies com baixas frequências e abundâncias, não foi possível identificar um padrão de distribuição em função do N e P, são elas *Willowsia* sp. 1, *Willowsia* sp. 2, *Pseudosinella* sp. 2, *Orchesella* sp. 1, *Acanthurella* sp. 1, *Setogaster* sp. 2, *Mastigoceras camponoti* Handschin, 1924, *Paronella* sp. 1, *Trogolaphysa* sp. 10, *Trogolaphysa* sp. 11 e *Campylothorax* sp. 1.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Riqueza de colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos em floresta ombrófila de terra firme Amazônica

O número de táxons obtidos representa a riqueza de colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos amostrados na região superficial do solo em uma ampla escala espacial de 25 km<sup>2</sup> de floresta. A riqueza de 30 táxons de Entomobryomorpha aproxima-se à conhecida para outros trabalhos realizados na região amazônica com esta particular comunidade de organismos (Oliveira 1983, 1994, 2009; Macambira 2001; Câmara 2002; Serrano 2009). A Reserva Ducke é um local relativamente bem estudado com respeito à comunidade de colêmbolos. Nesta reserva, Oliveira (1983) em três áreas de 100 m<sup>2</sup> coletou com aspirador entomológico em meses alternados e ao longo de um ano, registrando 24 espécies/morfoespécies. Oliveira (2009) a partir de um transecto de 100 m da Reserva Ducke, apresenta uma lista de 22 táxons de Entomobryomorpha epidáficos coletados com sonda metálica de 49 cm<sup>2</sup> e extraídos em Aparelho de Berlese-Tullgren. Nesses dois estudos de Oliveira, foram registrados táxons que não registramos no atual estudo, como *Seira*, *Heteromurus*, *Entomobrya paroara* Arlé e Guimarães, 1978, *Entomobrya egleri* Arlé e Guimarães, 1978, e *Salina celebensis* Cassagnau, 1963 que não ocorreram no atual estudo.

Outros trabalhos realizados na Amazônia registraram riqueza semelhante de Entomobryomorpha edáficos. Por exemplo, Câmara (2002) registrou 31 táxons em áreas do Campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) que possuem fitofisionomia próxima a da Reserva Ducke. As coletas foram realizadas em quatro parcelas totalizando 6.4 km<sup>2</sup>, sendo utilizado em duas parcelas “Armadilhas de Pitfall” e em outras duas parcelas, sondas metálicas de 49 cm<sup>2</sup> com extração em Aparelho de Berlese-Tullgren, mensalmente ao longo de um ano. Os gêneros *Guyanocyrtinus* e *Heteromurus* e a espécie *Entomobrya egleri* não foram registrados no presente trabalho. Macambira (2002) amostrou mensalmente ao longo de um ano duas áreas de 10 m<sup>2</sup> de floresta ombrófila de terra firme da Amazônia Oriental

utilizando aspirador entomológico, sonda metálica de 7 cm<sup>2</sup> para coleta da fauna e Aparelho de Berlese-Tullgren para extração. Nesse estudo foram registrados 31 táxons de Entomobryomorpha edáficos, destes, cinco táxons não ocorreram no presente estudo: os gêneros *Seira*, *Salina*, *Acanthocyrtus*, *Heteromurus* e a espécie *Entomobrya eglerti*. Serrano (2007) amostrou em 20 parcelas de 10 x 25 m de floresta ombrófila de terra firme Amazônica e em áreas de reflorestamento, no Estado do Pará, ao longo de um ano, utilizando sonda de 7 cm<sup>2</sup> para coleta da fauna e Aparelho de Berlese-Tullgren para extração. O autor registrou 19 táxons de Entomobryomorpha edáficos. Entre esses, os gêneros *Heteromurus*, *Seira*, e a espécie *Salina celebensis* não foram registrados no presente estudo.

Gauer (1995) investigou a fauna de colêmbolos em áreas amazônicas de 400 m<sup>2</sup> de várzea e igapó do Rio Solimões e Rio Negro, ambas no Amazonas. Ainda que sejam em ambientes alagáveis, os gêneros *Trogolaphysa* e *Dicranocentrus* foram frequentes, assim como o registrado na Reserva Ducke.

No entanto, existem alguns desafios taxonômicos vinculados às informações contidas nos trabalhos ligados à riqueza de Collembola da região Amazônica. Um dos obstáculos, é que, assim como neste presente estudo, a riqueza tem sido predominantemente registrada em morfoespécies. Por isso, a comparação entre os morfotipos de estudos anteriores torna-se necessária para se conhecer a real diversidade taxonômica. Outra questão, está relacionada a identificação de alguns gêneros, tais como *Trogolaphysa* e *Setogaster*, que possivelmente são equivalentes a *Paronella* e *Lepidocyrtus*, respectivamente. Esses últimos gêneros, foram frequentemente registrados anteriormente em outros estudos, mas neste estudo foram tratados como *Trogolaphysa* e *Setogaster*, respectivamente. Os motivos para esta mudança no tratamento dos gêneros se devem a algumas mudanças taxonômicas recentes e a questões taxonômicas antigas. Soto (2008) realizou uma revisão onde algumas subfamílias foram levadas a status de tribo como Lepidocyrtinae, na qual estão inclusos *Lepidocyrtus* e *Setogaster*, e alguns gêneros foram sinonimizados. Os gêneros *Lepidocyrtus* e *Setogaster* não foram sinonimizados na revisão de Soto (2008) já que possuem caracteres autapomórficos, mas por serem bastante próximos foi ressaltada a possibilidade de erros de identificação taxonômica. *Paronella* e *Trogolaphysa*, juntamente com *Lepidonella* e *Troglopedetes* (gêneros que não ocorreram neste estudo) são bastante próximos, e em estudos anteriores, tais táxons já foram citados como semelhantes (Deharveng e Bedos 1995; Palacios-Vargas *et al.* 1985). Estas semelhanças conduziram Arle e Guimarães (1979) a descrever uma espécie de *Troglopedetes* como *Paronella tijucana* Arle, 1979. Assim, o gênero *Paronella* citado como diverso e frequente em trabalhos anteriores na região Amazônica, foi tratado como

*Trogolaphysa* neste estudo, uma vez que as 11 morfoespécies registradas possuem seis placas oculares e por isso não podem ser *Paronella*, exceto a morfoespécie *Paronella* sp.1 que por possuir olhos com oito placas oculares e espinhos no manúbrio se encaixa nas características descritivas do gênero *Paronella*. O gênero *Lepidocyrtus* também citado como frequente em estudos anteriores, neste trabalho foi tratado como *Setogaster*, por apresentar um espinho mucronal que não ocorre em *Lepidocyrtus*.

Além destes desafios taxonômicos, a diferença entre os métodos e os delineamentos amostrais utilizados em cada estudo anterior, dificulta as comparações e extrapolações a respeito das informações obtidas. Nesse caso, é difícil comparar com o mesmo peso a riqueza obtida neste trabalho com a obtida em trabalhos anteriores, uma vez que os métodos e os esforços foram distintos.

Os oito novos registros entre gêneros e espécies de Entomobryomorpha na Reserva Ducke, aumenta o número de táxons de Collembola encontrados nessa área, para 35 gêneros e 53 espécies. Possivelmente, a maior parte das 26 morfoespécies obtidas no trabalho sejam novas espécies, o que reforça a necessidade urgente da formação de taxônomos atuantes na Amazônia.

#### **4.2 Influência estequiométrica**

A concentração de carbono (C) e dos nutrientes do solo Nitrogênio e Fósforo (N e P) explicaram cerca de 15% a 19% da variação na composição de espécies de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos na escala de 25 km<sup>2</sup> da paisagem da floresta ombrófila densa de terra firme da Amazônia Central. A relevância da relação entre os elementos C, N e P e a comunidade de Collembola foi reconhecida em outros estudos desenvolvidos em florestas tropicais. No estudo de Huang *et al.* (2012) realizado em floresta tropical úmida da Costa Rica foi registrada uma correlação positiva entre isótopos de N nos tecidos de colêmbolos com a concentração desse elemento na serrapilheira circundante. No mesmo estudo, a presença de isótopos de N também foi significativamente relacionada com a concentração de P. Krashevskaya *et al.* (2010), a partir da adição experimental de C, N e P em solo de floresta tropical do Equador, detectou o aumento da biomassa microbiana. Kaspari e Yanoviak (2009) e Jacquemin *et al.* (2012) estudando florestas tropicais do Equador, Peru e Panamá, concluíram que com o aporte de C, N e P no solo e consequente aumento da biomassa microbiana, houve um estímulo ao aumento da densidade de colêmbolos.

Resultados semelhantes foram obtidos para comunidades de espécies de florestas de clima temperado. Larsen (2007) estimou a partir da biomassa de colêmbolos a porcentagem de absorção de isótopos de C e N do meio por *Proisotoma minuta* Tullberg, 1871 ao fim de 56 dias em um microcosmo, esta foi de aproximadamente 23% para C e 69% para N. Schrader *et al.* (1997) registrou maior concentração de C e N em fezes de *Folsomia cándida* Willem, 1902 do que em fezes de enquitreídeos; as porcentagens de C e N nessa espécie foram respectivamente duas vezes e três maiores do que a presente no solo circundante. Em experimentos de laboratório, Mebes e Filser (1998), estimaram o efeito combinado de uma comunidade de colêmbolos sobre a mobilização de N para o solo, registrando uma contribuição de 25% na mobilização deste nutriente para o solo. A partir destes estudos é possível sugerir que, tanto em florestas de clima temperado quanto em florestas tropicais, os elementos químicos C, N e P influenciam padrões de distribuição de espécies de colêmbolos.

Os resultados desta investigação corroboram aos resultados obtidos nos estudos acima citados. Sobre os resultados obtidos na presente investigação, é possível inferir que os elementos C, N e P estejam influenciando a composição de espécies de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos. Grande parte dos colêmbolos são microbívoros, por se alimentarem de fontes microbianas absorvem através dessa flora os elementos C, N e P. Uma porção destes elementos é incorporada na biomassa dos colêmbolos (Huang *et al.* 2012), e parte é liberada através das fezes (Schrader *et al.* 1997; Hopkin 1997) estimulando a mobilização e mineralização dos elementos. A partir dos colêmbolos, há outras formas de contribuição para a disponibilidade destes elementos, estas se dão a partir da fragmentação da serrapilheira tornando-a mais acessível aos decompositores (Beck *et al.* 1997, Ponge 2000) e através da eficiente dispersão dos microrganismos que atuarão no processo de mineralização e mobilização dos elementos para o meio circundante (Hopkin 1997; Rusek 1998).

#### **4.3 Substituição das espécies ao longo do gradiente formado pelas parcelas**

Uma característica nesta composição de espécies de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos encontrados na Reserva Ducke, é a presença de espécies com distribuição generalista quanto à faixa de variação, enquanto também há espécies presentes em faixas específicas. Essa distribuição configurou uma substituição de espécies ao longo dos gradientes, principalmente para N e P (melhor modelo segundo AIC). O crescimento corporal de colêmbolos da espécie *Folsomia candida*, foi significativamente relacionado com a razão de N/P microbiano (Kaneda e Kaneko 2002). Segundo os autores, a composição de

microrganismos varia em função da variação na razão (1-3) de N/P microbiano, de forma que quando próxima a 1 há predomínio de fungos, e sendo próxima a 3 há predominância de bactérias. A espécie estudada *F. candida*, teve maior crescimento onde as bactérias predominaram. No estudo de Mebes e Filser (1998) sobre a contribuição na mobilização de N para o solo, houve variações entre espécies quanto a taxa de contribuição para a mineralização deste elemento, demonstrando que a interação de cada espécie com a disponibilidade desses elementos do meio é distinta. Uma possível explicação para isso, é que algumas espécies podem ser generalistas quanto a alimentação, e outras preferem alimentos mais específicos, como fungos e bactérias (Mebes e Filser 1998). Castaño-Meneses *et al.* (2004) observaram o conteúdo estomacal de diferentes espécies de colêmbolos, constatando que há variação dos tipos de alimentos para cada espécie estudada. Os resultados obtidos por esse e outros estudos ressaltam a importância da variação nas faixas de concentração dos elementos, em prever a composição das comunidades de microrganismos. Assim, a faixa disponível do elemento pode ser limitante não somente para um microrganismo específico, como também, ditar a composição das espécies de colêmbolos que dele se alimentam. Estudos futuros que busquem compreender possíveis relações específicas entre colêmbolos edáficos e os microrganismos, que por serem importantes recursos alimentares, poderão também explicar a variação na composição de espécies desta comunidade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, N. O.; Gualberto, T. L.; Chilson, E. F. 2006. A medium-spatial scale distribution pattern of Pseudoscorpionida (Arachnida) in a gradient of topography (altitude and inclination), soil factors, and litter in a central Amazonia forest reserve, Brazil. *Brazilian Journal Biology*. 66 (3):791-802.
- Arlé, R. 1959. Generalidades e importância ecológica da ordem Collembola (Apterygota). *Atas da Sociedade de Biologia do Rio de Janeiro*, 3: 4-7.
- Arlé, R; Guimarães, A. E. 1979. Nova espécie do gênero *Paronella* Schott, 1893 do Rio de Janeiro (Collembola). *Revista Brasileira de Entomologia*, 23 (4):213-217.
- Ayres, E.; Dromph, K. D.; Bardgett, R. D. 2006. Do plant species encourage soil biota that specialise in the rapid decomposition of their litter? *Soil Biology & Biochemistry*, 38, 183-186.

- Beare, M. H.; Coleman, D. C.; Crossley J. D. A.; Hendrix, P. F.; Odum, E. P. 1995. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil*, 170: 5-22.
- Beck, L.; Höfer, H.; Martius, C.; Römbke, J.; Verhaagh, M. 1997. Boden biologie tropischer Regenwälder. *Geographischer Rundschau*, 1: 24-31.
- Begon, M.; Townsend, C. R.; Harper, J. L. 2008. *Ecologia de indivíduos a ecossistemas*. 4ª Ed, Artmed, 752p.
- Bray, J. R.; Curtis, J. T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern of Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27 (4): 325-349.
- Câmara, V. A. 2002. *Flutuação populacional, diversidade específica e alguns aspectos ecológicos da comunidade de Collembola (Hexapoda) em um fragmento florestal urbano, Manaus, Amazonas, Brasil*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 121 pp.
- Castaño-Meneses, G.; Palacios-Vargas, J. G.; Cutz-Pool, L. Q. 2004. Feeding habits of Collembola and their ecological niche. *Serie Zoología*, 75 (1): 135-142.
- Dambros, C. S. 2010. *Efeito do ambiente na composição de espécies de térmitas (Isoptera) e efeito da suficiência amostral em uma floresta primária de terra-firme na Amazônia central*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 36 pp.
- Deharveng, L.; Bedos, A. 1995. *Lepidonella lecongkieti* n. sp., premier Collembole cavernicole du Vietnam (Collembola, Paronellidae). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 100 (1), p. 21-24.
- Elser, J. J.; Dobberfuhl, D. R.; MacKay, N. A.; Schampel, J. H. 1996. Organism size, life history, and N: P stoichiometry. *BioScience*, 46, 674-684.
- Ernst, G.; Hensele, I.; Felten, D.; Emmerling, C. 2009. Decomposition and mineralization of energy crop residues governed by earthworms. *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 1548–1554.
- Franklin, E. N.; Schubart, H. O. R.; Adis, J. U. 1997. Ácaros (Acari: Oribatida) Edáficos de duas florestas inundáveis da Amazônia Central: Distribuição vertical, abundância e recolonização do solo após a inundação. *Revista Brasileira de Biologia*, 57, 501-520.

- Franklin, E. N.; Morais, J. W.; Santos, E. M. R. 2001. Densidade e biomassa de Acari e Collembola em floresta primária, floresta secundária e policultura na Amazônia Central. *Andrias*, 15, 141-153.
- Franklin, E.; Magnusson, W. E.; Luizão, F. J. 2004. Relative effects of biotic and abiotic factors on the composition of soil invertebrate communities in an Amazonian savanna. *Applied Soil Ecology*, 29: 259–273.
- Franklin, E.; Morais, J. W. 2006. Soil mesofauna in Central Amazon. In: Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O.; Brussaard, L. (Eds.). *Soil Biodiversity in Amazonian and other Brazilian Ecosystems*. Oxfordshire CABI Publishing, Wageningen, Netherlands, p. 142-162.
- Gauer, U. 1995. *Zurtaxonomie und Ökologie der Collembolen zönosen der Schwarz und weibwasser-überschwemmungswälder (igapó und várzea) in Zentral amazonien*. Tese de doutorado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 184 p.
- Hopkin, S. P. 1997. *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford, UK, 330 pp.
- Huang, C.; Tully, K. L.; Clark, D.; Oberbauer, S. F.; McGlynn, T. P. 2012. The  $\delta^{15}\text{N}$  signature of the detrital food web tracks a landscape-scale soil phosphorus gradient in a Costa Rican lowland tropical rain Forest. *Journal of Tropical Ecology*, 28:395–403.
- Jacquemin, J.; Maraun, M.; Roisin, Y.; Leponce, M. 2012. Differential response of ants to nutrient addition in a tropical Brown Food Web. *Soil Biology & Biochemistry*, 46, 10-17.
- Kaneda, S.; Kaneko, N. 2002. Influence of soil quality on the growth of *Folsomia candida* (Willem) (Collembola). *Pedobiologia*, 46, 428-439.
- Kaspari, M.; Yanoviak, S. P. 2008. Biogeography of litter depth in tropical forests: evaluating the phosphorus growth rate hypothesis. *Functional Ecology*, 2008, 22, 919–923.
- Kaspari, M.; Yanoviak, S. P. 2009. Biogeochemistry and structure of tropical brown foodwebs. *Ecology*, 90, 3342-3351.
- Kaspari, M.; Stevenson, B. S.; Shik, J.; Kerekes, J. 2010. Scaling community structure: how bacteria, fungi, and ant taxocenes differentiate along a tropical forest floor. *Ecology*, 91(8), 2221–2226.
- Krashevskaya, V.; Maraun, M.; Ruess, L.; Scheu, S. 2010. Carbon and nutrient limitation of soil microorganisms and microbial grazers in a tropical montane rain forest. *Oikos*, 119 (6), 1020-1028.



- Larsen, T.; Gorissen, A.; Krogh, P. H.; Ventura, M.; Magid, J. 2007. Assimilation dynamics of soil carbon and nitrogen by wheat roots and Collembola. *Plant Soil*, 295:253-264.
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, 27, 93-132.
- Luizão, F. J.; Schubart, H. O. R. 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, 43:259-265.
- Macambira, M. L. J. 2001. *Colêmbolos (Hexapoda) da Amazônia Oriental: Taxonomia e ecologia*. Tese de doutorado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 174p.
- Magnusson, W. E.; Lima, A. P.; Luizão, R.; Luizão, F.; Costa, F.; Castilho, C. V. 2005. RAPELD: A modification of the Gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research. *Biota Neotropica*, 5(2), 1-6.
- Marichal, R.; Mathieu, J.; Couteaux, M.; Mora, P.; Roy, J.; Lavelle, P. 2011. Earthworm and microbe response to litter and soils of tropical forest plantations with contrasting C:N:P stoichiometric ratios. *Soil Biology & Biochemistry*, 43 1528-1535.
- McGlynn, T. P.; Salinas, D. J. 2007. Phosphorus Limits Tropical Rain Forest Litter Fauna. *Biotropica*, 39 (1): 50–53.
- Mebes, H. K.; Filser J. 1998. Does the species composition of Collembola affect nitrogen turnover? *Applied Soil Ecology*, 9 241-247.
- Milton, Y.; Kaspari, M. 2007. Bottom-up and top-down regulation of decomposition in a tropical forest. *Oecologia*, 153:163–172.
- Moe, S. J.; Stelzer, R. S.; Forman, M. R.; Harpole, W. S.; Daufresne, T.; Yoshida, T. 2005. Recent advances in ecological stoichiometry: insights for population and community ecology. *Oikos*, 109: 29-39.
- Moraes, J. ; Franklin, E. ; Morais, J. W. ; Souza, J. L. P. 2011. Species diversity of edaphic mites (Acari: Oribatida) and effects of topography, soil properties and litter gradients on their qualitative and quantitative composition in 64 km<sup>2</sup> of forest in Amazonia. *Experimental & Applied Acarology*, v. 55, p. 39-63.

- Morais, J. W.; Oliveira, V. S.; Dambros, C. S.; Acioli, A.; Tapia-Coral, S. C. T. 2010. Mesofauna do solo em diversos sistemas de uso da terra no Alto Rio Solimões, AM. *Neotropical Entomology*, v. 39, p. 145-152.
- Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O. 2006. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2ª Ed, editora UFLA, Lavras, 729p.
- Oliveira, E. P. 1983. *Colêmbolos (Hexapoda) edáficos como indicadores ecológicos em ambientes florestais*. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil. 104p.
- Oliveira, E. P. 1994. *Le peuplement des Collemboles édaphiques en Amazonie brésilienne: systématique, biogéographie et écologie*. Tese de Doutorado, Université Paul Sabatier, Toulouse – France. 198p.
- Oliveira, E. P.; Deharveng, L. 1996. Deux Nouvelles Espèces de Pseudachorutinae Bicolores D'Amazonie (Collembola, Neanuridae). *Bulletin Société Entomologique*, v. 99, 389-395.
- Oliveira, E. P. 2009. Collembola. In: Fonseca, C. R. V.; Magalhães, C.; Rafael, J. A.; Franklin, E. (Eds.). *A Fauna de Artrópodes da Reserva Florestal Ducke, estado atual do conhecimento taxonômico e biológico*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, v.1. p. 63-69.
- Palacios-Vargas, J. G.; Ojeda, M.; Christiansen, K. 1985. Taxonoma y biogeografía de *Troglopedetes* (Collembola: Paronellidae) em America com ênfasis em lâs espécies cavernícolas. *Folia Entomologica Mexicana*, 65: 3-35.
- Pequeno, P. A. C. L. Efeitos ambientais sobre as abundâncias de ninhos e biomassa de três espécies de cupim (Insecta: Isoptera) construtor em uma floresta de terra firme na Amazônia Central. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 99 pp.
- Ponge, J. F. 2000. Vertical distribution of Collembola (Hexapoda) and their food resources in organic horizons of beech forests. *Biology Fertility Soils*, 32:508–522.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Ribeiro, M. N. G.; Adis, J. 1984. Local rainfall variability - a potential bias for bioecological studies in the Central Amazon. *Acta Amazônica*, 14 (1/2): 159–174.

- Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7, 1207-1219.
- Schrader, S.; Langmaack, M.; Helmig, K. 1997. Impact of Collembola and Enchytraeidae on soil surface roughness and properties. *Biology and Fertility of Soils*, 25, 396–400.
- Serrano, M. B. 2009. *Collembola como bioindicadores da qualidade do solo de áreas recuperadas da Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Porto de Trombetas, PA*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 79 pp.
- Soto-Adames, F. N.; Barra, J. A.; Christiansen, K.; Jordana, R. 2008. Suprageneric classification of Collembola Entomobryomorpha. *Annals of the Entomological Society of America*, 101: 501–513.
- Souza, J. L. P.; Moura, C. A. R.; Franklin, E. 2009. Cost-efficiency and information reduction in inventories of ants in an Amazonian forest reserve. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 940-948.
- Sterner, R. W.; Elser, J. J. 2002. *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton University Press, 1, 584 pp.
- Takeda, H. 1998. Decomposition processes of litter along a latitudinal gradient. In: *Environmental Forest Science*. Kluwer Academic Publishers, London, Vol. 54. pp. 197– 206.
- Takeda, H.; Abe, T. 2001. Templates of food–habitat resources for the organization of soil animals in temperate and tropical forests. *Ecological Research*, 16, 961–973.
- Tarli, V. D. 2012. *Influência dos fatores ambientais sobre a composição das espécies de baratas (Insecta:Blattaria) da Reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 44 pp.
- Villani, M. G.; Allee, L. L.; Diaz, A.; Robbins, P. S. 1999. Adaptive strategies of edaphic arthropods. *Annual Review Entomology*, 44:233–56.
- Weerakkodya, J.; Parkinson, D. 2006. Leaf litter decomposition in an upper montane rainforest in Sri Lanka. *Pedobiologia*, 50 387-395.

## **Capítulo 2: Colêmbolos (Collembola, Entomobryomorpha) edáficos da Amazônia Central: redução do esforço amostral para monitoramento da biodiversidade em florestas tropicais**

### **Resumo**

Devido à grande pressão antropomórfica, existe uma demanda premente para o monitoramento da fauna das florestas tropicais amazônicas. Porém, os custos para atingir tais objetivos são muito altos, principalmente para invertebrados muito diversos e abundantes. Avaliamos a eficiência e o custo benefício em reduzir o esforço amostral, sem que haja perda substancial da informação ecológica sobre a comunidade de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos. Nós trabalhamos com uma base de dados composta por 30 táxons registrados em 30 parcelas de 250 m, distribuídas em um grid de 25 km<sup>2</sup> de floresta ombrófila densa de terra firme. Cinco subamostras de serrapilheira e solo foram coletadas por parcela para extração dos animais em Aparelho de Berlese-Tullgren, totalizando 150 subamostras. Foi estimada a redução do número de subamostras por parcelas, as implicações sobre a composição de espécies e as relações ecológicas capturadas entre as comunidades com os valores de C, N e P do solo. A congruência da composição de espécies em cada nível de redução em relação ao esforço máximo de cinco subamostras por parcela foi estimada a partir do teste de Mantel. A eficiência da resposta ecológica em cada nível de redução de esforço em relação ao esforço máximo foi estimada a partir dos valores de variância explicada, obtidos através de regressões múltiplas. Quatro subamostras por parcela foi o nível de redução que reteve informação substancial em relação à comunidade total, reduzindo o número de total de subamostras para 120. Isso significa uma economia de 20% em tempo e em custos financeiros, o que irá otimizar o custo-benefício de programas de monitoramento.

**Palavras-chave:** Composição, Esforço amostral, Invertebrados do solo, Inventários rápidos, , Protocolos de coleta.

### **Springtails (Collembola, Entomobryomorpha) edaphics in Central Amazon: reduced sampling effort for biodiversity monitoring in tropical forests**

#### **Abstract**

Due to the large anthropomorphic pressure, there is a pressing demand to monitor the fauna of tropical forests. However, the costs to achieve such goals are too high, especially for very diverse and abundant invertebrates. We evaluated the effectiveness and cost benefit in reducing the sampling effort, without substantial loss of ecological information on the community of edaphics Entomobryomorpha springtails. We worked with a database composed of 30 taxa recorded in 30 plots of 250 m, distributed in a grid of 25 km<sup>2</sup> inside a tropical forest. Five litter and soil subsamples were collected for extraction of animals with the Berlese-Tullgren Apparatus, totalizing 150 subsamples. It was estimated the reduction of the number of subsamples per plot and the implications on the species composition and ecological relationships captured between the communities and the values of C, N and P of the soil. The congruence of species composition at each level of reduction with the maximum effort per plot was estimated using the Mantel test. The efficiency of ecological response at each level of reduced effort in relation to maximum effort was estimated from the values of explained variance obtained through multiple regression. Four subsamples per plot was the reduction level that held substantial information about the community, reducing the total

number of subsamples to 120. This means a 20% of time and financial costs reduction, which will improve the cost-effectiveness of monitoring programs.

**Keywords:** Composition, Sample effort, Soil fauna, Quick inventories, Collection protocols

## 1. INTRODUÇÃO

Devido à crescente perda de áreas naturais no bioma Amazônico, existe uma demanda imediata de informações ecológicas e a respeito da diversidade de invertebrados em escalas espaciais representativas (Magnusson *et al.* 2005; Costa e Magnusson 2010). Os colêmbolos (Hexapoda: Collembola) por serem bons representantes em termos de diversidade, abundância e atuação nos processos ecológicos de ciclagem de nutrientes, configuram-se em relevantes ferramentas para estudos ecológicos e monitoramentos da biodiversidade (Hopkin 1997; Rusek 1998; Petersen 2002; Zeppelini *et al.* 2008). Os colêmbolos estão amplamente distribuídos pelo mundo, sendo encontrados em regiões litorâneas de baixas altitudes até regiões montanhosas de altitudes elevadas, sob regimes climáticos diversos (Christiansen 1964; Hopkin 1997; Oliveira 2009). O habitat e os recursos utilizados por esses animais estão predominantemente associados ao solo, mas a vegetação e outros substratos também são habitados (Oliveira 1994; Hopkin 1997; Zeppelini e Bellini 2004). No mundo existem cerca de 8.000 espécies descritas de Collembola (Bellinger *et al.* 2009). No Brasil, registra-se aproximadamente 270 espécies descritas em 19 famílias e 92 gêneros (Abrantes *et al.* 2010). Nas últimas décadas, foi triplicado o número de descrições de novas espécies e estima-se que a riqueza de colêmbolos seja muito maior (Rusek 2002; Abrantes *et al.* 2012).

No Brasil, as pesquisas com colêmbolos têm sido mais intensas em ambientes da Mata Atlântica (Mendonça e Abrantes 2010; Mendonça *et al.* 2012; Queiroz e Fernandes 2011), Amazônia (Oliveira 1994; Oliveira e Deharveng 1996; Gauer 1995; Oliveira 2009) e Caatinga (Bellini e Zepellini 2011; Bellini e Godeiro 2012; Zeppelini e Lima 2012), sendo a maioria direcionada a estudos de cunho taxonômico. No bioma Amazônico, os colêmbolos associados às condições edáficas estão representados em elevada riqueza, abundância e biomassa (Oliveira 1983, 1994; Gauer 1995; Franklin *et al.* 1997, 2001; Morais *et al.* 2010).

Estudos recentes realizados na Amazônia Central com a fauna de invertebrados do solo (Moraes *et al.* 2011; Souza *et al.* 2012; Landeiro *et al.* 2012) têm estimulado o aperfeiçoamento de protocolos de coleta para padronizar métodos e delineamentos amostrais e otimizar e integrar as informações sobre cada grupo taxonômico. A elaboração de protocolos torna-se necessária devido a diferenças entre métodos e esforços amostrais que dificultam

comparações e extrapolações a respeito das informações obtidas em cada estudo (Landeiro *et al.* 2012; Souza *et al.* 2012). Por exemplo, nas amostragens de colêmbolos realizadas na Amazônia Central, os principais métodos utilizados para acessar esses ambientes edáficos, foram as armadilhas de Pitfall e Funis de Berlese (Oliveira 1983, 1994, 2009; Gauer 1995; Franklin *et al.* 1997), com abrangências espaciais inferiores a 10 km<sup>2</sup>. Nesses estudos, não houve padronização entre métodos e esforços em campo.

Estudos recentes têm mostrado que a abundância, densidade e riqueza de artrópodes edáficos em florestas tropicais úmidas estão associados à concentração de Carbono (C) e aos teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Sódio (Na) do folhicho e/ou do solo (McGlynn e Salinas 2007; Kaspari e Yanoviak 2009). Os elementos C, N e P, têm sido constantemente citados como preditores de mudanças na distribuição das espécies de colêmbolos edáficos (Elser *et al.* 1996; Mebes e Filser 1998; Kaneda e Kaneko 2002; Jacquemin *et al.* 2012). Estes estudos ressaltam a relevância da compreensão de relações ecológicas entre os invertebrados do solo e o ambiente, e as aplicações deste conhecimento em projetos de cunho conservacionista.

Neste contexto de busca por um protocolo amostral para inventários rápidos e estudos ecológicos de Collembola, a tentativa de reduzir o esforço amostral torna-se relevante. Isso implicará em redução de tempo e custos financeiros. Estudos recentes com invertebrados terrestres nas parcelas utilizadas pelo PPbio têm proposto a redução do esforço amostral, comprovando ser este financeiramente viável, estatisticamente possível e eficaz (Souza *et al.* 2007, 2009, 2012; Santos 2008; Moraes *et al.* 2011).

A partir de um esforço amostral que consideramos como máximo, avaliamos a suficiência amostral de esforços reduzidos. Para isso, visamos três objetivos: 1) verificar a congruência entre a composição de espécies obtida com o esforço máximo com a composição obtida a partir de esforços reduzidos através da redução do número de subamostras; 2) investigar se os esforços reduzidos serão tão eficazes em capturar os padrões ecológicos capturados entre o esforço máximo com os elementos do solo Carbono, Nitrogênio e Fósforo (C, N e P); 3) avaliar a possibilidade de redução do tempo e dos custos financeiros da investigação.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A descrição da área de estudo, o delineamento amostral, os procedimentos de coleta, obtenção e identificação dos organismos constam na seção “MATERIAL E MÉTODOS” (página 5) deste trabalho.

## **2.1 Análise dos dados**

As análises para avaliar a redução do esforço amostral basearam-se em comparações entre as informações da comunidade obtida com cinco subamostras composta por parcela (esforço máximo) com as informações contidas em esforços reduzidos de quatro, três, dois e apenas uma subamostra composta por parcela.

Devido à presença de três espécies muito abundantes entre as demais espécies, foi necessária uma padronização dos dados, transformando-os em “abundância relativa” usando  $\log(x + 1)$ .

Para análise, foram utilizados dados de composição, abundância e distribuição das espécies ao longo das parcelas. O programa “R” foi utilizado para análises estatísticas (R Development Core Team 2013).

## **2.2 Redução do esforço amostral: padrão de distribuição de espécies da comunidade**

A análise utilizada é denominada de Teste de Mantel que faz comparações entre as informações presentes em cada nível amostral. A informação contida em cada nível de esforço reduzido foi comparada com o esforço máximo por meio de matrizes de similaridade que representam as informações de composição de espécies de cada esforço. Somando as amostras das 30 parcelas, o esforço máximo corresponde a 150 amostras e os níveis de redução correspondem a 120, 90, 60 e 30 subamostras, respectivamente. A significância do teste estatístico foi obtida a partir de testes de permutação com 1000 aleatorizações com cada nível de rarefação, sendo obtidos 10 valores para cada um deles, que, em seguida, foram utilizados para elaboração de um gráfico de rarefação. Na estatística de Mantel, valores mais próximos de 1 indicam elevada similaridade entre os níveis. Neste estudo foi adotado 0,7 ( $rM > 0,7$ ) como valor satisfatório para informar a similaridade entre as comunidades em cada nível de rarefação (Santos *et al.* 2008; Moraes *et al.* 2011). Sendo assim, para favorecer a comparação, foi o utilizado o critério utilizado em estudos anteriores, sendo selecionado o nível de subamostragem cuja a média foi superior a 0,7, no entanto, a escolha da suficiência amostral pode ser com base em outros critérios.

### **2.3 Redução do esforço amostral: relações ecológicas**

Foram estimadas relações ecológicas entre a composição de espécies com os valores da porcentagem de C e teores de N, P e no solo. Os valores dos elementos são referentes a análises químicas do solo realizadas em 2001 e encontram-se disponíveis no banco de dados do site do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) - <http://ppbio.inpa.gov.br/>. Foi feita uma análise da matriz de correlação de Pearson entre as variáveis independentes usadas nos modelos de regressão múltipla, de forma a evitar no mesmo modelo o uso de duas ou mais variáveis que se correlacionassem.

Nesta análise de redução, para representar a composição das espécies da comunidade, foi realizado primeiramente uma análise de PCoA que sumariza a informação da comunidade em eixos, sendo os dois primeiros eixos os mais informativos e por isso utilizados neste estudo. Para relacionar a distribuição das espécies com dados dos elementos do solo (C, N e P), cada um dos dois primeiros eixos da PCoA, foram selecionados para modelos de Regressão Múltipla. Em seguida, foram feitas regressões múltiplas com as possíveis combinações entre cada um dos dois eixos da PCoA com os elementos C, N e P, de forma que para cada eixo, um conjunto de sete modelos foi proposto, são eles: 1) Eixo com N + P + C; 2) Eixo com N + P; 3) Eixo com N + C; 4) Eixo com P + C; 5) Eixo com P; 6) Eixo com C e 7) Eixo com N. Cada conjunto de modelos foi submetido a uma análise de AIC com o objetivo de selecionar para cada um dos dois eixos o modelo que melhor representa a variação na composição de espécies da comunidade. Este melhor modelo é expresso pelo menor valor de AIC. Nesta análise, os valores de variância explicada ( $r^2$ ) foram utilizados para estimar a proximidade da informação ecológica contida em cada nível de redução do esforço amostral. Foram elaborados gráficos para representar a proximidade e variância explicada de cada nível amostral.

### **2.4 Redução dos Custos**

Foi calculado o tempo e custos mensais por pessoa, necessários, para processar as amostras. O material foi triado pelo aluno de pós-graduação nível mestrado (bolsa de R\$1.350,00 p/ mês, 8h/dia – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq) com auxílio de um bolsista de apoio técnico (R\$1.500,00 p/ mês, 4h/dia) e depois identificado até espécie/morfoespécie pelo mesmo aluno de pós-graduação nível



mestrado. Para comparação, foi obtido o valor médio anual do dólar (US\$) americano do ano de 2012 (período em que os espécimes foram processados, triados e identificados). O valor médio do dólar nesse período em reais foi R\$ 1,91. O tempo necessário para a execução das etapas deste trabalho, desde a coleta até a preservação, triagem, montagem das lâminas e identificação dos espécimes de colêmbolos foi quantificado.

### 3. RESULTADOS

Foram obtidos 1031 colêmbolos Entomobryomorpha edáficos nas 30 parcelas que foram classificados em 30 espécies/morfoespécies, duas famílias (Entomobryidae e Paronellidae) e 13 gêneros. Os gêneros com mais espécies/morfoespécies foram *Trogolaphysa* (11 morfoespécies), *Setogaster* (quatro espécies/morfoespécies) e *Lepidosira* (três morfoespécies). A maior abundância foi registrada para Paronellinae, representando 79,5% dos indivíduos, e *Trogolaphysa* foi o gênero mais diverso e abundante (78,3% dos espécimes e 36,5% das espécies da comunidade). Entre as espécies encontradas, *Trogolaphysa* sp. 3 foi a mais abundante (34,6%) e a única que esteve presente em todas as parcelas. Entomobryidae foi a mais diversa taxonomicamente, mas não ocorreu em todas as parcelas (Tabela 1).

Tabela 1. Abundância e frequência das espécies de colêmbolos (Entomobryomorpha) edáficos registradas na Reserva Ducke.

<b>Família/Subfamília/Tribo e Espécie</b>	<b>Abundância</b>	<b>Frequência</b>
<b>Entomobryidae</b>		
<b>Entomobryinae</b>		
<b>Tribo Seirini</b>		
<i>Lepidosira</i> sp. 1	7	6
<i>Lepidosira</i> sp. 2	8	6
<i>Lepidosira</i> sp. 3	34	19
<b>Tribo Willowsini</b>		
<i>Willowsia</i> sp. 1	1	1
<i>Willowsia</i> sp. 2	1	1
<b>Tribo Entomobryini</b>		
<i>Entomobrya</i> sp. 1	19	9
<b>Tribo Lepidocyrtini</b>		
<i>Acanthurella</i> sp. 1	1	1
<i>Pseudosinella</i> sp. 1	4	1
<i>Setogaster</i> sp. 1	15	11
<i>Setogaster</i> sp. 2	1	1
<i>Setogaster nigrosetosus</i> Folsom 1927	16	7
<i>Setogaster biphasis</i> Mari Mutt 1986	20	13

<b>Orchesellinae</b>		
<b>Tribo Heteromurini</b>		
<i>Heteromurtrella</i> sp. 1	48	17
<b>Tribo Mastigocerini</b>		
<i>Mastigoceras camponoti</i> Handschin 1924	1	1
<b>Tribo Orchesellini</b>		
<i>Dicranocentrus</i> sp. 1	34	18
<i>Orchesella</i> sp. 1	1	1
<b>Paronellidae</b>		
<b>Paronellinae</b>		
<b>Tribo Paronellini</b>		
<i>Campylothorax schafferi</i> Börner 1906	10	6
<i>Campylothorax</i> sp. 1	1	1
<i>Paronella</i> sp. 1	2	1
<b>Tribo Troglapedetini</b>		
<i>Trogolaphysa</i> sp. 1	197	28
<i>Trogolaphysa</i> sp. 2	174	26
<i>Trogolaphysa</i> sp. 3	357	30
<i>Trogolaphysa</i> sp. 4	14	8
<i>Trogolaphysa</i> sp. 5	15	5
<i>Trogolaphysa</i> sp. 6	35	17
<i>Trogolaphysa</i> sp. 7	2	1
<i>Trogolaphysa</i> sp. 8	7	7
<i>Trogolaphysa</i> sp. 9	4	2
<i>Trogolaphysa</i> sp. 10	1	1
<i>Trogolaphysa</i> sp. 11	1	1

### 3.1 Redução do esforço amostral: padrão de distribuição de espécies da comunidade

Os valores da correlação de Mantel mostram os níveis de redução amostral e a suficiência amostral de cada nível de redução em relação ao esforço máximo (5 subamostras por parcela) (Figura 1). O nível de redução aceitável foi o de quatro subamostras compostas em cada parcela, por atingir um percentual de similaridade superior a 0,7, com um valor médio de Mantel ( $r_M$ ) de 0,8. Dessa forma, em próximas coletas com este objetivo o número total de subamostras poderá ser reduzido para 120.

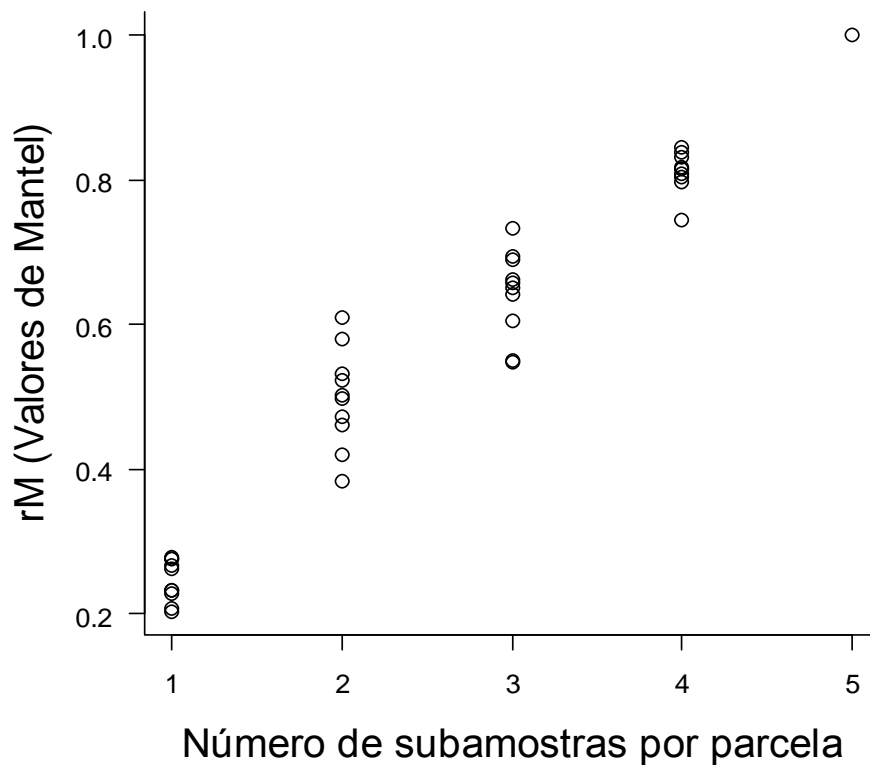


Figura 1. Correlação de Mantel entre o esforço máximo (5 subamostras) e níveis inferiores de rarefação por parcela na Reserva Ducke, módulo PPBio. Os 10 valores para cada nível de rarefação foram obtidos pela seleção randômica por reposição.

### 3.2 Redução do esforço amostral: relações ecológicas

Pelos resultados dos dois eixos da PCoA, as médias dos valores de percentual de variação explicada no níveis de rarefação de quatro subamostras são próximas ao valor existente para o esforço máximo de cinco subamostras (Figura 2 e 3). Dessa forma, se o enfoque do trabalho for direcionado as relações ecológicas estequiométricas entre a comunidade de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos as concentrações de C, N e P do solo, em próximas coletas com uso de mesmo protocolo amostral, o número total de subamostras poderá ser reduzido para 120.

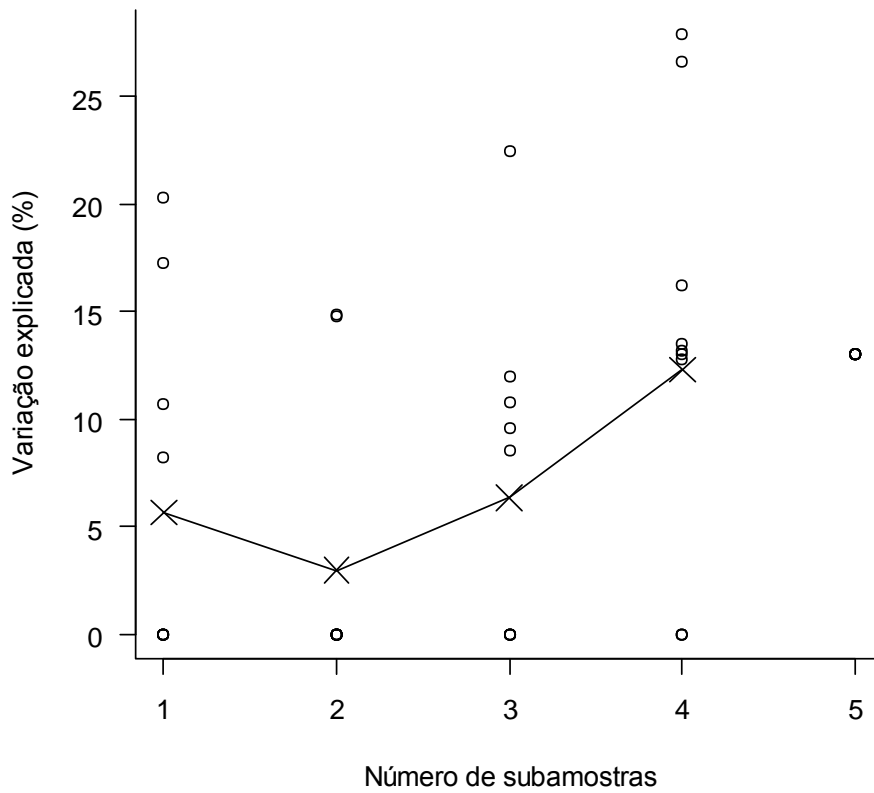


Figura 2. Variação explicada entre o primeiro eixo da PCoA da comunidade de colêmbolos edáficos e os resíduos de Carbono em cada nível de redução amostral. O símbolo em “X” representa as médias das aleatorizações em cada nível de redução amostral. A linha representa a distância entre as médias de cada nível de redução amostral.

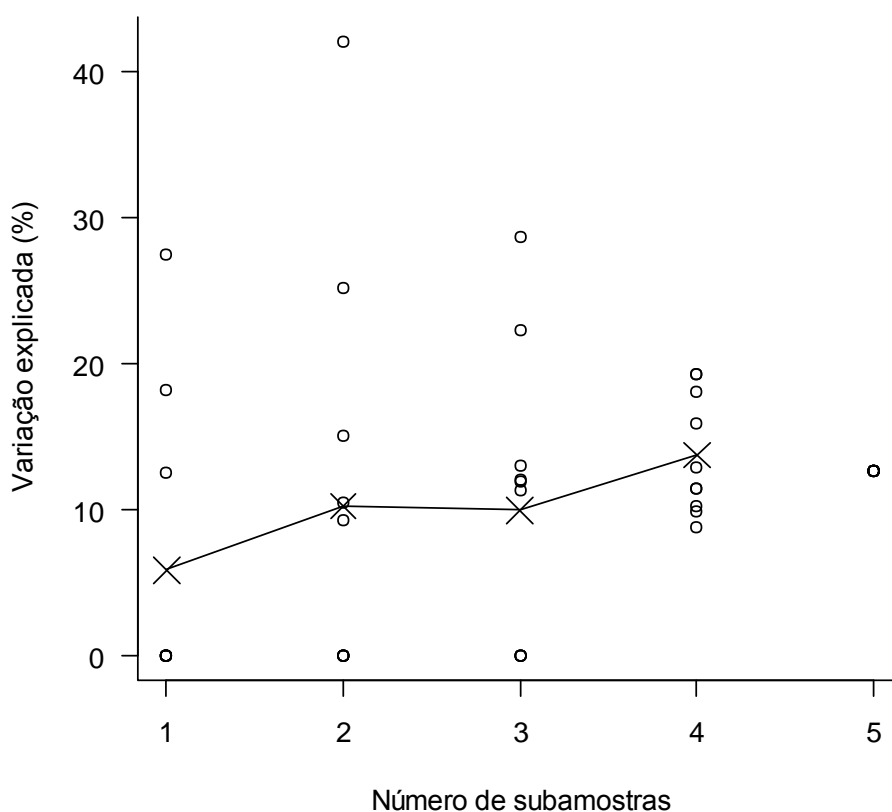


Figura 3. Variação explicada entre o primeiro eixo da PCoA da comunidade de colêmbolos edáficos e os resíduos de Nitrogênio e Fósforo em cada nível de redução amostral. O símbolo em “X” representa as médias das aleatorizações em cada nível de redução amostral. A linha representa a distância entre as médias de cada nível de redução amostral.

### 3.3 Redução de tempo e custos

O tempo necessário para realização da triagem e identificação dos espécimes foi de 10 meses, aproximadamente 300 dias, e os custos deste processo foi de R\$ 28.500,00 (Tabela 2 e 3). A partir dos resultados para os dois tipos de redução propostos, em próximas coletas com uso desse mesmo protocolo amostral, o número de amostras na parcela poderá ser reduzido para quatro, e o número total de amostras reduzido para 120. Essa redução possibilitará uma economia de R\$5.700,00 (U\$2.984,30) nos custos e de 60 dias (dois meses) no tempo necessário para todo o processo, com perda de 20% da informação sobre a comunidade (Tabela 3).

Tabela 2. Custos em tempo e dinheiro (R\$ e U\$) para realização das etapas de triagem, conservação e identificação dos espécimes de colêmbolos edáficos.

Despesas	Tempo Meses	Tempo Dias	R\$ Mensal	R\$ Total	U\$ Mensal	U\$ Total
Aluno de mestrado	10	300	1.350,00	13.500,00	706,80	7.068,00
Bolsista PCI Nível Médio	10	300	1.500,00	15.000,00	785,35	7.853,00
<b>Total</b>			<b>2.850,00</b>	<b>28.500,00</b>	<b>1.492,15</b>	<b>14.921,00</b>

Tabela 3. Economia em tempo e dinheiro (R\$ e U\$) em função de cada nível de redução amostral na parcela. Em negrito e entre linhas tracejadas o nível possível de redução, com as respectivas economias em tempo e dinheiro.

Nº de subamostras p/ parcela	Nº total de subamostras	Tempo (Dias)	Custo Financeiro (R\$)	Economia (R\$)	Custo Financeiro (U\$)	Economia (U\$)	Economia (%)
5	150	300	28.500,00	--	14.921,45	--	--
<b>4</b>	<b>120</b>	<b>240</b>	<b>22.800,00</b>	<b>5.700,00</b>	<b>11.937,15</b>	<b>2.984,30</b>	<b>20</b>
3	90	180	17.100,00	11.400,00	8.952,90	5.968,60	40
2	60	120	11.400,00	17.100,00	5.968,60	8.952,90	60
1	30	60	5.700,00	22.800,00	2.984,30	11.937,15	80

#### 4. DISCUSSÃO

Um protocolo de coleta é eficaz quando amostras adicionais possuem informações que compensem o tempo e recursos financeiros despendidos (Souza *et al.* 2012). O número de amostras e a abrangência espacial da sonda de 3,5 cm<sup>2</sup> de cada amostra ao longo de cada parcela parecem ter sido eficientes para representar a informação de composição de espécies e relações ecológicas dos colêmbolos Entomobryomorpha edáficos da Amazônia Central.

Os resultados obtidos mostram que a redução em número de subamostras por parcela é possível. Quatro subamostras por parcela foi um nível de redução eficiente em conservar os padrões de composição de espécies e as relações com as variáveis ambientais testadas (C, N e P). Uma vez que cada parcela encontra-se sobre mesma curva de nível, isso reduz a heterogeneidade da paisagem (Magnussum *et al.* 2005). Desse modo, é possível que a informação sobre a composição de espécies de colêmbolos Entomobryomorpha e as suas

relações estequiométricas com os elementos do solo sejam um reflexo das características relativamente homogêneas da parcela. Outro fator a ser considerado é que os colêmbolos edáficos possuem corpo mais desenvolvido para a locomoção em relação aos colêmbolos euedáficos (que vivem no interior do solo) e transitam ativamente sobre a paisagem do ambiente (Eisenbeis e Wichard 1985; Hopkin 1997; Zeppelini e Lima 2012). Assim, é possível que os colêmbolos edáficos por serem mais distribuídos sejam mais tolerantes as variações do meio.

Estudos realizados em florestas da região Amazônica com outros grupos taxonômicos obtiveram diferentes formas de redução de esforço amostral. Assim como neste presente estudo, também sugeriram a redução de gastos em tempo e em dinheiro. Zuquim (2007) concluiu ser possível uma redução de 60% do esforço amostral, a partir da mudança de 2,5 m para 1 m na largura da parcela de 250 m de comprimento, mantendo ainda o padrão de distribuição e a relação com o teor de argila do solo. Em estudo realizado por Santos e Franklin (2008) em área de savana Amazônica foi possível reduzir 30% da amostragem na parcela e utilizar somente 50% dos espécimes de ácaros oribatídeos em cada amostra. Souza *et al.* (2009) comprovou a redução de até 40% da amostragem de formigas em cada parcela de uma floresta primária da Amazônia Ocidental. Souza *et al.* (2012) testou a eficiência e complementariedade de três métodos de amostragem de formigas e em três florestas úmidas amazônicas com delineamento PPBio, constatando que somente o uso de “Pitfall traps” é suficiente para obter informações de composição e relações ecológicas da comunidade. Landeiro *et al.* (2012) sugeriram a redução de esforços a partir do uso de lianas como táxon substituto e representante de outros 21 táxons de plantas e animais. Todos esses estudos citados reforçam a possibilidade de redução dos esforços em estudos de comunidade, mediante a necessidade específica de cada pesquisa.

Os colêmbolos edáficos são bastante sensíveis a mudanças fitofisionômicas que implicam em mudanças sobre microhabitats (Hopkin 1997; Zeppelini *et al.* 2008; Abrantes 2011). O mesmo foi registrado para ácaros oribatídeos, cuja comunidade em savanas é muito diferente da registrada em florestas ombrófilas densa (Ferreira *et al.* 2012). Nesse sentido, nossos resultados não podem ser generalizados para todos os tipos de florestas Amazônicas. Mas estes resultados obtidos são bastante úteis em área representativa da região Amazônica, uma vez que a floresta ombrófila densa de terra firme cobre 42% do Bioma Amazônico (MMA, 2007).

Os recursos financeiros e o tempo economizado poderão ser destinados a compra de material laboratorial e bibliográfico, ou ao acesso em outras áreas da Amazônia,

configurando-se ainda em um estímulo a expansão do número de amostras independentes, que aumentará a confiabilidade do teste, e permitirá incluir além destas, outras variáveis preditoras na análise. Considerando que os custos de coleta e, principalmente, de triagem são enormes para o caso de invertebrados muito abundantes e diversos (ver Santos e Franklin 2008; Landeiro *et al.* 2012; Souza *et al.* 2012) e como também comprovamos no presente estudo, a nossa proposta de redução de esforço é bastante justificável.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrantes, E. A.; Bellini, B. C.; Bernardo, A. N.; Fernandes, L. H.; Mendonça, M. C.; Oliveira, E. P.; Queiroz, G. C.; Sautter, K. D.; Silveira, T. C.; Zeppelini, D. 2010. Synthesis of Brazilian Collembola: an update to the species list. *Zootaxa* (Online), v. 2388, p. 1-22.

Bellini, B. C.; Godeiro, N. N. 2012. A new species of *Tyrannoseira* (Collembola: Entomobryidae: Seirini) from the Brazilian coastal region. *Zoologia - Curitiba*, v. 29, p. 81-84.

Bellini, B. C.; Zeppelini, D. 2011. New genus and species of Seirini (Collembola, Entomobryidae) from Caatinga Biome, Northeastern Brazil. *Zoosystema* (Paris. Imprimé), v. 33, p. 545-555.

Bellinger, P. F.; Christiansen, K.A.; Janssens, F. 2011. Checklist of the Collembola of the World. [http:// www.collembola.org](http://www.collembola.org) (acesso em 10 de setembro de 2011).

Christiansen, K. 1964. Bionomics of Collembola. *Annual Review of Entomology*, 9:147-178.

Christiansen, K; Bellinger, P. 1998. *The Collembola of North America North of the Rio Grande*. Grinnell College, Iowa, p.1-1520.

Costa, F. ; Magnusson, W. E. 2010. The Need for Large-Scale, Integrated Studies of Biodiversity the Experience of the Program for Biodiversity Research in Brazilian Amazonia. *Natureza & Conservação*, v. 8, p. 3-12.

Eisenbeis, G.; Wichard, W. 1985. *Atlas on the Biology of Soil Arthropods*. Springer-Verlag, 434p.



Elser, J. J.; Dobberfuhl, D. R.; MacKay, N. A.; Schampel, J. H. 1996. Organism size, life history, and N: P stoichiometry. *BioScience*, 46, 674-684.

Ferreira, R. N. C., Franklin, E., Souza, J. L. P., Moraes, J. 2012. Soil oribatid mite (Acari: Oribatida) diversity and composition in semi-deciduous forest fragments in eastern Amazonia and comparison with the surrounding savanna matrix. *J. Nat. Hist.* 46, 2131–2144.

Franklin, E. N.; Schubart, H. O. R.; Adis, J. U. 1997. Ácaros (Acari:Oribatida) Edáficos de duas florestas inundáveis da Amazônia Central: Distribuição vertical, abundância e recolonização do solo após a inundação. *Revista Brasileira de Biologia*, 57, 501-520.

Franklin, E. N.; Morais, J. W.; Santos, E. M. R. 2001. Densidade e biomassa de Acari e Collembola em floresta primária, floresta secundária e policultura na Amazônia Central. *Andrias*, 15, 141-153.

Franklin, E.; Morais, J. W. 2006. Soil mesofauna in Central Amazon. In: Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O.; Brussaard, L. (Eds.). *Soil Biodiversity in Amazonian and other Brazilian Ecosystems*. Oxfordshire CABI Publishing, Wageningen, Netherlands, p. 142-162.

Gauer, U. 1995. *Zurtaxonomie und Ökologie der Collembolen zönosen der Schwarz und weibwasser-überschwemmungswälder (igapó und várzea) in Zentral amazonien*. Tese de doutorado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 184 p.

Hopkin, S. P. 1997. *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford, UK: Oxford Univ. Press. 330 pp.

Jacquemin, J.; Maraunc, M.; Roisin, Y.; Leponce, M. 2012. Differential response of ants to nutrient addition in a tropical Brown Food Web. *Soil Biology & Biochemistry*, 46, 10-17.

Kaneda, S.; Kaneko, N. 2002. Influence of soil quality on the growth of *Folsomia candida* (Willem) (Collembola). *Pedobiologia*, 46, 428-439.

Landeiro, V. L.; Bini, L. M.; Costa, F. R. C.; Franklin, E.; Nogueira, A.; Souza, J. L. P.; Moraes, J. ; Magnusson, W. E. 2012. How far can we go in simplifying biomonitoring assessments? An integrated analysis of taxonomic surrogacy, taxonomic sufficiency and numerical resolution in a megadiverse region. *Ecological Indicators*, v. 23, p. 366-373.

Luizão, F. J.; Schubart, H. O. R. 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, 43:259-265.

Magnusson, W. E.; Lima, A. P.; Luizão, R.; Luizão, F.; Costa, F.; Castilho, C. V. 2005. RAPELD: A modification of the Gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research. *Biota Neotropica*, 5 (2), 1-6.

Mebes, H. K.; Filser J. 1998. Does the species composition of Collembola affect nitrogen turnover? *Applied Soil Ecology*, 9 241-247.

Mendonça, M. C.; Abrantes, E. 2010. Redescription of *Proisotoma ramosi* Arlé, 1959 from Brazil (Collembola: Isotomidae) with designation of the neotype. *Zootaxa* (Auckland), v. 2420, p. 63-68.

Mendonça, M. C.; Abrantes, E.; Neves, A. C. 2012. New species of *Isotomiella* Bagnall, 1939 from Southeast of Brazil (Collembola, Isotomidae). *ZooKeys* (Print), v. 233, p. 21-30.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2007. Mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros. Brasília: MMA, [http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/\\_arquivos/mapas\\_cobertura\\_vegetal.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf)

Moraes, J.; Franklin, E.; Morais, J. W.; Souza, J. L. P. 2011. Species diversity of edaphic mites (Acari: Oribatida) and effects of topography, soil properties and litter gradients on their qualitative and quantitative composition in 64 km<sup>2</sup> of forest in Amazonia. *Experimental & Applied Acarology*, v. 55, p. 39-63.

Morais, J. W.; Oliveira, V. S.; Dambros, C. S.; Acioli, A.; Tapia-Coral, S. C. T. 2010. Mesofauna do solo em diversos sistemas de uso da terra no Alto Rio Solimões, AM. *Neotropical Entomology*, v. 39, p. 145-152.

Oliveira, E. P. 1983. *Colêmbolos (Hexapoda) epigêicos como indicadores ecológicos em ambientes florestais*. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil. 105p.

Oliveira, E. P. 1994. *Le peuplement des Collemboles édaphiques em Amazonie brésilienne: systématique, biogéographie et écologie*. Tese de Doutorado, Université Paul Sabatier, Toulouse – France, 198p.

Oliveira, E. P.; Deharveng, L. 1996. Deux Nouvelles Espèces de Pseudachorutinae Bicolores D'Amazonie (Collembola, Neanuridae). *Bulletin Société Entomologique*, Franca, v. 99, p. 389-395.

Oliveira, E. P. 2009. Collembola. In: Fonseca, C. R. V.; Magalhães, C.; Rafael, J. A.; Franklin, E. (Eds.). *A Fauna de Artrópodes da Reserva Florestal Ducke, estado atual do conhecimento taxonômico e biológico*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, v.1. p. 63-69.

Petersen, H. 2002. General aspects of collembolan ecology at the turn of the Millennium. *Pedobiologia*, 46, 246–260.

R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Queiroz, G. C.; Fernandes, L. H. 2011. New Brazilian species of *Furculanurida* Massoud, 1967 (Collembola: Neanuridae). *Zootaxa* (Online), v. 2805, p. 57-64.

Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7, 1207-1219.

Rusek, J. 2002. Taxonomy of Collembola at the beginning of the new millennium. *Pedobiologia* 46 : 215-224.

Santos, E. M. R.; Franklin, E. 2008. Cost-efficiency of Subsampling Protocols to Evaluate Oribatid-Mite Communities in an Amazonian Savanna. *Biotropica*, 40 (6): 728–735.

Souza, J. L. P.; Moura, C. A. R.; Harada, A. Y.; Franklin, E. 2007. Diversidade de espécies dos gêneros de *Crematogaster*, *Gnamptogenyse* *Pachycondyla* (Hymenoptera: Formicidae) e complementaridade dos métodos de coleta durante a estação seca numa estação ecológica no estado do Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, 37 (4) 649 – 656.

Souza, J. L. P.; Moura, C. A. R.; Franklin, E. 2009. Cost-efficiency and information reduction in inventories of ants in an Amazonian forest reserve. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, p. 940-948.

Souza, J. L. P.; Baccaro, F. B. ; Landeiro, V. L.; Franklin, E. ; Magnusson, W. E. 2012. Trade-offs between complementarity and redundancy in the use of different sampling techniques for ground-dwelling ant assemblages. *Applied Soil Ecology* (Print), v. 56, p. 63-73.

Zepellini, F.; Bellini, B. C. *Introdução ao estudo dos Collembola*. João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba, 2004. 82p.

Zeppelini, D.; Bellini, B. C.; Creão-Duarte, A. J.; Hernández, M. I. M. 2008. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation* 18,(5):1161-1170.

Zeppelini, D.; Lima, E. C. A. 2012. A new species of *Tyrannoseira* (Collembola, Entomobryidae, Seirini) from Paraíba, Northeastern Brazil. *Zootaxa* (Auckland. Print) v. 3423, p. 36-44.

Zuquim, G.; Costa, R. F. C.; Prado, J. 2007. Redução de esforço amostral vs. retenção de informação em inventários de pteridófitas na Amazônia Central. *Biota Neotropica*, 7, p. 218-223.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

- A amostragem em ampla escala espacial de 25 km<sup>2</sup> foi eficiente em registrar uma riqueza, antes somente obtida a partir de coletas ao longo de um ano e com uso de diferentes métodos amostrais. Isso demonstra que o aumento do esforço em abranger maior número de habitats implica no acesso a uma maior riqueza biológica.

- Os resultados deste trabalho sugerem que a distribuição das espécies da comunidade de Collembola está em partes relacionada aos elementos do solo C, N e P. Assim, essa interação poderá ser utilizada em estudos que busquem prever mudanças na composição de espécies em função de variações nas concentrações desses elementos na região Amazônica. Partindo do pressuposto de que interferências antropogênicas interferem sobre a disponibilidade dos elementos químicos C, N e P. As informações deste estudo ecológico poderão ser utilizadas em projetos de conservação, para prever consequências sobre a composição de espécies de colêmbolos, em função de alterações por atividades humanas sobre a disponibilidade dos elementos químicos do solo.

- Nosso estudo foi o primeiro a investigar como a redução do número de subamostras afeta o tempo e os custos financeiros no levantamento da comunidade de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos. Comprovamos que mais de 80% da informação sobre a comunidade ainda é retida, mesmo com a redução de 20% do esforço amostral de coleta. Sendo assim, a redução do esforço amostral é possível e eficiente em conservar o padrão de composição das espécies de colêmbolos Entomobryomorpha edáficos e as relações ecológicas com os elementos do solo.

- A redução obtida poderá ser utilizada em futuras investigações que objetivem a conservação e monitoramento de áreas da Amazônia, atendendo a demanda proveniente de agências governamentais e empresas privadas que necessitam de resultados rápidos para tomadas de decisões. O trabalho foi efetuado numa floresta ombrófila densa de terra firme que cobre 42% do Bioma Amazônico no Brasil (MMA 2007). Portanto, a redução do esforço que estamos sugerindo também poderá ser empregada na maior parte da região Amazônica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, N. O.; Gualberto, T. L.; Chilson, E. F. 2006. A medium-spatial scale distribution pattern of Pseudoscorpionida (Arachnida) in a gradient of topography (altitude and inclination), soil factors, and litter in a central Amazonia forest reserve, Brazil. *Brazilian Journal Biology*. 66 (3):791-802.
- Arlé, R. 1959. Generalidades e importância ecológica da ordem Collembola (Apterygota). *Atas da sociedade biológica do Rio de Janeiro*, 3 (2):1-7.
- Christiansen, K; Bellinger, P. 1998. *The Collembola of North America North of the Rio Grande*. Grinnell College, Iowa, p.1-1520.
- Domene, X.; Natal-da-Luz, T.; Alcañiz, J. M.; Andrés, P.; Sousa, J. P. 2007. Feeding Inhibition in the Soil Collembolan *Folsomia candida* as an Endpoint for the Estimation of Organic Waste Ecotoxicity. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 26 (7): 1538-1544.
- Ernst, G.; Hensele, I.; Felten, D.; Emmerling, C. 2009. Decomposition and mineralization of energy crop residues governed by earthworms. *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 1548–1554.
- Franklin, E. N.; Schubart, H. O. R.; Adis, J. U. 1997. Ácaros (Acari: Oribatida) Edáficos de duas florestas inundáveis da Amazônia Central: Distribuição vertical, abundância e recolonização do solo após a inundação. *Revista Brasileira de Biologia*, 57, 501-520.
- Franklin, E. N.; Morais, J. W.; Santos, E. M. R. 2001. Densidade e biomassa de Acari e Collembola em floresta primária, floresta secundária e policultura na Amazônia Central. *Andrias*, 15, 141-153.
- Franklin, E.; Magnusson, W. E.; Luizão, F. J. 2004. Relative effects of biotic and abiotic factors on the composition of soil invertebrate communities in an Amazonian savanna. *Applied Soil Ecology*, 29: 259–273.
- Franklin, E.; Morais, J.W. 2006. Soil mesofauna in Central Amazon. p. 142-162. In: Moreira, F. M.S.; Siqueira, J. O.; Brussaard, L. (Eds.). *Soil Biodiversity in Amazonian and other Brazilian Ecosystems*. Oxfordshire CABI Publishing, Wageningen, Netherlands.
- Gauer, U. 1995. *Zurtaxonomie und Ökologie der Collembolen zönosen der Schwarz und weibwasser-überschwemmungswälder (igapó und várzea) in Zentral amazonien*. Tese de doutorado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 184 p.

- González, G.; Ley, R. E.; Schmidt, S. K.; Zou, X.; Seastedt, T. R. 2001. Soil ecological interactions: comparisons between tropical and subalpine forests. *Oecologia*, Berlin, v. 128, p. 549-556.
- Hopkin, S. P. 1997. *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford, UK, 330 pp.
- Huang, C.; Tully, K. L.; Clark, D.; Oberbauer, S. F.; McGlynn, T. P. 2012. The  $\delta^{15}\text{N}$  signature of the detrital food web tracks a landscape-scale soil phosphorus gradient in a Costa Rican lowland tropical rain Forest. *Journal of Tropical Ecology*, 28:395–403.
- Jacquemin, J.; Maraunc, M.; Roisin, Y.; Leponce, M. 2012. Differential response of ants to nutrient addition in a tropical Brown Food Web. *Soil Biology & Biochemistry*, 46, 10-17.
- Kaspari, M.; Yanoviak, S. P. 2009. Biogeochemistry and structure of tropical brown foodwebs. *Ecology*, 90, 3342-3351.
- Landeiro, V. L.; Bini, L. M.; Costa, F. R. C.; Franklin, E.; Nogueira, A.; Souza, J. L. P.; Moraes, J.; Magnusson, W. E. 2012. How far can we go in simplifying biomonitoring assessments? An integrated analysis of taxonomic surrogacy, taxonomic sufficiency and numerical resolution in a megadiverse region. *Ecological Indicators*, v. 23, p. 366-373.
- Luizão, F.J; Schubart, H.O.R. 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, 43:259-265.
- Magnusson, W. E., Lima, A. P., Luizão, R., Luizão, F., Costa, F., Castilho, C. V. 2005. RAPELD: A modification of the Gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research. *Biota Neotropica*, 5(2), 1-6.
- Moraes, J. 2010. *Diversidade de ácaros edáficos (Acari:Oribatida) e redução do esforço amostral no gradiente ecológico de 10 mil ha de floresta de terra-firme da Reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil*. Dissertação de mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.
- Moraes, J.; Franklin, E.; Morais, J. W.; Souza, J. L. P. 2011. Species diversity of edaphic mites (Acari: Oribatida) and effects of topography, soil properties and litter gradients on their qualitative and quantitative composition in 64 km<sup>2</sup> of forest in Amazonia. *Experimental & Applied Acarology*, v. 55, p. 39-63.
- Oliveira, E. P. 1983. *Colêmbolos (Hexapoda) edáficos como indicadores ecológicos em ambientes florestais*. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil. 104p.

- Oliveira, E. P. 1994. *Le peuplement dès Collemboles édaphiques em Amazonie brésilienne: systématique, biogéographie et écologie*. Tese de Doutorado, Université Paul Sabatier, Toulouse – France. 198p.
- Oliveira, M.L.; Baccaro F.B.; Braga-Neto, R.; Magnusson, W.E. 2008. *Reserva Ducke: a biodiversidade através de uma grade*. Áttema Design Editorial, Manaus, Amazonas. 166 pp.
- Ponge, J. F. 2000. Vertical distribution of Collembola (Hexapoda) and their food resources in organic horizons of beech forests. *Biology Fertility Soils*, 32:508–522.
- Ponge, J. F.; Gillet, S.; Dubs, F.; Fedoroff, E.; Haese, L; Sousa, J.P. & Lavelle, P. 2003. Collembolan communities as indicators of land use intensification. *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 813-826.
- Ponge, J. F.; Dubs, F.; Gillet, S.; Sousa, J. P. & Lavelle, P. 2006. Decreased biodiversity in soil springtail communities: the importance of dispersal and landuse history in heterogeneous landscapes. *Soil Biology and Biochemistry*. 38(5): 1158-1161.
- Ribeiro, J. E. L.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.; Martins, L.H.P.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E.C.; Silva, C.F.; Mesquita, M. R.; Procópio, L. C. 1999. *Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*. Manaus, INPA-DFID. 793 p.
- Souza, J. L. P.; Baccaro, F. B. ; Landeiro, V. L.; Franklin, E. ; Magnusson, W. E. 2012. Trade-offs between complementarity and redundancy in the use of different sampling techniques for ground-dwelling ant assemblages. *Applied Soil Ecology* (Print), v. 56, p. 63-73.
- Rotheray, T. D.; Boddy, L.; Jones, H. 2009. Collembola foraging responses to interacting fungi. *Ecological Entomology*, 34, 125-132.
- Sousa, J. P.; Gama, M. M.; Pinto, C.; Keating, A.; Calhã, C.; Lemos, M.; Castro, C.; Luz, T.; Leitão, P.; Dias, S. 2004. Effects of land-use on Collembola diversity patterns in Mediterranean landscape. *Pedobiologia*. 48(5-6): 609-622.
- Zepellini, F.; Bellini, B. C. *Introdução ao estudo dos Collembola*. João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba, 2004. 82p.
- Zeppelini, D.; Bellini, B. C.; Creão-Duarte, J. A.; Hernandez, M. I. M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation*, v. 18, p. 1161-1170.



Zeppelini, D. Collembola. 2012. In: José Albertino Rafael; Gabriel A. R. Melo; Claudio J. B. de Carvalho; Sônia A. Casari; Reginaldo Constantino. (Org.). *Insetos do Brasil Diversidade e Taxonomia*. 1ed. Ribeirão Preto: Holos, v. 1, p. 201-212.