

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENTOMOLOGIA – PPG-ENT

**FATORES AMBIENTAIS NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE
ASSEMBLEIAS DE COLÊMBOLOS (COLLEMBOLA:
ENTOMOBRYOMORPHA) EDÁFICOS E REDUÇÃO DO ESFORÇO
AMOSTRAL NA AMAZÔNIA**

INAURA PATRÍCIA DA SILVA SANTOS

Manaus, Amazonas

Junho, 2016

INAURA PATRÍCIA DA SILVA SANTOS

**FATORES AMBIENTAIS NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE
ASSEMBLEIAS DE COLÊMBOLOS (COLLEMBOLA:
ENTOMOBRYOMORPHA) EDÁFICOS E REDUÇÃO DO ESFORÇO
AMOSTRAL NA AMAZÔNIA**

ORIENTADOR: Dr. JOSÉ WELLINGTON DE MORAIS

CO-ORIENTADORA: Dra. ELIZABETH FRANKLIN CHILSON

CO-ORIENTADOR: Dr. BRUNO CAVALCANTE BELLINI

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

Manaus, Amazonas

Junho, 2016

Banca Examinadora

Fabrcio Beggato Baccaro (UFAM)

(Aprovada)

Daniell R. Rodrigues Fernandes (INPA)

(Aprovada)

Gilcélia Melo Lourido (INPA)

(Aprovada)

Galileu Petronilo da Silva Dantas (INPA)

(Aprovada)

Ulisses Gaspar Neiss (Polícia Civil/AM)

(Aprovada)

S237	Santos , Inaura Patrícia da Silva
	Fatores ambientais na distribuição espacial de assembleias de colêmbolos (Collembola: Entomobryomorpha) edáficos e redução do esforço amostral na Amazônia /Inaura Patrícia da Silva Santos. --- Manaus: [s.n.], 2016. 116 f.: il.
	Tese (Doutorado) --- INPA, Manaus, 2016. Orientador: José Wellington de Moraes Coorientador: Elizabeth Franklin Chilson e Bruno Cavalcante Bellini Área de concentração: Entomologia
	1. Colêmbolos . 2. Entomobryomorpha . 3. Inventários . I.
Título.	CDD 595

Sinopse:
Estudou-se o padrão de distribuição de colêmbolos edáficos associados a fatores ambientais em florestas de diferentes fitofisionomias na Amazônia. Também, foi avaliado a possibilidade da elaboração de protocolos de coletas padronizados baseados na redução do número de subamostras e métodos de coleta visando fornecer dados para a manutenção da biodiversidade a custos baixos.
Palavras-chave: Composição de espécies; Entomobryomorpha; Gradiente edáfico; Métodos complementares; Protocolo de coleta.

A minha família, meus pais (Maria e Guilherme), meus irmãos (Isabel e Iwldson) e meus sobrinhos (Caroline, Camila e Ítalo) pelo total apoio cada um a seu modo, amor e inesquecíveis momentos.

Aos meus avôs por cada conversa, risada e amor que me proporcionaram.

A minha família do coração que cresce a cada dia, em especial minha mãe, Lizianne, que sempre está a postos para me ajudar.

Amo cada um de vocês!

Agradecimentos

Ao Dr. José Wellington de Moraes pela orientação, paciência, compreensão e ajuda em todas as etapas desse trabalho. Todos os conselhos de orientador e amigo serão levados para a vida. Meus sinceros agradecimentos, sem sua ajuda, esse trabalho não teria sido finalizado.

À Dra. Elizabeth Franklin Chilson pela orientação, paciência e dedicação. Minha mãe científica que sabe ser dura quando é preciso, mas é na verdade uma mãezona que ensina sua prole a amadurecer profissionalmente e a lidar com os percalços da vida. Se me sinto um pouquinho que seja mais madura é graças a você. Sem palavras para expressar de fato minha gratidão, esse trabalho foi de fato finalizado por sua grandiosa ajuda, apoio e compreensão em todas as situações complicadas que passei.

Ao Dr. Bruno Cavalcante Bellini pela coorientação pelo suporte e amizade, ensinando os primeiros passos para trabalhar com os colêmbolos. Obrigada por responder todos meus e-mails e sanar todas as dúvidas sobre o grupo que não foram poucas

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) pelo apoio logístico, infraestrutura.

À Coordenação de Biodiversidade (CBio) pelo apoio logístico, infraestrutura equipamentos de laboratório e as disciplinas no curso.

Ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia pela oportunidade da realização do doutorado.

A todos os professores que tive a oportunidade de conhecer dos cursos de PPGEnt, PPGBot e PPGEco pela transmissão de conhecimento e amizade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Centro de Estudos Integrados da Biodiversidade Amazônica (CENBAM) e ao Programa de Pesquisas em Biodiversidade (PPBio), que arcou com as despesas de campo, material de laboratório e serviços de terceiros.

Ao projeto “Determinantes da distribuição das espécies na Amazônia: Uma abordagem com base na filogenia, na distribuição das características morfológicas e ecológicas das espécies e no conservatismo de nicho” – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/474867/2011-0), por arcar com as despesas de campo.

Ao projeto “Entomobryomorpha (Arthropoda: Hexapoda: Collembola) edáficos: ecologia e redução do esforço amostral em floresta de terra firme na Amazônia” – Fundação de Amparo a Pesquisa do Amazonas (FAPEAM/ 062.00702/2015), por possibilitar a conclusão do capítulo I, na compra de equipamento e material de laboratório.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pelas licenças concedidas nas áreas de proteção.

Ao Antônio e a Beatriz Lisboa e toda a equipe, pelo suporte e logística no Parque Nacional do Viruá. Se não ficasse com sarna e alérgica em plena atividade de campo não seria eu, mas sorte minha ter total apoio para conseguir concluir o campo sem desanimar.

Ao Benjamin e sua equipe, pela recepção e por toda ajuda na logística na Estação Ecológica de Maracá. A querida Dona Leonara e seu Guerreiro pelo ter gentilmente cozinhado muitas vezes, apoio e ótimas conversas. Nossa quanto aprendizado!

Ao pessoal do Laboratório de Sistemática e Ecologia de Invertebrados do Solo, novo e antigo, Breno, Nete, Samuel e Diego Guilherme, pela amizade, apoio e por toda a ajuda na triagem do material. Márlon pela amizade, esclarecimentos de dúvidas, carinho e força nas muitas horas difíceis (Eh nois, manobrow!). Nikolas pela amizade e por toda a ajuda na vida dura de trabalhar com bichos tão minúsculos e tão cabeludos. Pedro pela amizade, apoio 100% desde o início e toda a ajuda com a parte estatística, sem sua ajuda ia ser difícil demais. Fabinho por toda a amizade, nas trocas de experiências pessoais e com os colêmbolos; ajudando-me antes mesmo da minha chegada em Manaus; Você se tornou um querido tão rapidinho, foi muita conexão, né mano!?! <3 (colar de beijos para você!). Camila pelo apoio e amizade em todas as horas; nós juntamente com Fábio, Melina e Breno formamos a “mão” que ajuda, apoia e liberta, mostrando que amizade não precisa de tempo, mas uma sintonia S2. Jorgão pela amizade e carinho constante, me alimentando sempre e salvando vidas com a estatística. Kelve e Thais por todo carinho nesses últimos dois anos. Vitão pela amizade e presentes (ainda tenho os estiletes muito úteis nas triagens e meu chaveiro de Paris) no início do doutorado. Juliana, a mana mais legal que existe; Obrigada pela amizade em todas as horas, por ajudar no estágio docência e suporte total... Meus sinceros agradecimentos a tod@s! =)

Aos colegas de disciplinas e corredores por tornar tudo mais leve. Não poderia deixar de citar uma pessoa tão linda e maravilhosa como a Val, sempre tão solícita, me ajudando demais nessa Amazônia, inclusive madrugadas a fora na minha luta para qualificar. Meu muito obrigada, mana!

Aos amigos que tive o prazer de aprender e conviver durante esses anos. A mana Malu, que mesmo com essa dualidade de diferenças e semelhanças conseguimos estreitar nossa amizade, compartilhar e dar suporte uma a outra com total respeito ao longo dessa caminhada. Sobrevivemos mana! =)

Ao pessoal de Maceió, Victor, Ana, Lizianne, Sandra, Adélia, Paula, Raíssa, Wagner (*in memorian*), Pedro, Elma, Clarissa, William, Pollyana e Washington pelos 11 anos de amizade verdadeira, pelas brigas e as pazes feitas logo em seguida e todo o suporte via Skype, Gtalk, Facebook e Whatsapp. O tempo nos fez mais forte para suportar a distância e perdas difíceis em nossa galera sem noção. Amo vocês como emo S2. Victor ganhará um pouco mais de destaque, porque ele como ninguém sabe de cada vírgula, cada agonia passada durante todo o doutorado. Mano, você está no meu coração e nas ligações constantes hahahahahahahah

Aos auxiliares de campo por todo o suporte com o material de campo, nas caminhadas e conversas que as coletas de Maracá e Viruá me proporcionaram. Sem a ajuda de vocês não teria terminado todas as coletas de forma tão hábil.

O pessoal dos serviços gerais, em especial Dona Maria e Dona Alba, por todo o carinho, principalmente no início do curso. Foi difícil todo o processo de adaptação/amadurecimento e problemas enfrentados, mas chegamos lá.

Os funcionários da biblioteca por me aguentaram nesses últimos meses, na minha busca por um lugarzinho tranquilo que pudesse me concentrar e finalizar esse trabalho. Desculpe por muitas vezes só sair da sala de estudos no último minuto para encerrar o expediente, eram muitos pensamentos em processo de conclusão.

A todos que tive o prazer de conviver nesse período do doutorado!

Resumo

A destruição das paisagens naturais tem intensificado estudos ecológicos e conservacionistas da fauna edáfica. Os artrópodes são usados frequentemente como modelo para estudos sobre integridade e funcionamento dos ecossistemas terrestres. Usando dois métodos de coleta, investigamos o padrão de distribuição espacial e a suficiência amostral de colêmbolos edáficos, para a criação um protocolo de coleta em diferentes fitofisionomias na Amazônia. Três áreas de florestas na Amazônia. Em cada área, foram usadas 30 parcelas de 250 m, espaçadas 1 km entre si. A profundidade da serrapilheira, o teor de argila e de fósforo do solo foram usados para avaliar as relações ecológicas com a comunidade de colêmbolos. Na Reserva Ducke foi realizado um inventário em 2011 utilizando o aparelho de Berlese-Tullgren. Foram obtidos 4.126 indivíduos, 28 espécies de três famílias colêmbolos. A redução do esforço de coleta através da similaridade da composição do esforço máximo em comparação com esforços reduzidos foi eficiente ($rP > 0,6$), porém, a redução para manutenção das respostas ecológicas não foi comprovada, pois o padrão ecológico capturado no esforço máximo não foi recuperado no esforço reduzido. Portanto, sugerimos que a redução do esforço amostral com o método de Berlese-Tullgren é possível apenas para pesquisas de cunho taxonômico. Em 2012 foi realizado um inventário na Estação Ecológica de Maracá com dois métodos de coleta (Berlese-Tullgren e Pitfall) e avaliado o custo-benefício dessas duas técnicas. Combinando os métodos, foram registrados 4.453 indivíduos e 15 espécies. Os métodos, Berlese-Tullgren e Pitfall, detectaram composições diferentes de espécies, sem sobreposição de informação. Porém, usando apenas o Pitfall, o padrão ecológico capturado com os dois métodos combinados é recuperado. Assim, concluímos que a utilização de apenas um método de coleta é viável, capacitando o Pitfall como um método eficaz na amostragem de colêmbolos. Nos anos de 2012 e 2013 foram realizados inventários na Ducke, em Maracá e no Parque Nacional do Viruá, utilizando Pitfall. Foram coletados 10.295 colêmbolos e 20 espécies nas três áreas de proteção. A comunidade de colêmbolos edáficos foi influenciada pelos fatores ambientais nas três áreas. A composição de espécies muda em função do gradiente de serrapilheira na Ducke e em Maracá, com o teor de argila na Ducke e em Viruá, e com o teor de fósforo do solo em Viruá. A redução de 10 para cinco subamostras por parcela foi eficiente para amostrar as três áreas, uma vez que no esforço reduzido registramos alta similaridade na composição de espécies e da recuperação dos padrões ecológicos registrados no esforço máximo. Desse modo, a redução de subamostras foi eficaz com o pitfall nas três áreas. A redução do esforço amostral propicia a simplificação do protocolo que demandará menor esforço no campo e laboratório em termos de tempo e custos, contribuindo com dados para a manutenção da biodiversidade.

Palavras-chave

Amazônia, mesofauna de solo, Entomobryomorpha, suficiência amostral, inventários.

Abstract

The destruction of natural landscapes has intensified ecological and conservation studies of soil fauna. Arthropods are often used as a model for studies on integrity and functioning of terrestrial ecosystems. Using two collection methods, we investigated the spatial distribution pattern and the sample sufficiency of edaphic springtails to create one collection protocol in different vegetation types in the Amazon. Standardized samples were taken by RAPELD system in the years 2011, 2012 and 2013 in three forests in the Amazon. In each area, 30 plots of 250 m, spaced 1 km from each other were used. The depth of the litter, the clay and phosphorus content were used to assess the ecological relationships with the community of springtails. In Reserva Ducke the inventory was carried out in 2011 using the Berlese-Tullgren apparatus. In total, 4,126 individuals, 28 species of three families springtails were recorded. The reduction in sampling effort by the similarity with the maximum effort composition in reduced effort was efficient ($rP > 0.6$), but the maintenance of ecological responses was not showed because the the ecological relationship captured with the maximum effort was not recovered in reduced efforts. Therefore, the reduction of the sampling effort-with the Berlese method was possible only for research taxonomic aspects. In 2012 we conducted a survey in Maracá Ecological Station with two collection methods, Berlese-Tullgren and pitfall and evaluated the cost-benefit of these two techniques. Combining the methods, there were 4,453 individuals and 15 species. The methods, Berlese-Tullgren and Pitfall, detect different species compositions without overlapping information. However, using only Pitfall, the ecological pattern captured with the two combined methods is recovered. We concluded that the use of only one method of collection is viable, enabling the pitfall as an effective method for sampling springtails. In the years 2012 and 2013 we carried out surveys in Ducke, Maraca and Viruá National Park using Pitfall. In total, 10,295 springtails and 20 species were recorded in the three forests. The community of springtails edaphic was influenced by environmental factors in the three areas. The species composition changes according to the litter gradient in Ducke and Maraca with the clay content in the Ducke and Viruá, and the fóforo content of the soil in Viruá. The reduction from 10 to five subsamples per plot was efficient to sample the three areas, since the reduced effort recorded high similarity in species composition and recovered the ecological pattern recorded with the maximum effort. We concluded that the reduction of subsamples was effective with Pitfall in three areas in the Amazon. Reduction of sampling effort provides the protocol simplification that require less effort in the field and laboratory in terms of time and cost, contributing with data to the maintenance of biodiversity.

Keywords

Amazon, soil mesofauna, Entomobryomorpha, sampling sufficiency, inventories.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
INTRODUÇÃO GERAL.....	2
OBJETIVOS.....	5
MATERIAL E MÉTODOS.....	6
Área de estudo.....	6
Delineamento amostral.....	9
Método de Coleta.....	10
Triagem, Montagem e Identificação.....	14
 CAPÍTULO I	
Padrão de distribuição de Entomobryomorpha edáficos e eficiência amostral em Floresta Ombrófila Densa na Amazônia.....	16
INTRODUÇÃO.....	17
MATERIAL E MÉTODOS.....	19
Variáveis Ambientais.....	19
Análise dos dados.....	20
RESULTADOS.....	21
Padrão de distribuição de Entomobryomorpha edáficos coletados com o esforço máximo na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.....	21
Relações entre a riqueza e abundância de colêmbolos edáficos com o teor de argila, teor de fósforo e profundidade da serrapilheira na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.....	23

Composição e distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos com as variáveis ambientais na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.....	24
Redução do esforço amostral: similaridade e relação ecológica com a composição de espécies de colêmbolos edáficos na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.....	27
Custos financeiros para o esforço máximo e esforços reduzidos.....	30
DISCUSSÃO.....	31
Padrão de distribuição de Entomobryomorpha edáficos coletados com o esforço máximo na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.....	31
Relação da riqueza e abundância de espécies de Entomobryomorpha edáficos com o teor de argila, teor de fósforo e profundidade da serrapilheira na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.....	33
Composição e distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos com as variáveis ambientais na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.....	33
Redução do esforço amostral: similaridade e composição de espécies com as variáveis ambientais na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.....	34
Custos financeiros para o esforço máximo e esforços reduzidos.....	35
CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

CAPÍTULO II

Custo-benefício da combinação de aparelho de Berlese-Tullgren e Armadilha do tipo Pitfall na amostragem de assembleias de Isotomidae e Paronellidae (Collembola: Entomobryomorpha) edáficos em um gradiente florestal, em Roraima, Brasil.....	41
INTRODUÇÃO.....	42
MATERIAL E MÉTODOS.....	43

Variáveis Ambientais.....	44
Análise dos dados.....	44
RESULTADOS.....	46
Padrão de distribuição de colêmbolos edáficos ao longo do gradiente florestal.....	46
Comparação da composição de espécies de colêmbolos edáficos entre os métodos.....	48
Similaridade da composição de espécies de colêmbolos edáficos.....	48
Relação ecológica da composição de espécies de colêmbolos edáficos.....	49
Redução dos custos financeiros.....	51
DISCUSSÃO.....	52
Padrão de distribuição de colêmbolos edáficos em Maracá.....	52
Comparação da composição de espécies de colêmbolos edáficos entre os métodos.....	53
Similaridade da composição de espécies de colêmbolos edáficos	54
Relação ecológica da composição de espécies de colêmbolos edáficos.....	54
Redução dos custos financeiros.....	55
CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
CAPÍTULO III	
Influência de variáveis ambientais sobre assembleias de colêmbolos (Collembola: Entomobryomorpha) edáficos e eficiência amostral em florestas tropicais, Brasil.....	62

INTRODUÇÃO.....	63
MATERIAL E MÉTODOS.....	65
Variáveis Ambientais.....	65
Análise dos dados.....	66
RESULTADOS.....	67
Padrão de distribuição de Isotomidae e Paronellidae nas três áreas.....	67
Composição de espécies entre as áreas.....	70
Relações da abundância e riqueza de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais nas três áreas.....	71
Composição e distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae nas três áreas.....	73
Redução do esforço amostral: similaridade e relação ecológica com a composição de espécies edáficos de Isotomidae e Paronellidae.....	81
Redução dos custos financeiros.....	87
DISCUSSÃO.....	88
Padrão de distribuição de Isotomidae e Paronellidae em três áreas.....	88
Composição de espécies entre as áreas.....	90
Relações da abundância e riqueza de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais nas três áreas.....	91
Composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae para as três áreas.....	91
Redução do esforço amostral: similaridade e relação ecológica com a composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae.....	92
Redução dos custos financeiros.....	93
CONCLUSÃO.....	94

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
SÍNTESE.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
APÊNDICE.....	107
ANEXO.....	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos métodos de coletas utilizados, número de parcelas amostradas, número de subamostras por parcela, total de subamostras e períodos de coleta para cada área.....	11
--	----

Capítulo I

Tabela 1. Riqueza, abundância e frequência de colêmbolos edáficos registrados.....	22
--	----

Tabela 2. Tabela 2. Modelos de regressões múltiplas das variáveis ambientais com riqueza e abundância de colêmbolos edáficos. Nas colunas estão representadas as variáveis respostas e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).....	24
---	----

Tabela 3. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de colêmbolos edáficos, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA. Nas colunas estão representadas as variáveis respostas e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).....	25
--	----

Tabela 4. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de colêmbolos edáficos, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).....	30
---	----

Tabela 5. Tabela 5. Economia estimada em tempo e dos custos em reais (R\$) e dólar (US\$) para cada nível do esforço amostral, baseado na redução do número de subamostras por parcela.....	31
---	----

Capítulo II

- Tabela 1. Riqueza, abundância e frequência (entre parênteses) de colêmbolos edáficos registrados nas 30 parcelas permanentes. 47
- Tabela 2. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de colêmbolos edáficos, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, com o esforço máximo (Berlese-Tullgren e Pitfall) e com os esforços reduzidos (um método). Nas colunas estão representados os níveis de esforço por método e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R². Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$)..... 50
- Tabela 3. Economia estimada em tempo e dos custos em reais (R\$) e dólar (US\$) para a redução do nível do esforço amostral, baseada no número de métodos de coleta..... 52

Capítulo III

- Tabela 1. Riqueza, abundância e frequência (entre parênteses) de espécies de Isotomidae e Paronellidae registradas para cada área..... 68
- Tabela 2. Modelos de regressões múltiplas das variáveis ambientais com riqueza e abundância de Isotomidae e Paronellidae nas três áreas. Nas colunas estão representadas as áreas amostradas e as variáveis respostas e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R². Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$)..... 72
- Tabela 3. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, nas três áreas. Nas colunas estão representadas as áreas amostradas e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R². Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$)..... 74
- Tabela 4. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a

composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, na Ducke. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$)..... 83

Tabela 5. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, em Viruá. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$)..... 85

Tabela 6. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, em Maracá. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$)..... 86

Tabela 7. Economia dos custos em reais (R\$) e em dólar (US\$) para as etapas da redução do esforço amostral nas três áreas..... 88

APÊNDICE

Tabela 1. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, na Ducke. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$)..... 107

Tabela 2. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, em Viruá. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$)..... 109

Tabela 3. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, em Viruá. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$)..... 111

ANEXO

Tabela 1. Valores médios das variáveis ambientais utilizadas como preditoras na Ducke..... 113

Tabela 2. Valores médios das variáveis ambientais utilizadas como preditoras em Maracá..... 114

Tabela 3. Valores médios das variáveis ambientais utilizadas como preditoras em Viruá..... 115

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa topográfico da Reserva Florestal Adolpho Ducke. As linhas pontilhadas representam a grade padrão de amostragem do PPBio e os pontos escuros representam as 30 parcelas permanentes. As cores representam os gradientes de altitude das áreas onde cores em marrom estão as áreas mais altas e em verdes as áreas mais baixas (Fonte: ppbio.inpa.gov.br)..... 7
- Figura 2. Mapa topográfico da Estação Ecológica de Maracá. As linhas pontilhadas representam a grade padrão de amostragem do PPBio e os pontos escuros representam as 30 parcelas permanentes. As cores representam os gradientes de altitude das áreas onde cores em azuis estão as áreas mais altas e em laranja as áreas mais baixas. (Fonte: ppbio.inpa.gov.br)..... 8
- Figura 3. Mapa topográfico do Parque Nacional de Viruá. As linhas pontilhadas representam a grade padrão de amostragem do PPBio e os pontos escuros representam as 30 parcelas permanentes. As cores representam os gradientes de altitude das áreas onde cores em azuis estão as áreas mais altas e em vermelho as áreas mais baixas (Fonte: ppbio.inpa.gov.br)..... 9
- Figura 4. Esquema do sistema de grade de 25 km² do PPBio. As linhas em vermelhos representam as parcelas instaladas em curva de nível do relevo. (Fonte: ppbio.inpa.gov.br)..... 10
- Figura 5. Esquema de uma parcela de 250 metros do sistema da grade. Os círculos representam a disposição das armadilhas do tipo Pitfall. (Fonte: ppbio.inpa.gov.br)..... 10
- Figura 6. Esquema da coleta de amostras em uma parcela de 250 metros. Os quadrados menores representam a retirada de uma amostra de material (solo e serrapilheira) com sonda. (Fonte: Moraes 2010)..... 12
- Figura 7. Sonda metálica retirando uma amostra do solo e serrapilheira (A) e recipiente plástico contendo uma subamostra composta (B). (Foto: Inaura Santos)..... 12
- Figura 8. Extrator de Berlese-Tüllgren utilizado com recipiente telado

acoplado ao funil e pote coletor para minimizar a queda de solo na amostra. 13
(Fonte: Moraes 2000).....

Figura 9. Armadilha do tipo Pitfall utilizada com suporte para evitar a entrada de folhas, gravetos e água da chuva no Pitfall. (Foto: Inaura Santos)..... 14

Capítulo I

Figura 1. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostra que a diminuição da riqueza de espécies de colêmbolos edáficos tem relação com o teor de argila do solo..... 24

Figura 2. Regressões parciais do modelo que mostra que a mudança na composição de espécies de colêmbolos está associada com o teor de fósforo do solo (A) e com a profundidade da serapilheira (B)..... 25

Figura 3. Distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos ao longo do gradiente de teor de fósforo em 30 parcelas permanentes de coleta..... 26

Figura 4. Distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos ao longo de serrapilheira em 30 parcelas permanentes de coleta..... 27

Figura 5. Valores das similaridades nas rotações de Procrustes, usando os dois primeiros eixos da PCoA, para a composição de espécies de colêmbolos edáficos, no esforço máximo e nos esforços reduzidos..... 28

Figura 6. Valores das similaridades nas rotações de Procrustes usando os dois primeiros eixos da PCoA para a composição de espécies de colêmbolos edáficos no esforço máximo e nos esforços reduzidos. Cada círculo preto indica a parcela com o esforço máximo e no outro extremo a mesma parcela com esforço reduzido. A distância entre elas indica o quanto estas parcelas variaram em relação à composição de espécies..... 29

Capítulo II

Figura 1. Ordenação usando PCoA da composição de colêmbolos com dois métodos de coleta (Berlese-Tullgren e Pitfall), em gradiente florestal na

Amazônia..... 48

Figura 2. Similaridade de Procrustes das assembleias de colêmbolos coletadas no esforço máximo e no esforço reduzido para apenas um método de coleta. Cada círculo preto indica a parcela com o esforço máximo e no outro extremo a mesma parcela com esforço reduzido para somente Berlese-Tullgren ou Pitfall. A distância entre elas indica o quanto estas parcelas variaram em relação à composição de espécies..... 49

Figura 3. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostram que as mudanças na composição de espécies de colêmbolos estão associadas com a profundidade de serrapilheira no esforço máximo (A) e no esforço reduzido com apenas o Pitfall (B). 51

Capítulo III

Figura 1. Ordenação usando PCoA mostra a diferença na composição de espécies de colêmbolos edáficos entre a Ducke, Viruá e Maracá..... 71

Figura 2. Parciais dos modelos de regressões múltiplas mostram que a diminuição na abundância de Isotomidae e Paronellidae tem relação com o teor de argila do solo (A) na Ducke e com a profundidade da serrapilheira (B) em Maracá..... 72

Figura 3. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostram que a diminuição da riqueza de espécies de Isotomidae e Paronellidae tem relação com o teor de argila do solo (A) e a profundidade de serrapilheira (B) na Ducke..... 73

Figura 4. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostram que as mudanças na composição de espécies de colêmbolos estão associadas com a profundidade de serrapilheira (A), com teor de fósforo (B) e com o teor de argila do solo (C) na Ducke..... 75

Figura 5. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de serrapilheira na Ducke..... 76

Figura 6. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do

gradiente de argila na Ducke.....	76
Figura 7. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de fósforo na Ducke.....	77
Figura 8. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com o teor de argila do solo (A) e com o teor de fósforo do solo (B) em Viruá.....	78
Figura 9. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de argila em Viruá.....	78
Figura 10. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de fósforo em Viruá.....	79
Figura 11. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostram a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com a profundidade da serrapilheira em Maracá.....	80
Figura 12. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de serrapilheira em Maracá.....	80
Figura 13. Valores para as similaridades de Procrustes da composição de espécies, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e nos esforços reduzidos na Ducke (A), em Viruá (B) e em Maracá (C).....	81
Figura 14. Valores das similaridades nas rotações de Procrustes usando os dois primeiros eixos da PCoA para a composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae no esforço máximo e no esforço reduzido na Ducke (A), em Viruá (B) e em Maracá (C). Cada círculo preto indica a parcela com o esforço máximo e no outro extremo a mesma parcela com esforço reduzido. A distância entre elas indica o quanto estas parcelas variaram em relação à composição de espécies.....	82
Figura 15. Parciais do modelo de regressões múltiplas que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com a profundidade	

da serrapilheira, baseadas em cinco subamostras por parcela, na Ducke..... 84

Figura 16. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae associadas ao teor de argila (A) e ao de fósforo do solo (B), baseados em cinco subamostras por parcela, em Viruá..... 85

Figura 17. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com a profundidade da serrapilheira, baseados em cinco subamostras por parcela, em Maracá..... 86

APÊNDICE

Figura 1. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais no esforço máximo e nos esforços reduzidos na Ducke..... 108

Figura 2. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais no esforço máximo e nos esforços reduzidos em Viruá..... 110

Figura 3. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais no esforço máximo e nos esforços reduzidos em Maracá..... 112

ANEXO

Figura 1. Aceite da Revista Zoologia para a publicação da descrição de uma nova espécie de *Campylothorax* (Entomobryomorpha: Paronellidae)..... 116

Introdução Geral

As mudanças ambientais globais aliadas às perturbações antrópicas têm levantado diversas discussões acerca das implicações no bioma amazônico, porém, pouco se sabe sobre a resiliência desta floresta (Borma e Nobre 2013). A complexa rede de interações com as quais múltiplos grupos realizam funções semelhantes é um dos aspectos envolvidos no restabelecimento dos ecossistemas (Hooper *et al.* 2005; Moreira *et al.* 2013). Portanto, o conhecimento dos fatores que estão relacionados à limitação de recursos das espécies locais nos fornece dados para compreender sua contribuição nos processos biológicos necessários à manutenção do ambiente (Hooper *et al.* 2005; Moreira *et al.* 2013), sendo suporte para a gestão da biodiversidade em diversas escalas (Honrado *et al.* 2012). Para isso, a implementação de amostragens padronizadas em larga escala tem se mostrado eficiente na integração dos grupos taxonômicos (Magnusson *et al.* 2005; Costa e Magnusson 2010).

Essa dinâmica entre os fatores ambientais e a distribuição das espécies tem sido tema de estudos com a fauna de pseudoescorpiões (Aguiar *et al.* 2006), escorpiões (Araújo 2007), opilões (Tourinho *et al.* 2014; Porto *et al.* 2016); formigas (Souza *et al.* 2007; Oliveira *et al.* 2009), borboletas frugíveras (Graça *et al.* 2015), baratas (Tarli *et al.* 2014), cupins (Pequeno *et al.* 2015), ácaros oribatídeos (Ferreira *et al.* 2012; Franklin *et al.* 2013) e colêmbolos (Oliveira 2013). No entanto, a relação tempo e custos financeiros na coleta, triagem e identificação de grupos muito diversos ainda são obstáculos para realização de estudos ecológicos (Santos *et al.* 2008; Moraes *et al.* 2011).

A redução do esforço amostral seria, então, uma estratégia de diminuir o número de métodos de amostragens ou reduzir o número de amostras utilizadas para estimar a riqueza (Ward e Larivière 2004), de forma a otimizar projetos conservacionistas sem perder o padrão taxonômico e ecológico encontrado no esforço máximo (Andersen *et al.* 2002). Para isso, as informações provenientes dos esforços reduzidos seriam estatisticamente suficientes para recuperar a composição semelhante e o padrão das variáveis ambientais investigadas pelo esforço original. Os recursos limitados para pesquisas científicas torna a avaliação da eficiência amostral necessária e eficaz para a concretização de estudos na Amazônia, principalmente em localidades de difíceis acessos (Santos *et al.* 2008; Ferreira *et al.* 2012; Souza *et al.* 2012; Tourinho *et al.* 2014).

Os colêmbolos são pequenos artrópodos hexápodos (0,1-17 mm), diversos e bem distribuídos no mundo (Zeppelini 2012, Bellinger *et al.* 2016), sendo encontrados do ambiente aquático (Ferreira-júnior *et al.* 2014) ao terrestre (Bellinger *et al.* 2016). Nos

ambientes terrestres, estão presentes em todos os biomas, frequentemente habitando o solo e serrapilheira (Coleman *et al.* 2004; Morais *et al.* 2013). São animais especializados no consumo de fungos e bactérias, atuando na regulação da comunidade microbiana, mas podem exercer função detritívora, herbívora e predadora (Hopkin 1997; Rusek 1998). Como atua nos processos de ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica, sua participação pode estar relacionada à predação e dispersão dos decompositores e com a fragmentação da serrapilheira (Hopkin 1997; Coleman *et al.* 2004). Toda essa capacidade de interação no ambiente os torna importantes componentes na avaliação da qualidade do solo e impactos ambientais (Zeppelini *et al.* 2009; Silva *et al.* 2012, 2016).

Atualmente são encontradas mais de 8000 espécies em todo o mundo (Bellinger *et al.* 2016), sendo a maior parte das descrições concentradas em regiões temperadas (Bellini e Zeppelini 2009). No Brasil, existem apenas 306 espécies reconhecidas (Mendonça *et al.* 2014). Dentre as Ordens de colêmbolos, Entomobryomorpha são representados por espécies com ampla distribuição zoogeográfica e no Brasil, Isotomidae, Paronellidae e Entomobryidae são frequentemente amostrados em diversos ecossistemas terrestres (Adis e Ribeiro, 1989; Gauer 1997; Zeppelini *et al.* 2009; Abrantes *et al.* 2010).

A intensa relação ao meio edáfico permitiu aos colêmbolos adaptações morfológicas para habitarem as diferentes camadas do solo (Hopkin 1997; Coleman *et al.* 2004; Morais *et al.* 2013). Espécies que vivem na superfície e serrapilheira possuem mais pigmentação e número de olhos simples, e ainda, apêndices mais desenvolvidos, favorecendo uma maior mobilidade para forrageamento e fuga de predadores. Entretanto, as espécies que vivem no interior do solo são mais diminutas e possuem pigmentação, olhos e apêndices reduzidos ou ausentes para facilitar o acesso aos poros intersticiais (Coleman *et al.* 2004; Mendonça *et al.* 2014). Toda essa diversidade de ambientes possibilita amostrá-los por vários tipos de técnicas (Hopkin 1997; Zeppelini e Bellini 2004; Morais e Franklin 2008; Zeppelini *et al.* 2009).

Os métodos mais frequentes para a amostragem de mesoinvertebrados em estudos na floresta Amazônica são aparelho de Berlese-Tullgren e Armadilhas do tipo Pitfall, usados separadamente (Franklin *et al.* 2001; Morais *et al.* 2010; Oliveira 2013) ou combinados (Oliveira 1994; Gauer 1997; Câmara 2002). São métodos mais baratos e mais simples de construir, podendo ser facilmente transferidos para o local da coleta, mesmo em regiões remotas, em comparação com outros métodos de amostragem de solo (Franklin e Morais 2006).

Como a disponibilidade de recurso alimentar, habitat e condições ambientais estão relacionados aos colêmbolos (Hopkin 1997), fatores como a profundidade da serrapilheira,

porcentagem de fósforo e argila do solo podem afetar sua abundância (Sayer 2006; Jacquemin *et al.* 2012). Estudos recentes demonstraram que esses fatores estiveram associados à mudança na composição de espécies de invertebrados edáficos (Souza *et al.* 2009; Moraes *et al.* 2011; Oliveira 2013).

Neste trabalho foram investigadas a riqueza, a abundância e a suficiência amostral da comunidade de colêmbolos edáficos em diferentes fitofisionomias da Floresta Amazônica. No capítulo I, foi investigada a relação da profundidade da serrapilheira, teor de argila e teor de fósforo do solo na distribuição da comunidade de colêmbolos edáficos em de 25 km² de Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme na Amazônia, através de coletas provenientes do Aparelho de Berlese-Tullgren, e a possibilidade de elaborar de um protocolo de coleta. No capítulo II, foi verificado o custo-benefício da combinação de Berlese-Tullgren e Armadilha do tipo Pitfall como métodos de coleta de colêmbolos edáficos ao longo de um gradiente de 25 km² de florestas na Amazônia. No capítulo III, foi avaliada a influência de fatores ambientais e a eficiência amostral sobre a comunidade de colêmbolos edáficos em três diferentes fitofisionomias da Floresta Amazônica, através de coletas provenientes de Pitfall.

OBJETIVOS

- Investigar o padrão de distribuição espacial das assembleias de colêmbolos edáficos em diferentes fitofisionomias da Floresta Amazônica.

- Verificar se existe influência das variáveis ambientais (profundidade da serrapilheira, teor de argila e teor de fósforo do solo) sobre a distribuição espacial das assembleias de colêmbolos edáficos.

- Avaliar o desempenho e a congruência dos dois métodos de amostragem em estimar a riqueza e abundância de colêmbolos para identificar o método de maior custo-benefício nas amostragens da fauna de colêmbolos em um gradiente florestal na Amazônia.

- Testar se as composições da comunidade obtida com o uso de apenas um método de amostragem ou do número de subamostras utilizadas irão responder de maneira similar às variáveis ambientais como a que for obtida com o esforço máximo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O trabalho foi realizado em três áreas: Reserva Florestal Adolpho Ducke, no Estado do Amazonas, Estação Ecológica de Maracá e Parque Nacional do Viruá, ambas no Estado de Roraima, sendo nomeadas neste trabalho como Ducke, Maracá e Viruá.

A Ducke (02°55´e 03°01´S, 59°53´ e 59°59´W) pertence ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia desde 1963 e está localizada em Manaus, cobrindo uma área de 10.000 ha (Fig. 1). Em 2012, por meio do Decreto Nº 1.502, a reserva está inserida à Área de Proteção Ambiental Adolpho Ducke, tornando-se protegida pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação. A vegetação possui uma Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme (Hopkins 2005; Souza *et al.* 2016). Essa vegetação de terra firme é classificada de acordo com a topografia (Hopkins 2005). O relevo é ondulado formado por platôs com solos argilosos, vertentes cujos solos estão em gradativa transição, e baixios com solos arenosos (Spironello *et al.* 2004; Baccaro *et al.* 2008). Desta forma, a vegetação dos platôs concentram as árvores mais antigas e com dosséis mais altos; nas vertentes, possuem, assim como os solos, uma vegetação de transição entre o platô e o baixio, e os baixios apresentam uma vegetação com dossel mais baixo e abundância de palmeiras (Hopkins 2005). O clima é classificado como “Af”, constantemente úmido (Kottek *et al.* 2006). A estação chuvosa ocorre de novembro a maio e a seca ocorre de junho a outubro com temperatura média anual de 26 °C (Baccaro *et al.* 2008).

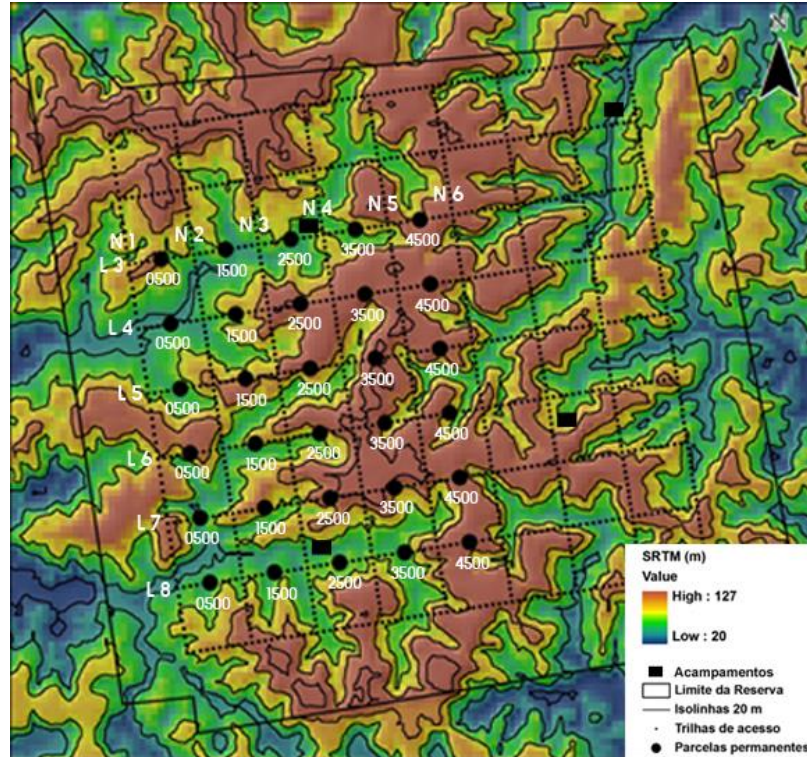


Figura 1. Mapa topográfico da Reserva Florestal Adolpho Ducke. As linhas pontilhadas representam a grade padrão de amostragem do PPBio e os pontos escuros representam as 30 parcelas permanentes. As cores representam os gradientes de altitude das áreas onde cores em marrom estão as áreas mais altas e em verdes as áreas mais baixas (Fonte: ppbio.inpa.gov.br).

A Estação Ecológica de Maracá ($03^{\circ}24'20''N$, $61^{\circ}29'18''W$), criada em 1981, é constituída pela ilha de Maracá, pelas ilhas e ilhotas situadas no Rio Uraricoera e pelos Furos de Santa Rosa e Maracá. A estação é localizada entre os municípios de Alto Alegre e Amajari que abrange uma área de mais de 100.000 ha (Fig. 2), sendo uma das maiores ilhas protegida do mundo (ICMBio 2015). A vegetação é caracterizada por um gradiente de Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Decídua, Floresta Estacional Semidecídua, buritizais, brejos e pequenos trechos de savana na parte leste (Milliken e Ratter 1998; Souza *et al.* 2016). O relevo é ondulado com formação de morros na parte oeste (ICMBio 2015). Os solos têm dominância de solos arenosos, bem drenados e com saturação de alumínio e formação de solos argilosos na porção mais ao norte de Maracá (Souza *et al.* 2012; ICMBio 2015). O clima é considerado “Am”, clima monção (Kottek *et al.* 2006) com estação chuvosa de abril a agosto e uma estação seca de setembro a março (Eden e McGregor 1998). A temperatura média anual é de $24^{\circ}C$ variando de 22 a $39^{\circ}C$ (MMA 2015).

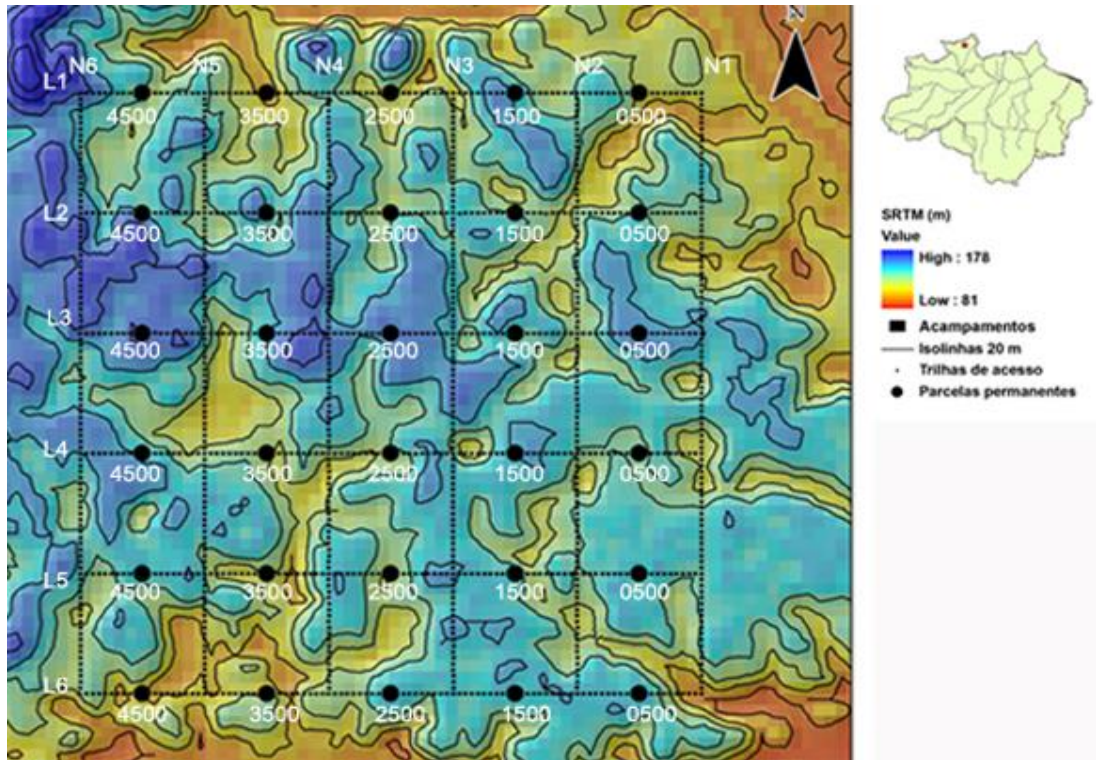


Figura 2. Mapa topográfico da Estação Ecológica de Maracá. As linhas pontilhadas representam a grade padrão de amostragem do PPBio e os pontos escuros representam as 30 parcelas permanentes. As cores representam os gradientes de altitude das áreas onde cores em azuis estão as áreas mais altas e em laranja as áreas mais baixas. (Fonte: ppbio.inpa.gov.br).

O Parque Nacional do Viruá ($01^{\circ}29'12''N$, $61^{\circ}02'52''W$), criado em 1998, está localizado no município de Caracaraí, compreendendo uma área de cerca de 227.000 ha (Fig. 3). A vegetação é heterogênea, com mosaicos de diferentes fisionomias de Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Floresta de Igapó e Várzea, Campinas e Campinaranas (Ribeiro 2014; Souza *et al.* 2016), cuja heterogeneidade tem relação com a topografia da região (Mendonça *et al.* 2013). Esses ambientes de campinaranas representam a maior área de proteção do Brasil, submetidos a inundações periódicas e envolve a maior porção da vegetação do Viruá (Mendonça *et al.* 2013). A complexa formação das Campinaranas passa por um gradiente de Campinaranas florestadas, gramíneo-lenhosa e arbóreo-arbustiva (Ribeiro 2014). O relevo é predominantemente plano e inundável durante parte do ano, com formação de serras e rampas (Mendonça *et al.* 2013; Ribeiro 2014). O solo é classificado como arenoso mal drenado, na sua maior porção, argiloso-arenoso e nas regiões de serra com solos sedimentares e metamórficos (Souza *et al.* 2012; Ribeiro 2014). O tipo de clima pertence ao “Af”, constantemente úmido (Kottek *et al.* 2006), sendo uma estação chuvosa de

abril a agosto e uma estação seca de setembro a março e temperatura média anual é 26°C (Ribeiro 2014).

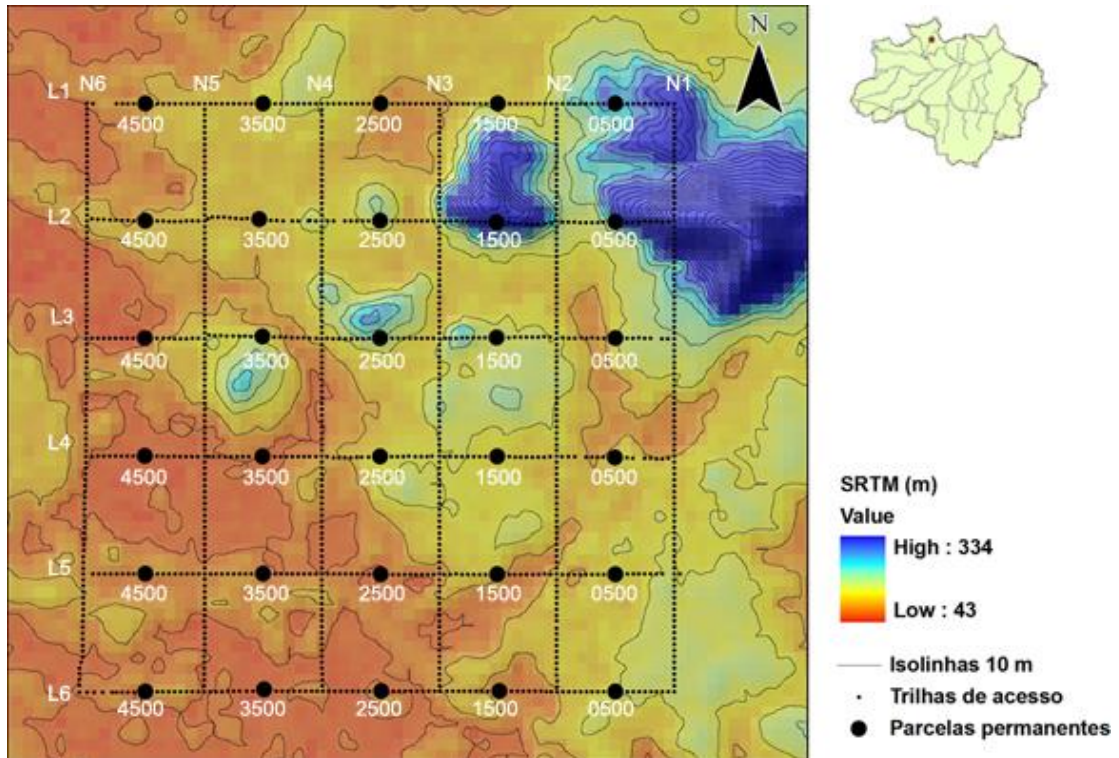


Figura 3. Mapa topográfico do Parque Nacional de Viruá. As linhas pontilhadas representam a grade padrão de amostragem do PPBio e os pontos escuros representam as 30 parcelas permanentes. As cores representam os gradientes de altitude das áreas onde cores em azuis estão as áreas mais altas e em vermelho as áreas mais baixas (Fonte: ppbio.inpa.gov.br).

Delineamento amostral

Em cada área foi instalada um sistema de grades de 25 km² que permite o acesso a 30 parcelas distribuídas uniformemente a cada 1 km (Fig. 4). As parcelas possuem 250 m de comprimento em curvas de nível do relevo (Fig. 5) para minimizar a variação edáfica dentro da parcela com largura variável em função do grupo taxonômico estudado (Magnusson *et al.* 2005).

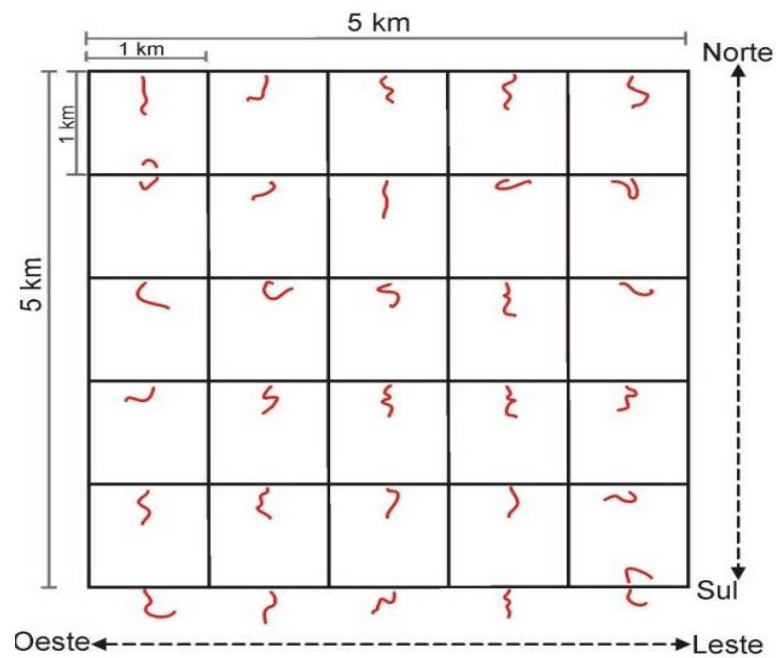


Figura 4. Esquema do sistema de grade de 25 km² do PPBio. As linhas em vermelhos representam as parcelas instaladas em curva de nível do relevo. (Fonte: ppbio.inpa.gov.br).

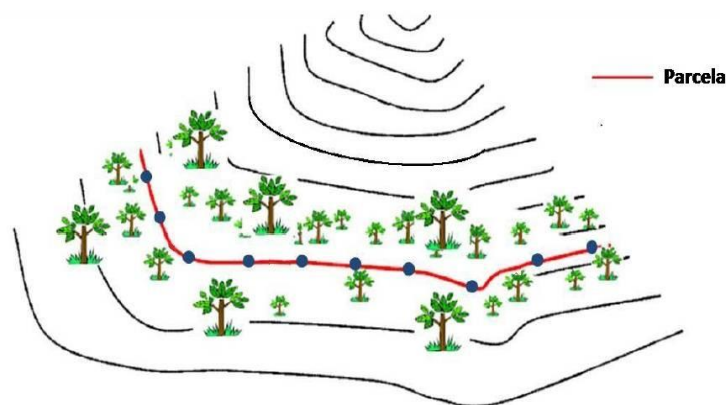


Figura 5. Esquema de uma parcela de 250 metros do sistema da grade. Os círculos representam a disposição das armadilhas do tipo Pitfall. (Fonte: ppbio.inpa.gov.br).

Método de coleta

Os colêmbolos foram amostrados na Ducke, em Viruá e em Maracá (Tab. 1). Os métodos de coleta utilizados, Aparelho de Berlese-Tullgren Modificado (Franklin e Moraes

2006; Karyanto *et al.* 2010) e Armadilha do tipo Pitfall, foram nomeados neste trabalho como Berlese-Tullgren e Pitfall. No Berlese-Tullgren, primeiro método, as amostras de solo contendo os invertebrados foram retiradas a cada 12,5 m ao longo de cada parcela (Fig. 6) através de uma sonda metálica (3,5 cm² x 5 cm de profundidade) (Fig. 7A) e armazenadas em recipientes plásticos (340 mL). Em cada recipiente foram unidas quatro subamostras consecutivas representando uma subamostra composta (Fig. 7B). Ao final de cada parcela somamos cinco amostras compostas e nas 30 parcelas um total de 150. As amostras foram etiquetadas e armazenadas no laboratório para a realização da extração do colêmbolos.

Tabela 1. Descrição dos métodos de coletas utilizados, número de parcelas amostradas, número de subamostras por parcela, total de subamostras e períodos de coleta para cada área.

Área	Método	Número de parcelas amostradas	Número de subamostras por parcela	Total de subamostras	Período de coleta
Ducke	Berlese-Tullgren	30	5	150	Novembro/2011
	Pitfall	30	10	300	Julho-Agosto/2012
Maracá	Berlese-Tullgren	30	5	150	Setembro/2012
	Pitfall	30	10	300	Setembro/2012
Virúá*	Pitfall	29	10	290	Setembro- Outubro/2012 e Janeiro- Fevereiro/2013

* Parcela (L6 3500) está instadada em um lago.

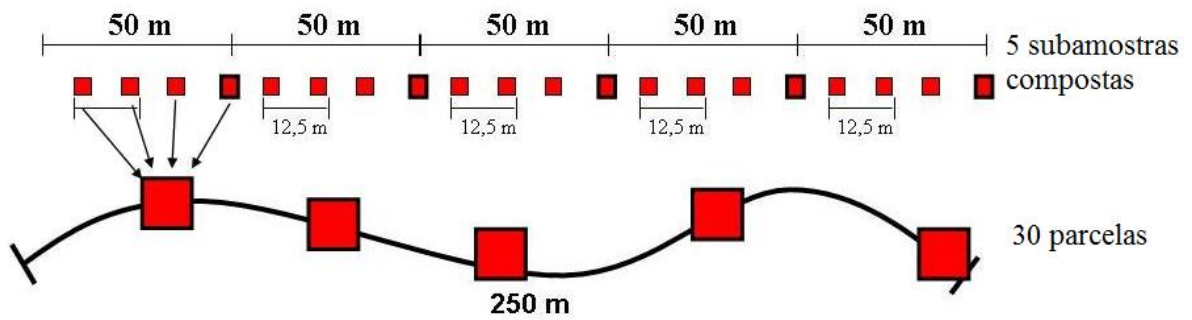


Figura 6. Esquema da coleta de amostras em uma parcela de 250 metros. Os quadrados menores representam a retirada de uma amostra de material (solo e serrapilheira) com sonda. (Fonte: Moraes 2010).



Figura 7. Sonda metálica retirando uma amostra do solo e serrapilheira (A) e recipiente plástico contendo uma subamostra composta (B). (Foto: Inaura Santos)

A extração foi feita com o Berlese-Tullgren (Fig. 8) que consiste em cabines de madeira (Franklin e Morais 2006; Karyanto *et al.* 2010). Cada cabine é dividida ao meio por uma placa de isopor com aberturas redondas nas quais são preenchidas com os funis e ao mesmo tempo isolam a temperatura nos dois ambientes. Na porção superior da cabine estão instaladas lâmpadas incandescentes (25 W; 120 V), usadas como fonte de calor e distante 14 cm dos recipientes contendo o material biológico. Cada subamostra composta foi colocada em recipientes de PVC telados em uma das extremidades. A tela tem abertura de 1 mm, porém foram feitas perfurações longitudinais para permitir a passagem de animais maiores que 2

mm, o que possibilita uma maior passagem dos animais sem que haja uma queda constante do solo, facilitando o processo de triagem. Esses recipientes foram, então, unidos aos funis plásticos posicionados na abertura dos frascos contendo formalina 2%. As lâmpadas instaladas sobre as amostras tinham como objetivo fornecer calor no interior do equipamento e o controle da temperatura no interior do mesmo foi realizado através de um termostato onde as lâmpadas tinham sua intensidade aumentada. No primeiro dia as amostras permaneceram em temperatura ambiente ($\pm 27\text{ }^{\circ}\text{C}$), porém, do segundo ao oitavo dia a temperatura foi gradativamente aumentada alcançando aproximadamente $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esse aumento gradativo permite aos invertebrados migrarem para os frascos, localizados na porção inferior do Berlese-Tullgren, uma vez que as amostras de solo tendem a secar devido à incidência direta do calor sobre as amostras. Com o processo totalmente realizado, os animais foram transferidos para frascos de vidro (30 mL) com álcool 92% para posterior triagem e identificação no Laboratório de Sistemática e Ecologia de Invertebrados do Solo, INPA.



Figura 8. Extrator de Berlese-Tullgren modificado utilizado com recipiente telado acoplado ao funil e pote coletor para minimizar a queda de solo na amostra. (Fonte: Morais 2000)

Os Pitfall foram instalados a cada 25 metros ao longo dos 250 metros das parcelas, perfazendo 10 subamostras por parcela (Fig. 5). Cada armadilha (Fig. 9) constituiu de um recipiente de plástico (500 mL) com 8 cm de altura e 9,5 cm de diâmetro, enterrada até a superfície do solo, etiquetada e preenchida com 100 mL de álcool 70% para conservação do

material biológico coletado. Em cada recipiente foi colocado uma proteção, constituído de três hastes de madeira apoiando um prato descartável (18 cm) para evitar a entrada de folhas, gravetos e água da chuva em seu interior. Os Pitfall permaneceram em campo por 48 horas, tendo cada conteúdo do Pitfall transferido para potes plásticos rosqueados (100 mL) para posterior triagem e identificação no mesmo laboratório.



Figura 9. Armadilha de Pitfall utilizada com proteção para evitar a entrada de folhas, gravetos e água da chuva no Pitfall. (Foto: Inaura Santos)

Triagem, Montagem e Identificação

A triagem das amostras foi realizada por meio de microscópios estereoscópicos e em seguida as mesmas foram acondicionadas em microtubos de plásticos (2 mL) contendo álcool 92%. A partir dessa triagem, foram utilizados apenas os colêmbolos pertencentes às famílias alvo desse estudo para posterior montagem e identificação a nível específico. Para cada família, os espécimes foram previamente morfotipados e parte foi selecionada para a realização do processo de montagem e identificação.

O procedimento de montagem requer efetuar a clarificação dos espécimes, uma vez que a pigmentação dificulta a visualização das estruturas necessárias para identificação e seguiram recomendações de Arlé e Mendonça (1982). A clarificação consiste em mergulhar cada espécime em uma solução a partir da adição de três a quatro gotas de Dicromato de Potássio ($K_2Cr_2O_7$) e duas de Ácido Clorídrico (HCl) em uma das escavações da Placa de Kline.

O período de permanência nessa solução varia de acordo com a quantidade de pigmentação de cada indivíduo. Assim, os espécimes permaneceram na solução até que a mancha ocelar estivesse praticamente sem pigmentação, levando em média três minutos. Para neutralizar o processo de despigmentação, cada espécime foi inserido em outra escavação da Placa de Kline contendo Líquido de Arlé. A montagem das lâminas semipermanentes ocorreu com a fixação dos espécimes com o Líquido de Arlé, onde parte do material foi fixada com solução de partes iguais de iodo a 2% e de Líquido de Arlé, para melhor observação das suas estruturas. Cada lâmina foi, então, devidamente etiquetada e selada com esmalte incolor ou de coloração branca, visto que esse tipo de cor, caso entre em contato com os exemplares, não altera sua coloração e são facilmente visualizados para a confirmação da selagem.

A identificação até espécies ou morfoespécies foi realizada com microscópio óptico e uso de chaves de identificação, trabalhos de revisões, guia online de Collembola (www.collembola.org) e por meio de consulta aos especialistas do grupo do Dr. Eduardo Assis Abrantes (Museu Nacional do Rio de Janeiro/UFRJ) e do Dr. Bruno Cavalcante Bellini (Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN), coorientador deste estudo. O processo de morfotipagem foi baseado no padrão de disposição das cerdas, quetotaxia, e em caracteres morfológicos importantes, como quantidade de ocelos, formato e quantidade de dentes no mucro, presença e formato do órgão pós-antenal e fusão dos segmentos abdominais. As espécies e morfoespécies identificadas foram chamadas apenas de espécies e serão incorporadas à Coleção de Invertebrados do INPA.

Capítulo I

Padrão de distribuição de Entomobryomorpha (Collembola) edáficos e eficiência amostral em Floresta Ombrófila Densa na Amazônia

Resumo

Os artrópodes ocupam um importante papel na biodiversidade dos solos florestais, os capacitando como modelos para estudos sobre integridade e funcionamento dos ecossistemas terrestres. Foi verificado o padrão de distribuição e a suficiência amostral de colêmbolos edáficos para a criação de um protocolo de coleta na Amazônia. A eficiência da redução sucessiva do número de subamostras por parcela foi avaliada para demonstrar qual redução teria a melhor relação custo-benefício na coleta e identificação de colêmbolos. Em Novembro de 2011, foram realizadas coletas de amostras do solo e serrapilheira em 30 parcelas permanentes de 250 m cobrindo 25 km² de Floresta Ombrófila Densa. Cinco subamostras compostas por parcela foram utilizadas para a extração da fauna pelo Aparelho de Berlese-Tullgren. Foram amostrados 4.126 indivíduos, 28 espécies de três famílias de colêmbolos. O gradiente edáfico influenciou o padrão de distribuição desses animais, limitando seus recursos. O número de espécies é reduzido de acordo com o aumento do teor de argila, o que pode estar associado à dificuldade destes animais na escavação em solos argilosos. Os gradientes de teor de fósforo do solo e da profundidade de serrapilheira estão envolvidos na mudança da composição de colêmbolos, mostrando que diferentes composições habitam locais com uma grande quantidade de serrapilheira e de teor de argila no solo. A redução do esforço de coleta através da similaridade da composição dos esforços reduzidos em relação ao esforço total foi eficiente ($rP > 0,6$). Com apenas três subamostras foi possível capturar 79,6% das informações contidas em cinco subamostras. Porém, as relações com as variáveis ambientais encontradas com a composição de espécies de colêmbolos no esforço máximo foram fracas e, por isso, perdidas nos esforços reduzidos. Portanto, a criação de protocolo de coleta que permite realizar inventários rápidos da comunidade é dependente do objetivo do projeto. Para inventários que visem à ampliação de táxons do grupo, sugerimos o emprego de três subamostras compostas por parcela. No entanto, para estudos que visem a obtenção de respostas ecológicas, a redução do esforço não é recomendada, sendo necessárias cinco subamostras compostas para detectar mudanças na composição.

Palavras-chave

Mesofauna do solo, distribuição espacial, protocolo de coleta, inventários.

Abstract

Arthropods have an important role in the biodiversity of forest soils, enabling them as models for studies on the integrity and functioning of terrestrial ecosystems. We investigated the distribution pattern and the sample sufficiency of springtails edaphic to create one collection protocol in the Amazon Forest. The efficiency of successive reduction of the number of subsamples per plot was evaluated to demonstrate which one possesses the better cost-benefit in sampling springtails. In November 2011, soil and litter were taken in 30 permanent plots of 250 m covering 25 square kilometers of forest. Five subsamples per plot were used for the extraction with Berlese-Tullgren Apparatus. In total, 4,126 individuals and 28 species of three springtails families were recorded. The soil gradient influenced the distribution pattern of

springtails by limiting their resources. The number of species is reduced according to the increase of clay content, which may be associated with difficulty of these insects in the excavation in clayey soils. Phosphorus gradients soil and deep litter are involved in changing the composition of springtails, showing that different compositions of species inhabit locations with a large amount of litter and clay content in the soil. The reduction in collection effort by the similarity of the composition of the reduced efforts in relation to the total effort was efficient ($rP > 0.6$). With only three subsamples, it was possible to represent 79.6% of the information contained in five subsamples. Relations with environmental variables found with the species composition of springtails maximum effort were weak and lost in reduced efforts. Therefore, the creation of collection protocol to perform rapid inventories depends on the purpose of the project. For inventories aimed at taxa to expand the group, we suggest the use of three subsamples consisting per plot. However, for studies aimed at obtaining ecological responses, reduced effort it is not recommended, requiring at least five composite subsamples to detect changes in the composition of species.

Keywords

Mesofauna soil, edaphic gradient collection protocol, inventories

Introdução

O ambiente edáfico das florestas abriga uma grande biodiversidade, e esta biodiversidade é inversamente proporcional ao tamanho corporal dos organismos (André *et al.* 1994; Bardgett 2002). Os artrópodes ocupam um importante papel neste ambiente, devido sua abundância, riqueza e variedade de nichos ecológicos (Culliney 2013) e estima-se que esses animais representam até 85% da diversidade global da fauna de solo (Decaëns *et al.* 2006). Aliado a isso, os artrópodes são essenciais na manutenção dos ecossistemas (Sayer *et al.* 2010; Moreira *et al.* 2013). Os artrópodes do solo e da serrapilheira podem ser utilizados como modelos para prever mudanças na integridade e funcionamento dos ecossistemas terrestres (Behan-Pelletier e Newton 1999; Lavelle *et al.* 2006). No entanto, alguns grupos taxonômicos, como os mesoartrópodes, ainda são negligenciados em projetos conservacionistas (Santos *et al.* 2008). Esse fato está relacionado ao enorme tempo de coleta, triagem e identificação destes mesoartrópodes na execução dos projetos, elevando sobremaneira os custos finais em relação aos organismos vertebrados e plantas em geral (André *et al.* 2002; Santos *et al.* 2008; Souza *et al.* 2012).

Pesquisas recentes vêm adotando estratégias de redução do esforço amostral para diminuir os custos financeiros e o tempo necessário para a coleta e identificação destes mesoartrópodes em estudos ecológicos, como a redução do número de parcelas amostradas (Moraes 2010), a redução do volume de material triado (Santos *et al.* 2008) e a redução no

número de subamostras por parcela (Santos *et al.* 2008; Oliveira 2013). Esses estudos foram realizados com base em protocolos padronizados e em larga escala espacial na Amazônia (Magnusson *et al.* 2005), de forma que as informações encontradas nos esforços reduzidos também representaram bem as assembleias e captaram as respostas ecológicas baseadas nos fatores ambientais investigados no esforço total (Costa e Magnusson 2010).

Os colêmbolos, juntamente com os ácaros, são os mais abundantes e diversos mesoartrópodes do solo (Culliney 2013; Morais *et al.* 2013). Eles podem ser encontrados em alta diversidade em todos os ecossistemas do mundo (Hopkin 1997), principalmente em ambientes florestais (Coleman *et al.* 2004; Culliney 2013). Os colêmbolos são influenciados por fatores edáficos e diversos estudos tentam explicar essa relação, seja pela disponibilidade de recurso alimentar, seja por habitat (Hopkin 1997; Sayer 2006; Kaspari e Yanoviak 2009; Oliveira 2013).

Estudos na Amazônia demonstraram que variáveis como a profundidade da serrapilheira, teor de fósforo e argila do solo, estiveram associadas à mudança na composição de espécies de artrópodes edáficos (Souza *et al.* 2009; Moraes *et al.* 2011; Oliveira 2013). No entanto, a utilização desses mesoartrópodes como modelo para pesquisas ecológicas em ampla escala espacial ainda são incipientes para a região Amazônica (Oliveira 2013), visto que na maioria dos estudos associados aos colêmbolos edáficos na região não existe padronização de métodos e esforço amostral e também abrangem áreas de coletas inferiores a 10 km² (veja Oliveira 1994, Oliveira e Franklin 1993, Gauer 1997 e Câmara 2002).

Nesse contexto, a elaboração de protocolos de coleta que atendam pesquisas que ampliem o conhecimento taxonômico e interliguem os fatores ambientais a custos baixos são essenciais para a região amazônica, onde a limitação de recurso financeiro tem dificultado a realização de pesquisas, principalmente em locais de difícil acesso (Magnusson *et al.* 2005; Tourinho *et al.* 2014). Além disso, a criação de protocolos permite a integração dos diversos táxons (Costa e Magnusson 2010). Portanto, investigamos o padrão de distribuição espacial, a suficiência amostral de colêmbolos edáficos e a possibilidade da redução do esforço amostral de coleta. Para isso, caracterizamos a comunidade de três famílias de colêmbolos edáficos, Entomobryidae, Paronellidae e Isotomidae em 25 km² de Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme na Amazônia. Baseando-nos na redução do número de subamostras por parcelas, comparamos a similaridade entre a composição de espécies de esforços reduzidos para verificar se conservariam as relações ecológicas com as variáveis ambientais obtidas no esforço máximo.

Material e Métodos

O estudo foi realizado na Ducke através da amostragem proveniente de amostras de solo e serrapileira com extração a partir do Aparelho Berlese-Tullgren modificado cujos pormenores da caracterização da área, do delineamento amostral, do método de coleta, processamento e identificação do material se encontram na página seis deste trabalho, na seção Material e Métodos.

Variáveis Ambientais

As variáveis ambientais utilizadas nesse trabalho para explicar o padrão de distribuição e as mudanças na comunidade de colêmbolos edáficos na reserva foram profundidade da serrapilheira, teor de argila e de fósforo do solo. As informações referentes à mensuração da profundidade da serrapilheira foram realizadas no período de coleta de amostragem da comunidade de baratas em 2011 por Tarli (2012). Para isso, as medidas da profundidade da serrapilheira foram realizadas a cada 5 metros ao longo dos transectos em 30 parcelas permanentes de coleta, por meio de uma régua graduada em centímetro, considerando a altura entre o ponto mais alto das folhas no ponto de amostragem e a superfície do solo. Assim, foram somadas 50 medidas por parcela, resultando em 1.500 medidas nas 30 parcelas da reserva. Para inclusão desses valores no modelo de regressões múltiplas foram utilizados os valores médios de cada parcela (ver Anexo; Tabela 1).

Os dados referentes ao teor de argila estão disponibilizados no site do PPBio (<http://ppbio.inpa.gov.br>) e do fósforo do solo no site do PELD (<http://peld.inpa.gov.br>). Os dados de porcentagem de argila foram coletados por Luizão e Scabin (2011) e o de teor de fósforo por Pimentel e Pezzini (2008), a partir da amostragem de seis subamostras compostas do solo distantes 50 metros entre si nas 30 parcelas de cada grade. Amostras de 5 centímetro de profundidade foram retiradas com auxílio de um trado manual (5,5 cm de diâmetro), depois etiquetadas e analisadas no Laboratório de Ciências Agronômicas do INPA. Os dados de teor de argila e de teor de fósforo do solo inclusos no modelo de regressões múltiplas referem-se aos valores médios de cada parcela (ver Anexo; Tabela 1).

Análise dos dados

Os dados de abundância das espécies foram padronizados em abundância relativa, transformando as abundâncias originais pela transformação Hellinger, ao qual é apropriada para dados de comunidade (Legendre e Gallagher 2001). Assim, reduzimos a discrepância entre espécies abundantes e espécies raras. Para realizar a ordenação das amostras com a composição de espécies de colêmbolos utilizamos a análise de coordenadas principais (PCoA) e a distância de Bray-Curtis (Bray e Curtis 1957) para dados quantitativos (abundância relativa). Foram utilizados dois eixos da PCoA, representando a variável dependente. Em seguida, com o modelo selecionado, foram realizadas regressões múltiplas entre as variáveis ambientais (teor de argila e fósforo do solo e profundidade da serrapilheira) e a abundância, riqueza e composição de colêmbolos, representando através de gráficos a variação de cada associação. Os dados das variáveis foram transformados em uma mesma escala, sendo padronizados em escala de média zero e desvio padrão igual a um.

Para determinar a similaridade entre a composição de espécies do esforço máximo e do esforço reduzido, foram realizados testes de Procrustes por meio da simetria das rotações entre as ordenações dos esforços. Os testes de Procrustes tem se mostrado mais adequado para detectar associação entre matrizes de distância (Peres-Neto e Jackson 2001). Os níveis de redução foram sugeridos até onde foi possível fazer as rotações, uma vez que para cada matriz foi necessário ter pelo menos uma espécie em cada parcela, fato não permitido com uma subamostra composta. Desta forma, as análises de redução do esforço amostral na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme foram realizadas com até duas subamostras compostas por parcela. O valor mínimo aceito para o r do Procrustes foi $> 0,6$, permitindo uma perda $< 40\%$ da informação em função do esforço total (Souza *et al.* 2012). Portanto, os valores maiores que 0,6 configuram uma composição semelhante a original, sendo considerada uma redução taxonomicamente viável, ou seja, as composições de espécies do esforço reduzido seriam similares à composição do esforço máximo (5 subamostras compostas).

Para determinar se as composições dos esforços reduzidos conservariam as relações ecológicas com as variáveis ambientais obtidas no esforço máximo, foram realizadas regressões múltiplas. Dessa forma, a associação com o padrão encontrado no esforço máximo seria o critério para a validação do protocolo baseado na redução do número de subamostras compostas para inventário que visam aumentar o conhecimento taxonômico do grupo e explicar suas relações com os fatores ambientais na área. Para isso, as amostras foram sumarizadas em dois eixos da PCoA usando a distância de Bray-Curtis (Bray e Curtis 1957)

para dados de abundância relativa e realizadas regressões múltiplas a partir do modelo selecionado.

As estimativas feitas para determinar os custos e tempo foram efetuadas através do número de pessoas envolvidas na execução do trabalho, sendo relacionado o trabalho em campo e no laboratório. As atividades de campo envolveram custos com alimentação e auxiliares de campo. Em laboratório, os custos foram referentes à triagem, montagem e identificação do material por meio da computação dos valores dos bolsistas de apoio técnico (R\$ 2.200,00/mês; 8h/dia) e de doutorado (R\$ 2.200,00/mês; 8h/dia). Os custos, também, foram estimativos com valor médio dólar americano de 2011 e 2015, que foi 1 US\$ = R\$ 2,50 (Fonte: Banco Central do Brasil). Essas estimativas dos custos e tempo foram realizadas baseadas na redução do número de subamostras compostas por parcela (ver Santos *et al.* 2008).

Todas as análises foram efetuadas no programa estatístico R, versão 3.2.0, através dos pacotes Vegan e car (R Development Core Team 2015).

Resultados

Padrão de distribuição de Entomobryomorpha edáficos coletados com o esforço máximo na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme

Com o esforço máximo de coleta, foram obtidos 4.126 indivíduos identificados de 28 espécies de colêmbolos edáficos, distribuídos em Isotomidae, Entomobryidae e Paronellidae (Tabela 1). Desse total, 11 espécies foram identificadas nominalmente e 17 foram morfotipadas. O número de indivíduos por parcela variou de 59 a 318. Isotomidae foi a família mais abundante e frequente, com 3.095 espécimes (75% da abundância total), seguida por Paronellidae e Entomobryidae, com 820 e 211 espécimes, respectivamente. As espécies mais abundantes foram *Isotomiella amazonica*, *Trogolaphysa* sp.1 e *Folsomina onychiurina*, representando 87,8% da abundância em todas as amostras. *Isotomiella amazonica* e *Trogolaphysa* sp.1 foram as espécies mais frequentes, coletadas nas 30 parcelas amostradas.

A família mais diversa foi Entomobryidae (16 espécies) que representou 57% do número de espécies coletadas, seguida por Isotomidae e Paronellidae, com sete e cinco espécies, respectivamente. O número de espécies por parcela variou de 5 a 15. Foram observados seis *singleton* (*Willowsia* sp.1, *Willowsia* sp.2, *Orchesella* sp.1, *Mastigoceras*

camponoti, *Acanthurella* sp.1 e *Setogaster* sp.2) e um *doubleton* (*Paronella* sp.1), em toda a grade de coleta.

Tabela 1. Riqueza, abundância e frequência de colêmbolos edáficos registrados.

Espécie	Abundância	Frequência
Isotomidae		
Anurophorinae		
<i>Hemisotoma thermophila</i> (Axelson, 1900)	66	19
Proisotominae		
<i>Folsomides centralis</i> Denis, 1931	6	1
<i>Folsomides parvulus</i> Stach, 1922	12	7
<i>Folsomina onychiurina</i> Denis, 1931	403	24
Isotominae		
<i>Isotomiella amazonica</i> Oliveira e Deharveng, 1990	2.511	30
<i>Isotomiella symetrimucronata</i> Najt e Thibaud, 1987	96	15
<i>Isotomurus palustris</i> (Müller, 1776)	15	5
Entomobryidae		
Entomobryinae		
<i>Lepidosira</i> sp.1	7	6
<i>Lepidosira</i> sp.2	8	6
<i>Lepidosira</i> sp.3	34	19
<i>Entomobrya</i> sp.1	19	9
<i>Willowsia</i> sp.1	1	1
<i>Willowsia</i> sp.2	1	1
Orchesellinae		
<i>Orchesella</i> sp.1	1	1
<i>Dicranocentrus</i> sp.1	34	18
<i>Mastigoceras camponoti</i> Handschin, 1924	1	1
<i>Heteromurtrella</i> sp.1	48	17
Lepidocyrtinae		
<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
Paronellidae		
Paronellinae		
<i>Campylothorax</i> sp.1	11	6
<i>Trogolaphysa</i> sp.1	710	30
<i>Trogolaphysa</i> sp.2	61	9
<i>Paronella</i> sp.1	2	1
Cyphoderinae		
<i>Cyphoderus agnotus</i> Börner, 1906	36	17
Total	4.126	-

As espécies *Cyphoderus agnotus*, *Hemisotoma thermophila*, *Folsomides centralis*, *F. parvulus* e *Isotomurus palustris* são novos registros para a floresta investigada e exceto as duas espécies de *Folsomides*, todas as espécies são novos registros para o estado do Amazonas, ampliando o conhecimento das espécies de colêmbolos edáficos para a área.

Relações entre a riqueza e abundância de colêmbolos edáficos com o teor de argila, teor de fósforo e profundidade da serrapilheira na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme

A abundância de colêmbolos não foi associada a nenhuma variável ambiental ($p = 0,151$, $R^2 = 0,182$) (Tabela 2). O valor parcial da porcentagem de argila do solo indica um possível erro tipo II ($p = 0,051$). Por outro lado, a riqueza de espécies de colêmbolos edáficos diminui com o gradiente de argila (Fig. 1). O modelo da regressão explicou 23% dessa relação.

Tabela 2. Modelos de regressões múltiplas das variáveis ambientais com riqueza e abundância de colêmbolos edáficos. Nas colunas estão representadas as variáveis respostas e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

	Teor de argila(%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R^2	P
	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p		
Abundância	-0,64	0,051	-7,58	0,241	29,900	0,307	0,182	0,151
Riqueza	-0,032	0,015	-0,176	0,479	1,529	0,182	0,232	0,073

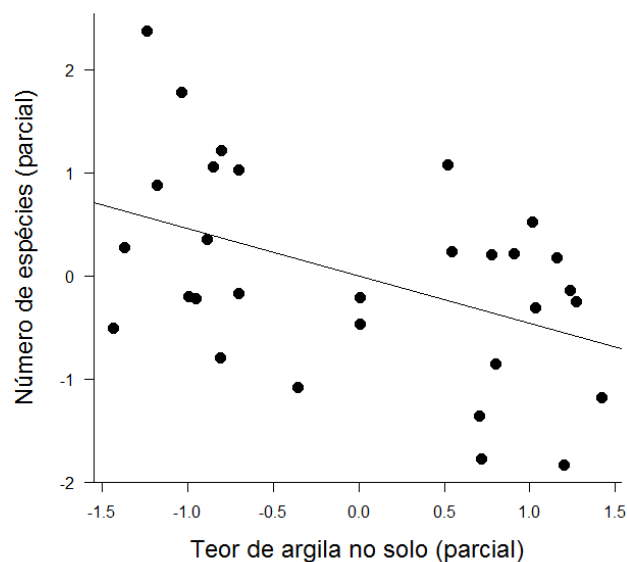


Figura 1. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostra que a diminuição da riqueza de espécies de colêmbolos edáficos tem relação com o teor de argila do solo.

Composição e distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos com as variáveis ambientais na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.

Houve mudanças na composição de espécies (Tabela 3), cujas informações foram sumarizadas com os dois primeiros eixos da PCoA, que representaram 58% da variação dos dados. Os eixos 1 e 2 capturam 27 e 31%, respectivamente dessa variação. Esta relação está

associada com mudanças no teor de fósforo do solo e da profundidade da serrapilheira (Eixo 2 da PCoA, modelo global: $R^2 = 0,349$; $P = 0,010$; Fig. 2A e B; Tabela 3). A parcial do modelo do eixo 1 da PCoA mostra para o teor de argila do solo um possível erro tipo II ($P = 0,066$) (Tabela 3).

Tabela 3. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de colêmbolos edáficos, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA. Nas colunas estão representadas as variáveis respostas e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

	Teor de argila		Teor de fósforo		Profundidade da		R^2	P
	(%)		(mg.kg)		serrapilheira (cm)			
	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p		
Eixo 1	-0,360	0,066	-0,121	0,516	0,116	0,543	0,133	0,285
Eixo 2	-0,092	0,578	-0,346	0,040	-0,488	0,006	0,352	0,009

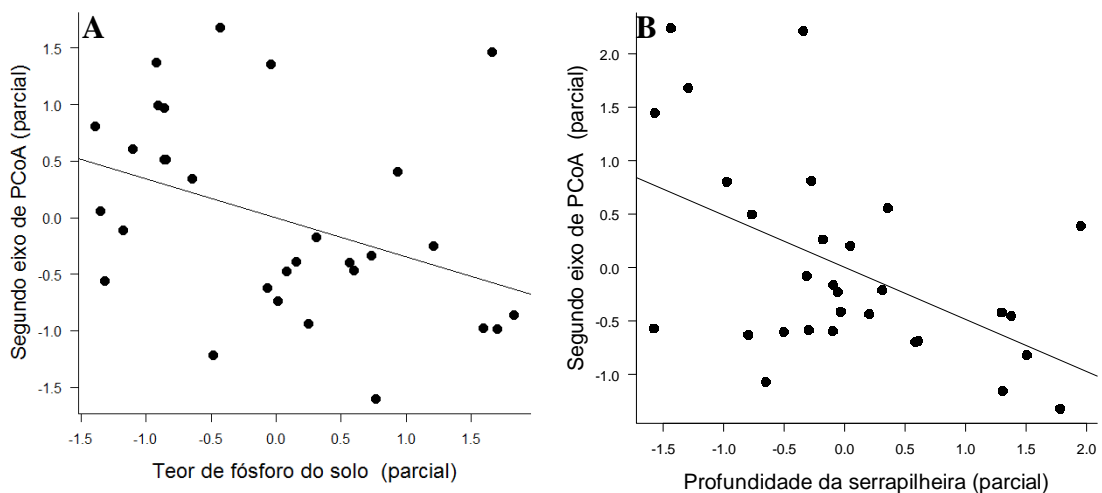


Figura 2. Regressões parciais do modelo que mostra que a mudança na composição de espécies de colêmbolos está associada com o teor de fósforo do solo (A) e com a profundidade da serrapilheira (B).

O gradiente de fósforo (Fig. 3) mostra que existem espécies de distribuição mais ampla, como *Isotomiella amazonica*, *Trogolaphysa* sp.1, *Folsomina onychiurina* e *Hemisotoma thermophila*. Em contrapartida, existem espécies com distribuição mais restritas como *Willowsia* sp.1, *Willowsia* sp.2, *Setogaster* sp. 2, *Orchesella* sp. 1, *Folsomides centralis*, *Paronella* sp.1, *Acathurella* sp. 1 e *Mastigoceras camponoti*. Assim, as parcelas com maior substituição de espécies estão no gradiente de menor teor de fósforo (Fig. 3).

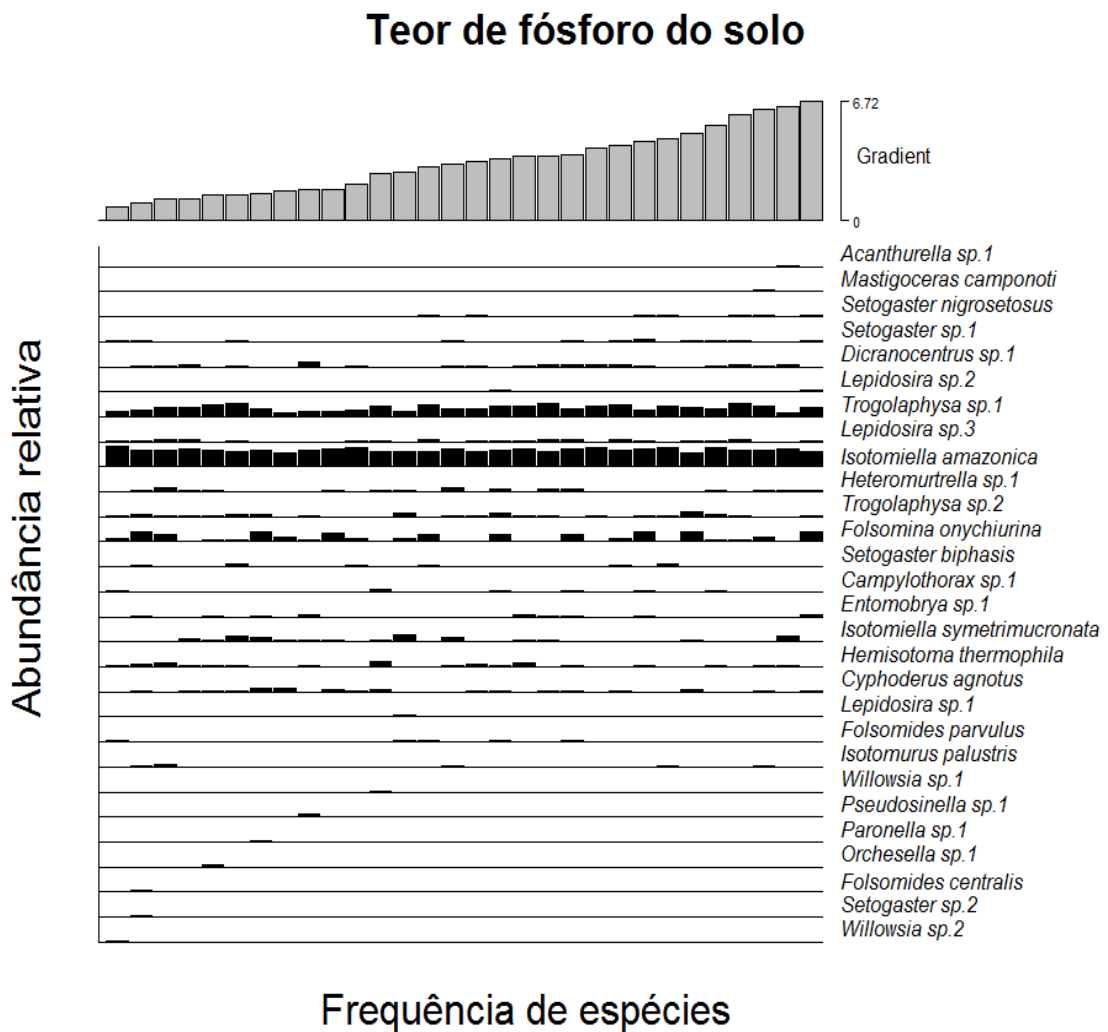


Figura3. Distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos ao longo do gradiente de teor de fósforo em 30 parcelas permanentes de coleta.

O gradiente de serrapilheira (Fig. 4) mostra que existem espécies de distribuição mais ampla, como *I. amazonica* e *Trogolaphysa* sp.1. Em adição, há espécies com distribuição

mais restritas, como *Willowsia* sp.1, *Willowsia* sp.2, *Setogaster* sp. 2, *Orchesella* sp. 1, *F. centralis*, *Acathurella* sp. 1, *Pseudosinella* sp. 1 e *M. camponoti*. Logo, as parcelas com maior substituição de espécies estão no gradiente de menor quantidade de serrapilheira (Fig. 4).

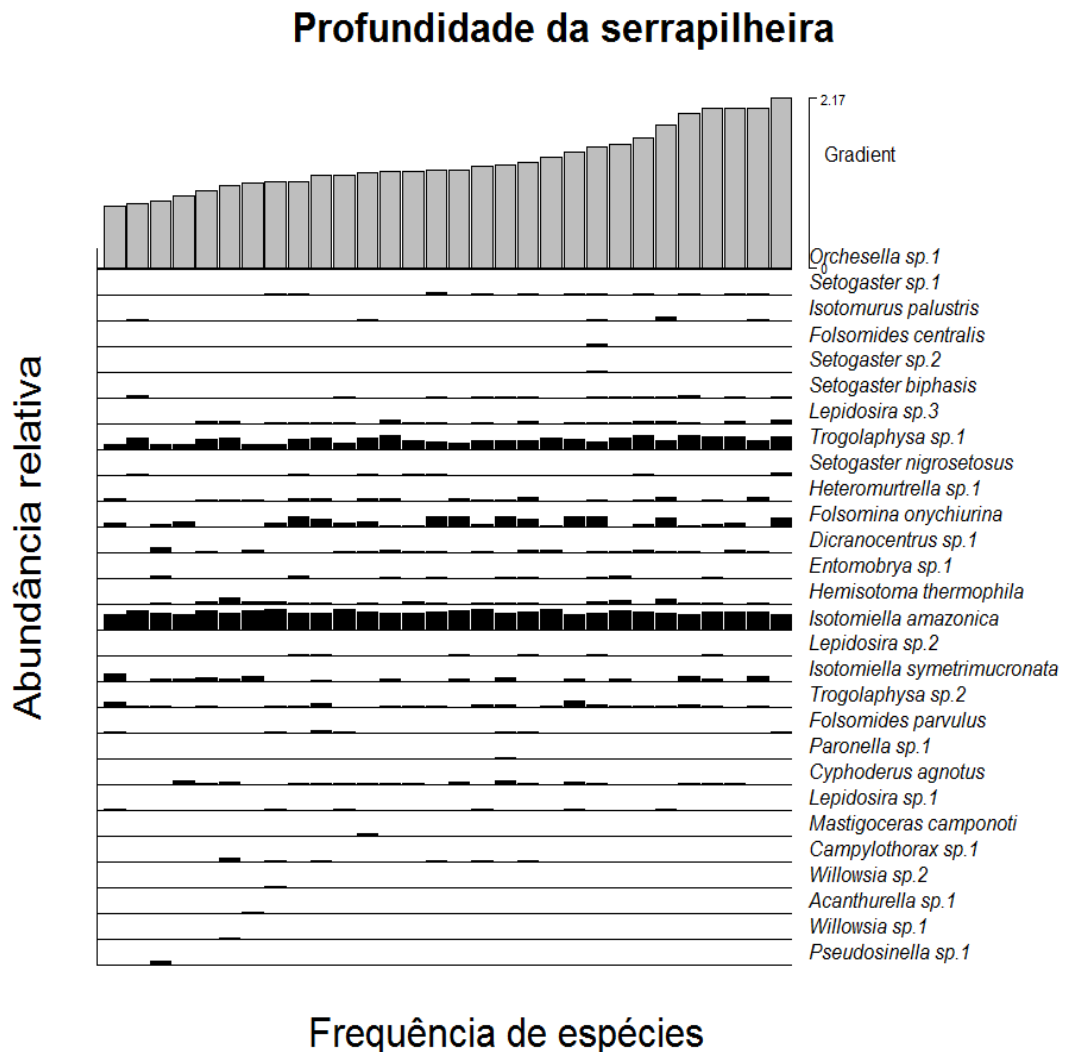


Figura 4. Distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos ao longo de serrapilheira em 30 parcelas permanentes de coleta.

Redução do esforço amostral: similaridade e relação ecológica com a composição de espécies de colêmbolos edáficos na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.

Os testes de Procrustes detectaram altos níveis de similaridade ($rP > 0,60$) na composição de espécies de colêmbolos nos esforços reduzidos (2, 3 ou 4 subamostras por

parcela) em comparação ao esforço máximo (5 subamostras compostas por parcela). Todos os níveis de redução representados no modelo mantiveram uma similaridade acima de 60% em comparação ao esforço máximo (Fig. 5).

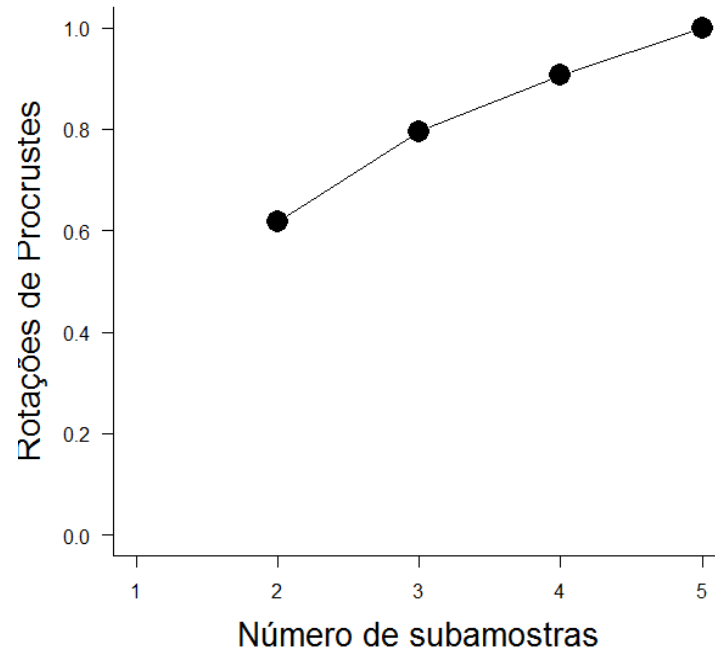


Figura 5. Valores das similaridades nas rotações de Procrustes, usando os dois primeiros eixos da PCoA, para a composição de espécies de colêmbolos edáficos, no esforço máximo e nos esforços reduzidos.

A análise de Procrustes indicou que o padrão de ordenação gerado pelos dados obtidos com três subamostras foi significativamente concordante com o padrão gerado com o esforço máximo ($r = 0,796$; $P = 0,001$). A análise de Procrustes utilizando as duas assembleias reduzidas a dois eixos da PCoA mostra o direcionamento das parcelas dentro da área e suas distâncias em relação à composição de espécies do esforço máximo (Fig. 6).

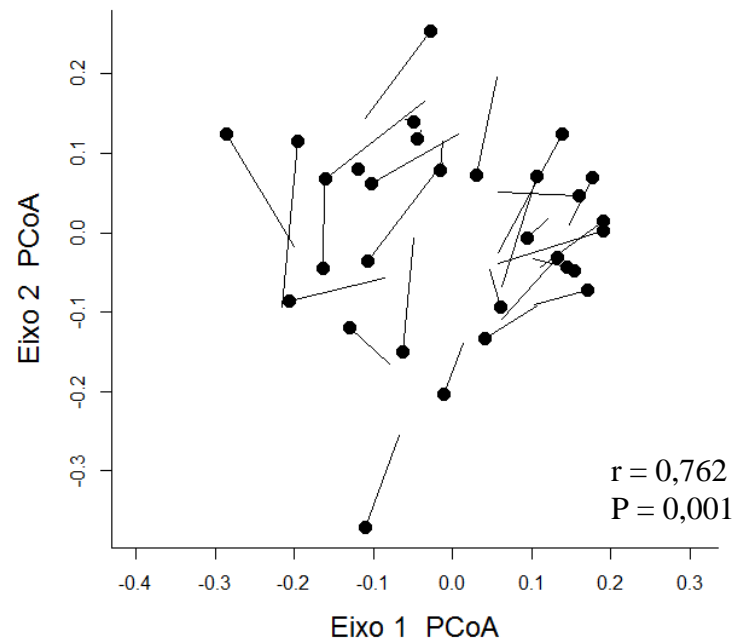


Figura 6. Valores das similaridades nas rotações de Procrustes usando os dois primeiros eixos da PCoA para a composição de espécies de colêmbolos edáficos no esforço máximo e nos esforços reduzidos. Cada círculo preto indica a parcela com o esforço máximo e no outro extremo a mesma parcela com esforço reduzido. A distância entre elas indica o quanto estas parcelas variaram em relação à composição de espécies.

As relações entre a distribuição da composição de colêmbolos com as variáveis ambientais investigadas não foram preservadas nos esforços reduzidos (Tabela 4). As relações observadas no esforço máximo com o teor de fósforo do solo ($P = 0,040$) e profundidade da serrapilheira ($P = 0,006$), os responsáveis pela mudança na composição de espécies, foram perdidas em todos os níveis de redução do modelo (Tabela 4).

Tabela 4. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de colêmbolos edáficos, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

Nº de subamostras	Teor de argila (%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R^2	P	
	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p			
5	Eixo1	-0,366	0,061	-0,121	0,514	0,123	0,516	0,138	0,267
	Eixo 2	-0,082	0,621	-0,345	0,040	-0,488	0,006	0,348	0,010
4	Eixo1	0,213	0,243	0,276	0,126	0,302	0,099	0,102	0,091
	Eixo 2	0,145	0,451	-0,083	0,660	-0,332	0,092	0,115	0,358
3	Eixo1	0,207	0,253	0,288	0,109	0,318	0,084	0,229	0,075
	Eixo 2	-0,155	0,439	-0,110	0,574	0,112	0,591	0,040	0,784
2	Eixo1	0,302	0,115	0,251	0,177	0,107	0,568	0,161	0,200
	Eixo 2	0,232	0,232	0,139	0,458	-0,274	0,159	0,121	0,333

Custos financeiros para o esforço máximo e esforços reduzidos

Através da análise de Procrustes evidenciamos alta similaridade entre as assembleias obtidas com cinco e três subamostras, apesar da perda do padrão ecológico capturado para o teor de fósforo e profundidade da serrapilheira com o esforço máximo (Fig. 6; Tab. 4). Sendo assim, tendo como base estudos de cunho taxonômico, é possível reduzir o esforço de coleta para três subamostras resultando numa economia de 40% (Tabela 5).

Tabela 5. Economia estimada em tempo e dos custos em reais (R\$) e dólar (US\$) para cada nível do esforço amostral, baseado na redução do número de subamostras por parcela.

Despesas	Número de subamostras por parcela			
	5	4	3	2
Alimentação em campo	1.100	880	660	440
Auxiliares de campo	960	768	576	384
Bolsista de doutorado	6.600	5.280	3.960	2.640
Bolsista nível superior	8.800	7.040	5.280	3.520
Tempo (dias)	260	208	156	130
Total (R\$)	17.460	13.968	10.476	8.730
Total (US\$)	6.984	5.587	4.190	3.492
Economia (%)	-	20	40	60

Discussão

Padrão de distribuição de Entomobryomorpha edáficos coletados com o esforço máximo na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme

A riqueza e abundância de colêmbolos edáficos, provenientes de três famílias, encontrados na mesma área foi comparável ao único estudo padronizado para a região Amazônica (Oliveira 2013). Esse autor registrou 30 táxons na área, um número de espécies semelhante ao registrado em nosso estudo (28 táxons), porém proveniente de duas famílias e com diferenças no processo de morfotipagem de Paronellidae que realizamos. Oliveira (2009) compilando os trabalhos realizados na área entre os anos 2007 e 2008, registrou a ocorrência de 33 espécies de Entomobryomorpha, distribuídos em 16 gêneros. Dessa forma, com o acréscimo de cinco novos registros de espécies de Entomobryomorpha, ampliamos para 45 as espécies encontradas na área de estudo.

O maior número de espécies foi representado por Entomobryidae, família mais abundante e rica de Collembola com larga distribuição mundial (Mendonça *et al.* 2014; Bellinger *et al.* 2016). Consequentemente esta família sempre está presente nos diferentes ambientes edáficos (Culik *et al.* 2002; Câmara 2002; Bitzer *et al.* 2005; Guillén *et al.* 2006; Oliveira 2013). Cerca de 25% das espécies coletadas foram representadas por *singletons* e *doubleton*, com um ou dois indivíduos. Amostragens com números de espécies raras são comuns para mesofauna de solo (Santos *et al.* 2008). Oliveira (2013) e Moraes (2010) verificaram 43 e 39% de espécies raras de colêmbolos e ácaros oribatídeos, respectivamente, na área.

A prevalência de Isotomidae sobre as demais famílias foi bem evidente em termos de número de indivíduos e frequência de espécies. Essa família está entre as mais diversas e abundantes do grupo. Por possuírem hábitos preferencialmente edáfico, algumas espécies têm características morfológicas adaptadas às camadas mais profundas do solo, denominadas euedáficas (Mendonça *et al.* 2014), que podem explorar com mais eficiência os recursos disponíveis dos ecossistemas (Hopkin 1997).

Duas das três espécies mais representativas deste estudo são isotomídeos (*Isotomiella amazonica* e *Folsomina onychiurina*), sendo que *I. amazonica* é a única da família a ser amostrada em toda a área experimental. Essas espécies foram abundantes em amostras de solo e da serrapilheira na região Amazônica (Oliveira 1994, Gauer 1997; Câmara 2002). *Isotomiella amazonica* tem características euedáficas com distribuição agregada (Hopkin 1997), que, somada a condição partenogenética (Deharveng e Oliveira 1990), favorece sua dominância e frequência em diversos ambientes. Da mesma forma, *F. onychiurina* tem hábito euedáfico, é partenogenética, e, por possuir uma ampla distribuição zoogeográfica em diversos ecossistemas, é considerada generalista (Abrantes 2011).

Trogolaphysa sp.1 foi a segunda espécie mais abundante e a única entre os paronelídeos a ser amostrada em todas as 30 parcelas. Esta espécie é bem frequente na região neotropical (Bellinger *et al.* 2016) e, consequentemente, abundante nas amostras de vários estudos de colêmbolos edáficos (Gauer 1997; Guillén *et al.* 2006; Oliveira 2013). O gênero possui características epiedáficas, como o corpo mais robusto e pigmentado, apêndices e olhos bem desenvolvidos, mas, dependendo do estágio do ciclo de vida e do tipo do solo, podem ter hábitos euedáficos (Hopkin 1997; Mendonça *et al.* 2014), o que pode explicar a alta frequência nesse estudo.

Relações entre a riqueza e abundância de colêmbolos edáficos com o teor de argila, teor de fósforo e profundidade da serrapilheira na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme.

A riqueza de colêmbolos diminuiu com o aumento do teor de argila. Isso corrobora com a hipótese de que em solos argilosos os espaços porosos são menores e mais difíceis à escavação (Lavele e Spain 2001). Por outro lado, o gradiente de argila pode estar correlacionados a outros fatores edáficos como a umidade, nutrientes e pH (Luizão *et al.* 2004) e que não foram investigados nesse trabalho. Experimentos em laboratórios mostram que fatores associados ao solo, como teor de argila e matéria orgânica, favorecem a toxicidade de zinco em *Folsomia candida* Willem 1902, afetando a sua biomassa e reprodução (Smit *et al.* 1998). As propriedades do solo agem indiretamente sobre a disponibilidade e toxicidade de metais, já que exercem influência sobre a concentração de água no solo, facilitando a contaminação do solo e da fauna que o habita (Domene *et al.* 2010).

O número de indivíduos de colêmbolos não foi associado a nenhuma das variáveis ambientais selecionadas. A falta de associação da abundância com o gradiente edáfico também foi relatada por Moraes *et al.* (2011) em um estudo com a comunidade de ácaros oribatídeos na mesma reserva.

Composição e distribuição de espécies de Entomobryomorpha edáficos com as variáveis ambientais na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme

As variáveis ambientais investigadas promoveram mudanças na composição de colêmbolos edáficos. Essa relação esteve associada com a profundidade da serrapilheira e o teor de fósforo. O gradiente edáfico influencia o padrão de distribuição desses animais limitando seus recursos como no forrageamento e na escolha de habitat (Sayer 2006; Huang *et al.* 2012; Jacquemin *et al.* 2012). A quantidade de serrapilheira auxilia na proteção e retenção de água no solo, exercendo influência sobre a comunidade de mesoartrópodes e microbiana (Sayer 2006). As espécies de colêmbolos epiedáficas tendem a ter maior pigmentação e cutícula mais resistentes à dissecação do que animais euedáficos (Salmon e Ponge 2012). Logo, à medida que a quantidade de serrapilheira aumenta, acarreta em uma substituição de espécies de colêmbolos ao longo do gradiente, uma vez que seleciona uma composição mais adaptada aos ambientes com maior umidade pelo auxílio da serrapilheira em reter a água no solo (Sayer 2006; Domene *et al.* 2010). O gradiente de serrapilheira é um importante preditor

nas mudanças da composição de invertebrados na Amazônia como para ácaros oribatídeos (Ferreira 2011; Moraes *et al.* 2011), formigas (Souza *et al.* 2012), borboletas frugívoras (Graça 2014) e baratas (Tarli *et al.* 2014).

O teor de fósforo do solo parece influenciar no recurso alimentar desses animais, uma vez que o fósforo age diretamente no desenvolvimento de fungos e bactérias (Huang *et al.* 2012; Jacquemin *et al.* 2012). Collembola são preferencialmente micófagos (Culliney 2013), porém a limitação desse recurso os permite mudar seu requerimento alimentar podendo consumir pólen, algas, fezes de artrópodes, matéria orgânica morta, pequenos nematódeos, rotíferos e tecido vegetal (Rusek 1998; Bellinger *et al.* 2016). Assim, a relação dos colêmbolos com o teor de fósforo sugere que diferentes composições podem habitar onde tem pouco fósforo. O gradiente de fósforo tem contribuído para mudanças na distribuição de cupins (Dambros 2010), baratas (Tarli *et al.* 2014) e colêmbolos (Oliveira 2013) na área.

Redução do esforço amostral: similaridade e relação ecológica com a composição de espécies de colêmbolos edáficos na Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme

Registramos alta similaridade dos esforços reduzidos quando comparados com o esforço máximo (5 subamostras por parcela). A partir de três subamostras foi possível representar mais que 60% das informações contida na composição original. Dessa forma, a redução do número de subamostras compostas por parcela não interferiu na capacidade de verificar a composição de espécies de colêmbolos edáficos. Essa eficiência do protocolo de coleta possibilita realizar amostragem da mesofauna a custos mais baixos, visto que a limitação de recurso financeiro tem sido um dos obstáculos para a realização de inventários da biodiversidade (Magnusson *et al.* 2005; Santos *et al.* 2008). Para a mesofauna, essa limitação está relacionada com o processamento das amostras, devido à complexidade na identificação (Rusek 1998) e à quantidade de material analisado (Santos *et al.* 2008).

Com relação à redução do esforço considerando a manutenção da resposta ecológica, nenhum nível da redução de subamostras manteve associação com o gradiente edáfico capturado no esforço máximo. Logo, a eficácia do protocolo de coleta em manter os padrões ecológicos não pode ser comprovada, visto que as variáveis ambientais associadas às mudanças na composição de colêmbolos não foram mantidas nos níveis de redução. As relações encontradas no modelo selecionado com a composição de espécies de colêmbolos edáficos no esforço máximo demonstrou-se fraca e, uma vez que houve uma diminuição entre a similaridade da composição total com as composições dos esforços reduzidos, esse padrão

ecológico foi perdido. Dessa forma, a utilização de cinco subamostras compostas por parcela para as preditoras investigadas nesse trabalho é o número mínimo para detectar essas respostas ecológicas responsáveis pela mudança na composição. O esforço amostral com número invariável de subamostras compostas (cinco subamostras compostas por parcela) já foi testado para ácaros oribatídeos na mesma reserva (Moraes 2010; Moraes *et al.* 2011; Franklin *et al.* 2013), onde foi comprovado ser um esforço satisfatório no inventário de ácaros oribatídeos. Contudo, outros estudos com a mesofauna do solo baseados na redução do número de subamostras demonstraram a eficácia no protocolo de coleta na conservação do padrão ecológico obtido com a composição de espécies total (Santos *et al.* 2008; Oliveira 2013).

Dependendo da finalidade do inventário, o melhor ajuste do protocolo de coleta deve ser empregado na área (Tourinho *et al.* 2014). Porém, o esperado na elaboração de protocolos amostrais seria a preservação do padrão de distribuição e a mudança da composição entre as variáveis ambientais investigadas, reduzindo tempo e custo financeiros (Magnusson *et al.* 2005; Souza *et al.* 2009; 2012). Isso promove a eficiência dos projetos de pesquisas, fornecendo informações para a ampliação do conhecimento taxonômico aliado aos fatores ambientais que governam as mudanças na comunidade (Santos *et al.* 2008; Moraes *et al.* 2011). Portanto, estudos futuros visando à redução do esforço de coleta e processamento das amostras de colêmbolos edáficos poderiam testar outras variáveis ambientais que melhor possam explicar as mudanças na comunidade. As variáveis edáficas estão passíveis a interações (Luizão *et al.* 2004) influenciando sua distribuição espacial e não foram investigadas nesse trabalho.

Custos financeiros para o esforço máximo e esforços reduzidos

A redução do esforço amostral foi possível apenas para inventários de cunho taxonômico, visto que os esforços reduzidos capturaram uma alta similaridade comparada ao esforço máximo. Portanto, diminuir o número de subamostras não interferiu na detecção da composição de espécies de colêmbolos edáficos, mostrando ser possível realizar amostragem a custos baixos. No entanto, essa redução não manteve as respostas ecológicas obtidas utilizando cinco subamostras compostas (esforço máximo) com os níveis de redução. A redução para três subamostras diminuiu os custos financeiros em 40%. O tempo para o processamento do material também seria reduzido em 40%, já que a quantidade total do material a ser processado diminuiria de 150 para 90 subamostras amostradas na reserva. Este

resultado é mais interessante quando se torna necessário efetuar monitoramento em larga escala espacial. Essa economia seria evidenciada principalmente no laboratório onde o processo de triagem, montagem e identificação elevam os custos finais dos projetos. Portanto, quanto maior o conhecimento com o grupo alvo, em particular no processo de identificação, menor será o tempo e custos utilizados na finalização do projeto (Moraes *et al.* 2011).

Conclusão

As variáveis edáficas, teor de argila e de fósforo de solo e profundidade da serrapilheira influenciam a comunidade de colêmbolos edáficos. O gradiente de argila diminui o número de espécies enquanto que os gradientes de fósforo e da serrapilheira estão envolvidos na mudança da composição de espécies.

A eficiência do protocolo, baseada na redução do número de subamostras compostas por parcela, foi comprovada com a capacidade de detectar a composição de espécies de colêmbolos edáficos, representando mais que 60% da similaridade da composição total. Porém, a redução do esforço baseada na manutenção da resposta ecológica não foi eficaz, uma vez que nenhum nível de redução recuperou a relação encontrada no esforço máximo com o fósforo e a serrapilheira influenciando a comunidade.

Portanto, o protocolo de coleta que permite realizar inventários rápidos da comunidade de colêmbolos é dependente do objetivo do projeto. Para inventários que visem à ampliação de táxons do grupo, sugerimos para estudos futuros na reserva o emprego de três subamostras compostas por parcela. No entanto, para estudos baseados nas respostas ecológicas, a redução do esforço não foi possível, sendo preciso realizar amostragem na área com no mínimo cinco subamostras compostas dentro de cada parcela para detectar associação entre a composição e as preditoras selecionadas nesse estudo.

Elaboração de protocolo amostral pode diminuir o tempo e gastos finais dos projetos, refletindo no processamento das amostras no laboratório. Toda essa economia pode ser investida em estudos espaciais em localidades de difícil acesso ou em repetições temporais para monitoramento de áreas.

Referências Bibliográficas

- Abrantes, E.A. 2011. Fauna de Isotomidae (Collembola: Entomobryomorpha) em áreas da Restinga da Marambaia, Estado do Rio De Janeiro, Brasil/Tese de doutorado/Universidade Federal do Rio de Janeiro/Museu Nacional. 103pp.
- André, H.M.; Noti, M.I.; Lebrun, P. 1994. The soil fauna: the other last biotic frontier. *Biodiversity & Conservation*, 3(1): 45-56.
- André, H.M.; Ducarme, X.; Lebrun, P. 2002. Soil biodiversity: myth, reality or conning? *Oikos* 96:3–24.
- Bardgett, R.D. 2002. Causes and consequences of biological diversity in soil. *Zoology*, 105(4): 367-375.
- Behan-Pelletier, V.; Newton, G. 1999. Linking soil biodiversity and ecosystem function—the taxonomic dilemma. *BioScience*, 49: 149–153.
- Bellinger, P.F.; Christiansen, K.A.; Janssens, F. 2016. Checklist of the Collembola of the world. [http:// www.collembola.org](http://www.collembola.org) (acesso em 15 de abril de 2016).
- Bitzer, R.J.; Rice, M.E.; Pilcher, C.D.; Pilcher, C.L. 2005. Biodiversity and community structure of epedaphic and euedaphic springtails (Collembola) in transgenic rootworm Bt corn. *Environmental Entomology*, 34(5), 1346-1376.
- Bray, J. R.; Curtis, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern of Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 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 Pesquisa da Amazônia. 121pp.
- Coleman, D.C.; Crossley, D.A.Jr., Hendrix, P. F. 2004. Secondary production: activities of heterotrophic organisms—The Soil Fauna. 79-184p. In: Coleman, D.C.; Crossley, D.A.Jr., Hendrix, P. F. *Fundamentals of Soil Ecology*., Elsevier Academic Press, 2ª edição, Oxford, UK. 375pp.
- Costa, F.R.C.; Magnusson, W.E. 2010. The need for large-scale, integrated studies of biodiversity: the experience of the Program for Biodiversity Research in Brazilian Amazonia. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 8: 3–12.
- Culliney, T.W. 2013. Role of arthropods in maintaining soil fertility. *Agriculture*, 3(4): 629-659.
- Culik, M.P.; Souza, J.L.; Ventura, J.A. 2002. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environments of Espírito Santo, Brazil. *Applied Soil Ecology*, 21: 49-58.

- 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.
- Decaëns, T.; Jiménez, J.J.; Gioia, C.; Measey, G.J.; Lavelle, P. 2006. The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, 42: S23-S38.
- Deharveng, L.; Oliveira, E. 1990. *Isotomiella* (Collembola: Isotomidae) d'Amazonie: les espèces du groupe delamarei. In *Annales de la Société entomologique de France* .Société entomologique de France, 26(2): 185-201
- Domene, X.; Colón, J.; Uras, M. V.; Izquierdo, R.; Àvila, A.; Alcañiz, J. M. 2010. Role of soil properties in sewage sludge toxicity to soil collembolans. *Huang*, 42(11): 1982-1990.
- Ferreira, R.N.C. 2011. Redução do esforço amostral de ácaros do solo (Acari: Oribatida) em fragmentos de floresta da região de Alter do Chão, Pará, Brasil. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 59pp.
- Franklin, E.; Moraes, J.; Landeiro, V.L.; Souza, J.L.P.; Pequeno, P.A.C.L.; Magnusson, W.E.;Morais, J.W. 2013. Geographic position of sample grid and removal of uncommon species affect multivariate analyses of diverse assemblages: the case of oribatid mites (Acari: Oribatida). *Ecological indicators*, 34: 172-180.
- Gauer, U. 1997. The Collembola. 351-359p. In: Junk, W.J. (Ed.) *The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system*. Springer Science & Business Media. v. 126, Berlim, Alemanha. 530pp.
- Graça, M.B.C.S. 2014. Diversidade, padrões de distribuição e esforço de coleta de borboletas frugívoras em floresta ombrófila densa da Amazônia, Manaus, Brasil. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 52 pp.
- Guillén, C.; Soto-Adames, F.; Springer, M. 2006. Diversidad y abundancia de colémbolos edáficos en un bosque primario, un bosque secundario y un cafetal en Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 30(2): 7-17.
- 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.
- Hopkin, S.P. 1997. *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford Univ. Press, Oxford, UK. 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.
- Kaspari, M.; Yanoviak, S. 2009. Biogeochemistry and the structure of tropical brown food webs. *Ecology* 90: 3342–3351.

- Lavelle, P.; Decaëns, T.; Aubert, M.; Barot, S.; Blouin, M.; Bureau, F.; Margerie, P.; Mora, P.; Rossi, J.P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42: S3-S15.
- Lavele, P.; Spain, A.V. 2001. Invertebrate Communities. 253-276 p. In: Lavele, P.; Spain, A.V. (eds.) *Soil Ecology*. Kluwer Scientific, Amsterdam, Holanda. 654pp.
- Legendre, P.; Gallagher, E.D. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129(2): 271-280.
- Luizão, R.C.C.; Luizão, F.J.; Paiva, R.Q.; Monteiro, T.F.; Sousa, L.S.; Kruij, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 10: 592-600.
- Magnusson, W.E.; Lima, A.P.; Luizão, R.; Luizão, F.; Costa, F.R.; Castilho, C.V. 2005. RAPELD: a modification of the gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites. *Biota Neotropica*, 5(2):1-6.
- Mendonça, M.C.; Abrantes, E.A.; Queiroz, G.C. 2014. Classe Collembola. 183-191p. In: Hamada, N.; Nessimian, J.L.; Querino, R.B. (Eds.). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. INPA, Manaus, AM. 724 pp.
- Morais, J.W.; Oliveira, F.G.L.; Braga, R.F.; Korasaki, V. 2013 Mesofauna. 185-200p. In: Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. (Eds.). *O Ecossistema Solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. UFLA, Lavras, MG. 352pp.
- Moraes, J. 2010. *Ácaros do solo (Acari: Oribatida) da Reserva Florestal Ducke e redução do esforço amostral no gradiente ecológico de 10 mil ha de floresta de terra-firme*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 77pp.
- 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 km² of forest in Amazonia. *Experimental and Applied Acarology*, 55: 39-63.
- Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. 2013. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. 15-30p. In: Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. (Ed.) *O Ecossistema Solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. UFLA, Lavras, MG. 352pp.
- Oliveira, F.G.L. 2013. *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*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 53pp.
- Oliveira, E.P. 2009. Collembola. 63-69p. 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 taxonomico e biologico*. INPA, Manaus, AM. 308pp.

- Oliveira, E.P. 1994. *Le peuplement dès Collemboles édaphiques em Amazonie brésilienne: systématique, biogéographie etécologie*. Tese de Doutorado/Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 198pp.
- Oliveira, E.P.; Franklin, E. 1993. Efeito do fogo sobre a mesofauna do solo: recomendações em áreas queimadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28(3): 357-369.
- Peres-Neto, P.R.; Jackson, D.A. 2001. How well do multivariate data sets match? The advantages of a Procrustean superimposition approach over the Mantel test. *Oecologia*, 129(2): 169-178.
- R Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1207-1219.
- Santos, E.M.R.; Frankin, E.; Magnusson, W.E. 2008. Cost-efficiency of a sub sampling protocols to evaluate oribatid-mite communities in an Amazonian savanna. *Biotropica*, 40(6): 728-735.
- Salmon, S.; Ponge, J.F. 2012. Species traits and habitats in springtail communities: a regional scale study. *Pedobiologia*, 55(6): 295-301.
- Sayer, E.J.; Sutcliffe, L.M.; Ross, R.I.; Tanner, E.V. 2010. Arthropod abundance and diversity in a lowland tropical forest floor in Panama: the role of habitat space vs. nutrient concentrations. *Biotropica*, 42(2): 194-200.
- Sayer, E.J. 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological reviews*, 81(1): 1-31.
- Smit, C.E.; Van Gestel, C.A. 1998. Effects of soil type, prepercolation, and ageing on bioaccumulation and toxicity of zinc for the springtail *Folsomia candida*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(6): 1132-1141.
- 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*, 56: 63-73.
- 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.
- Tarli, V.D.; Pequeno, P.A.; Franklin, E.; Morais, J.W.; Souza, J.L.; Oliveira, A.H., Guilherme, D.R. 2014. Multiple Environmental Controls on Cockroach Assemblage Structure in a Tropical Rain Forest. *Biotropica*, 46(5): 598-607.
- Tourinho, A.L.; Lança, L.S.; Baccaro, F.B.; Dias, S.C. 2014. Complementarity among sampling methods for harvestman assemblages. *Pedobiologia*, 57(1): 37-45.

Capítulo II

Custo-benefício da combinação de aparelho de Berlese-Tullgren e Armadilha do tipo Pitfall na amostragem de assembleias de Isotomidae e Paronellidae (Collembola: Entomobryomorpha) edáficos em um gradiente florestal, em Roraima, Brasil

Resumo

A destruição das paisagens naturais tem intensificado estudos ecológicos e conservacionistas da fauna edáfica. Os colêmbolos são bons indicadores dos processos biológicos dos ecossistemas terrestres. Todavia, a limitação de recursos financeiros tem impulsionado pesquisas que visem à redução do esforço de coleta e identificação dos organismos, porém com a manutenção da eficiência da informação biológica. Esse trabalho verificou o custo-benefício da combinação de métodos de coleta de colêmbolos edáficos para a criação de um protocolo amostral na Amazônia. Foram realizadas coletas em setembro de 2012 em 25 km² de um gradiente florestal com a utilização de dois métodos. Em 30 parcelas obtivemos 150 subamostras compostas de solo e serrapilheira para extração da fauna pelo aparelho de Berlese-Tullgren modificado e 300 subamostras provenientes de armadilhas do tipo Pitfall. Combinando os métodos, foram registrados 4.453 indivíduos e 15 espécies. Cada método detectou composições diferentes de espécies, sem sobreposição de informação. Porém, usando apenas o Pitfall, o padrão ecológico capturado com os dois métodos combinados é recuperado. A profundidade da serrapilheira foi um gradiente forte para explicar a distribuição dos colêmbolos, sendo a única variável ambiental que explicou a distribuição das assembleias coletadas tanto com esforço máximo quanto com somente o Pitfall. A amostragem da área com Pitfall foi eficaz, propiciando a simplificação do protocolo que demandará menor esforço no campo e laboratório em termos de tempo e custos, contribuindo com dados para a manutenção da biodiversidade.

Palavras-chave

Amazônia, biodiversidade, Entomobryomorpha, mesofauna, eficiência amostral.

Abstract

The destruction of natural landscapes has intensified ecological and conservation soil fauna studies. The springtails are good indicators of the biological processes in terrestrial ecosystems. However, financial resources limitations have driven research aiming reduction of sampling and identification of the organisms, but keeping the efficiency of biological information. We aimed to test the cost-benefit of the combination of collection methods to capture edaphic springtails for creating a sampling protocol in the Amazon. Sampling was carried out in September 2012 in 25km² of a forest gradient using two sampling methods. In 30 plots, we sampled 150 composite subsamples of soil and leaf litter for extraction of fauna by the Berlese-Tullgren apparatus and 300 subsamples using Pitfall. Combining the methods, we obtained 4.453 individuals and 15 species of springtails. Each method detected different compositions without overlapping information. However, using only Pitfall, the ecological patterns captured with both methods combined were recovered. The litter depth showed a strong relation with the springtail assemblage, being the only variable associated with the assemblage captured with the maximum effort and with the assemblage captured with Pitfall.

Sampling the area using only the Pitfall was effective, allowing a simplification of the protocol that will require less effort in the field and laboratory in terms of time and cost, contributing with data to the maintenance of biodiversity.

Key world

Amazon, biodiversity, Entomobryomorpha, mesofauna, sampling efficiency.

Introdução

O uso da terra vem modificando as paisagens naturais e causando danos irreparáveis aos ecossistemas terrestres (Pereira *et al.* 2010). Com isso, pesquisas multidisciplinares são fundamentais na seleção de áreas prioritárias como estratégias de conservação (Margules *et al.* 2002; Christianini *et al.* 2013). Com frequência, os artrópodos são adotados como modelo para projetos de avaliações da biodiversidade (Gardner *et al.* 2008; Kessler *et al.* 2011). Por outro lado, a complexidade na identificação (Lawton *et al.* 1998; Rusek 1998) e a quantidade de material a ser processado (Santos *et al.* 2008; Moraes *et al.* 2011) tem dificultado a incorporação de representantes da mesofauna em inventários da biodiversidade (Santos *et al.* 2008).

Na tentativa de viabilizar os projetos que contemplem diversos táxons e que possam responder às questões ambientais, têm-se intensificado os trabalhos com finalidades conservacionistas, com recomendação de protocolos em ampla escala espacial, de forma a integrar as informações sobre cada grupo alvo (Magnusson *et al.* 2005; Costa e Magnusson 2010). A padronização de métodos e esforços de coleta ainda são uma questão problemática nos inventários, tornando difícil a integração dos grupos taxonômicos e as comparações entre locais (Longino *et al.* 2002; Silveira *et al.* 2010). Dessa forma, diversas alternativas de protocolos vêm sendo adotadas para garantir um sistema integrado de informações da biodiversidade a baixos custos (ver Santos *et al.* 2008; Moraes *et al.* 2011; Souza *et al.* 2012; Ferreira *et al.* 2012; Oliveira 2013; Tourinho *et al.* 2014).

Os colêmbolos edáficos, juntamente com os ácaros edáficos, representam 90 % da mesofauna (Oliveira e Franklin 1993; Hopkin 1997; Morais *et al.* 2013), possuem sensibilidade às alterações no ambiente, o que os torna bons indicadores dos processos biológicos dos ecossistemas terrestres (Hopkin 1997; Zeppelini *et al.* 2009; Silva *et al.* 2016). Esses mesoinvertebrados podem ser encontrados do ambiente aquático (Ferreira-júnior *et al.* 2014) ao terrestre (Bellinger *et al.* 2016), mas é nos ambientes edáficos que uma grande diversidade de habitat é acessada (Hopkin 1997). Logo, existem diferentes possibilidades de técnicas para a amostragem dessa fauna (Zeppelini e Bellini 2004; Zeppelini *et al.* 2009).

Entre estas, as amostras de solo para extração da fauna (e.g. aparelho de Berlese e variações) e as armadilhas do tipo Pitfall são usualmente empregadas nos levantamentos da biodiversidade (Rusek 1998; Zeppelini e Bellini 2004; Morais e Franklin 2008).

Nesse contexto, a combinação de métodos permite refletir melhor a comunidade de colêmbolos numa determinada área (Oliveira 1994; Câmara 2002; Bitzer *et al.* 2005; Querner e Bruckner 2010). No entanto, quando os levantamentos da sua fauna são realizados com técnicas complementares não existe uma padronização dos esforços em campo, variando no tempo de atividade das armadilhas e na quantidade de subamostras para cada técnica, seja em ambiente agrícola (Bitzer *et al.* 2005; Querner e Bruckner 2010) ou florestal (Oliveira 1994; Câmara 2002). Além disso, ao acessar diferentes ambientes, a demanda no laboratório aumentará para o processamento das amostras, tanto pelo volume do material, quanto pela dificuldade da identificação (Rusek 1998; Santos *et al.* 2008). Com isso, a possibilidade de redução de métodos mantendo as informações biológicas para explicar a distribuição das assembleias, seria uma alternativa para se livrar desse impasse. Essa eficiência de métodos já tem sido demonstrada para invertebrados na Amazônia (Souza *et al.* 2012; Porto *et al.* 2016; Tourinho *et al.* 2014).

O melhor emprego metodológico é proporcional à finalidade do levantamento. Por exemplo, pesquisas com questões ecológicas e de cunho conservacionistas vêm mostrando que apenas um grupo de espécies seria eficaz em explicar o padrão ecológico, reduzindo tempo e custo financeiros (Souza 2009; Moraes 2010; Landeiro *et al.* 2012; Franklin *et al.* 2013; Souza *et al.* 2016). Logo, a elaboração de protocolos permite a realização de trabalhos para fins taxonômicos e ecológicos. Diante disso, nesta investigação, verificamos o custo-benefício da combinação de métodos de coleta de colêmbolos edáficos com o intuito de simplificar o protocolo de coletas na Amazônia. Para isso, foi caracterizada a comunidade de Isotomidae e Paronellidae em 25 km² de um gradiente florestal na Amazônia, através de coletas provenientes do Aparelho de Berlese-Tullgren modificado e da Armadilha do tipo Pitfall. Foi comparada a similaridade da composição de espécies entre os dois métodos de coleta e se a composição de espécies de um método foi capaz de manter os padrões ecológicos da comunidade de colêmbolos capturados com os métodos combinados.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em Maracá através de amostragem proveniente de amostras de solo e serrapilheira com extração a partir do Berlese-Tullgren e Pitfall cujos pormenores da

caracterização da área, do delineamento amostral, dos métodos de coleta, processamento e identificação do material se encontram na página sete deste trabalho.

Variáveis Ambientais

As variáveis ambientais utilizadas nesse trabalho para explicar o padrão de distribuição e as mudanças na comunidade de colêmbolos edáficos na área foram a profundidade da serrapilheira, o teor de argila e o teor de fósforo do solo.

As informações referentes à mensuração da profundidade da serrapilheira foram realizadas no período de coleta (ver Material e Métodos; pag 6). Para isso, as medidas da profundidade da serrapilheira foram realizadas a cada 5 metros ao longo dos transectos de 30 parcelas de 250 m, por meio de uma régua graduada em centímetro, considerando a altura entre o ponto mais alto das folhas no ponto de amostragem e a superfície do solo. Assim, foram somadas 50 medidas por parcela, resultando em 1.500 medidas nas 30 parcelas em Maracá. Para inclusão desses valores no modelo de regressões múltiplas foram utilizados os valores médios de cada parcela (ver Anexo; Tabela 3).

Os dados referentes ao teor de argila e fósforo do solo estão disponibilizados no site do PPBio (<http://ppbio.inpa.gov.br>). Os dados foram coletados por Pimentel e Baccaro (2011), a partir da amostragem de seis subamostras compostas do solo, distantes 50 metros entre si, nas 30 parcelas da grade. Amostras de 5 centímetro de profundidade foram retiradas com auxílio de um trado manual (5,5 cm de diâmetro), depois etiquetadas e analisadas no Laboratório de Ciências Agronômicas do INPA. Os dados de teor de argila e de teor de fósforo do solo inclusos no modelo de regressões múltiplas referem-se aos valores médios de cada parcela (ver Anexo; Tabela 3).

Análise dos dados

Os dados de abundância das espécies foram padronizados em abundância relativa, transformando as abundâncias originais pela transformação de Hellinger, ao qual é apropriada para dados de comunidade (Legendre e Gallagher 2001). Assim, reduzimos a discrepância entre espécies abundantes e espécies raras. Para realizar a ordenação das amostras com a composição de espécies de colêmbolos utilizamos a análise de coordenadas principais (PCoA) e a distância de Bray-Curtis (Bray e Curtis 1957) para dados quantitativos (abundância relativa). Foram utilizados dois eixos da PCoA, representando a variável dependente. Para

verificar a complementaridade dos métodos utilizados sobre a composição de espécies na área foi realizada uma MANOVA e uma ANOVA em cada um dos dois eixos gerado pela PCoA.

Para comparar a similaridade entre a composição de espécies utilizando Berlese-Tullgren e Pitfall com apenas um dos métodos, foram realizados testes de Procrustes por meio da simetria das rotações entre as ordenações dos esforços. Os testes de Procrustes tem se mostrado mais adequado para detectar associação entre matrizes de distância (Peres-Neto e Jackson 2001). O valor mínimo aceitado do r do Procrustes foi $> 0,6$, permitindo uma perda inferior a 40 % da informação em função do esforço total (Souza *et al.* 2012). Portanto, os valores maiores que 0,6 configuram uma composição semelhante a original, sendo considerada uma perda de informação viável.

Para determinar se as composições dos esforços reduzidos conservariam as relações ecológicas com as variáveis ambientais obtidas no esforço máximo, foram realizadas regressões múltiplas. Dessa forma, a associação com o padrão encontrado no esforço máximo seria o critério para a validação do protocolo baseado na redução do número de subamostras para inventário que visam aumentar o conhecimento taxonômico do grupo e explicar suas relações com os fatores ambientais na área. Para isso, as amostras foram sumarizadas em dois eixos da PCoA usando a distância de Bray-Curtis (Bray e Curtis 1957) para dados de abundância relativa e realizadas regressões múltiplas, a partir do modelo selecionado. Os dados das variáveis foram transformados em uma mesma escala, sendo padronizados em escala de média zero e desvio padrão igual a um.

As estimativas feitas para determinar os custos foram efetuadas através do número de pessoas envolvidas na execução do trabalho, sendo relacionado o trabalho em campo e no laboratório. As atividades de campo envolveram custos com alimentação e auxiliares de campo. Em laboratório, os custos referentes à triagem, montagem e identificação do material foram a computação dos valores dos bolsistas de apoio técnico de nível superior (R\$ 2.200,00/mês; 8h/dia) e de doutorado (R\$ 2.200,00/mês; 8h/dia). Os custos, também, foram estimativos com o valor médio do dólar americano de 2012 a 2014, que foi 1 US\$ = R\$ 2,15 (Fonte: Banco Central do Brasil). Essas estimativas dos custos foram realizadas baseadas na redução do número de subamostras por parcela (ver Santos *et al.* 2008).

Todas as análises foram efetuadas no programa estatístico R, versão 3.2.0, através dos pacotes *Vegan* e *car* (R Development Core Team 2015).

Resultados

Padrão de distribuição de colêmbolos edáficos ao longo do gradiente florestal

Combinando os dois métodos de amostragem, foram obtidos 4.553 espécimes e 15 espécies de colêmbolos edáficos, distribuídas em Isotomidae e Paronellidae. Isotomidae foi representada por oito espécies e uma morfoespécie e Paronellidae por duas espécies e quatro morfoespécies (Tabela 1). O número de espécies por parcelas variou de oito a 14. Paronellinae, Proisotominae e Isotominae foram às subfamílias com maior abundância, riqueza e frequência na área.

Para o método Berlese-Tullgren foram obtidos 900 indivíduos e 12 espécies (Tabela 1). A abundância e riqueza de colêmbolos por parcela variaram de 40 a 220 e cinco a 11, respectivamente, com o registro de apenas um *doubleton*, *Cyphoderus* sp.1, em toda a grade. Isotomidae foi a família mais abundante e rica com 832 espécimens (92% da abundância total) e com oito espécies registradas. *Isotomiella amazonica* e *Folsomides parvulus* foram às espécies mais abundantes, representando 41 e 16% do número de espécimes amostradas, respectivamente. No entanto, apenas *I. amazonica* ocorreu em todas as parcelas, sendo a espécie mais abundante em 18 das 30 parcelas.

Com Pitfall, foram coletados 3.653 indivíduos e 12 espécies (Tabela 1). Paronellidae foi a família mais abundante, com 2.383 espécimes (70% da abundância total), sendo *Trogolaphysa* sp. 2, *Salina* sp.1 e *Trogolaphysa* sp.1, as espécies mais representativas com 31, 19 e 17%, respectivamente, do número total de espécies. Porém, apenas *Salina* sp.1 ocorreu em todas as parcelas. Além disso, *Trogolaphysa* sp.2 foi a espécie mais abundante em 15 das 30 parcelas amostradas. Por outro lado, o maior número de espécies registrado foi em Isotomidae (7), porém não ocorreram em todas as parcelas. A maior abundância foi registrada para *F. centralis*, com 460 espécimes, representando 12,9% da abundancia total e presente em 28 parcelas, seguida por *I. palustris* e *H. thermophila*, com 324 e 167 indivíduos, respectivamente.

Tabela 1. Riqueza, abundância e frequência (entre parênteses) de colêmbolos edáficos registrados nas 30 parcelas permanentes.

Espécie	Berlese-Tullgren	Pitfall
Isotomidae		
Anurophorinae		
<i>Hemisotoma thermophila</i> (Axelson, 1900)	20 (9)	167 (22)
<i>Isotomodes</i> sp.1	91 (18)	0
Proisotominae		
<i>Folsomides centralis</i> Denis, 1931	46 (18)	460 (28)
<i>Folsomides parvulus</i> Stach, 1922	139 (24)	119 (21)
<i>Folsomina onychiurina</i> Denis, 1931	71 (25)	0
<i>Proisotoma minuta</i> (Tullberg, 1871)	0	65 (17)
Isotominae		
<i>Isotomiella amazonica</i> Oliveira e Deharveng, 1990	367 (30)	27 (18)
<i>Isotomiella symetrimucronata</i> Najt e Thibaud, 1987	88 (23)	8 (6)
<i>Isotomurus palustris</i> (Müller, 1776)	9 (7)	324 (29)
Paronellidae		
Paronellinae		
Paronellini		
<i>Trogolaphysa</i> sp.1	42(18)	602 (28)

<i>Trogolaphysa</i> sp.2	8 (5)	1089 (29)
Cremastocephalini		
<i>Salina dedoris</i> Mari Mutt, 1987	0	10 (7)
<i>Salina</i> sp.1	0	676 (30)
Cyphoderinae		
<i>Cyphoderus agnotus</i> Börner, 1906	17 (10)	6 (6)
<i>Cyphoderus</i> sp.1	2 (2)	0
Total	900	3.553

Todas as espécies amostradas são novos registros para Maracá e para o Estado de Roraima, somando 15 espécies para região. *Salina dedoris* é registrada pela primeira vez para o Brasil.

Comparação da composição de espécies de colêmbolos edáficos entre os métodos

A composição de espécies de colêmbolos difere entre os métodos (MANOVA: Wilks = 0,056 e $P < 0,001$). Os dois eixos da PCoA sumarizaram 91% das informações da composição. O primeiro eixo detectou a diferença entre os métodos (ANOVA; $F_{4,03} = 972,9$; $P < 0,001$). Não houve diferença no segundo eixo PCoA (ANOVA; $F_{4,03} = 0,044$; $P = 0,834$). Os métodos de coleta não amostraram composições de espécies similares, indicando complementaridade entre os mesmos (Fig. 1).

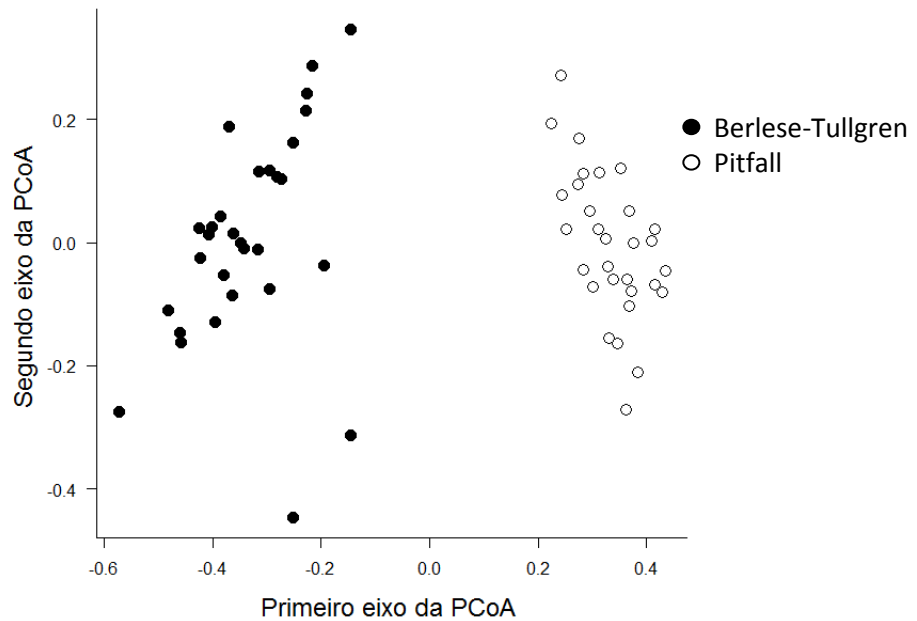


Figura 1. Ordenação usando PCoA da composição de colêmbolos com dois métodos de coleta (Berlese-Tullgren e Pitfall), em gradiente florestal na Amazônia.

Similaridade da composição de espécies de colêmbolos edáficos

Houve uma alta similaridade ($rP > 0,60$) na composição de espécies de colêmbolos do esforço reduzido (um método de coleta) em comparação ao esforço máximo (dois métodos combinados). O teste de Procrustes detectou uma similaridade de 0,712 ($P = 0,001$) da composição amostrada com o Berlese-Tullgren em relação aos dois métodos combinados. Porém, a similaridade da composição utilizando o Pitfall com os métodos combinados foi ainda maior, chegando a 0,952 ($P = 0,001$). Portanto, a utilização de apenas o Pitfall é apropriada para recuperar as informações contidas com os dois métodos. A análise de Procrustes utilizando as duas assembleias reduzidas a dois eixos da PCoA mostra o direcionamento das parcelas dentro da área e suas distâncias em relação à composição de espécies do esforço máximo (Fig. 2).

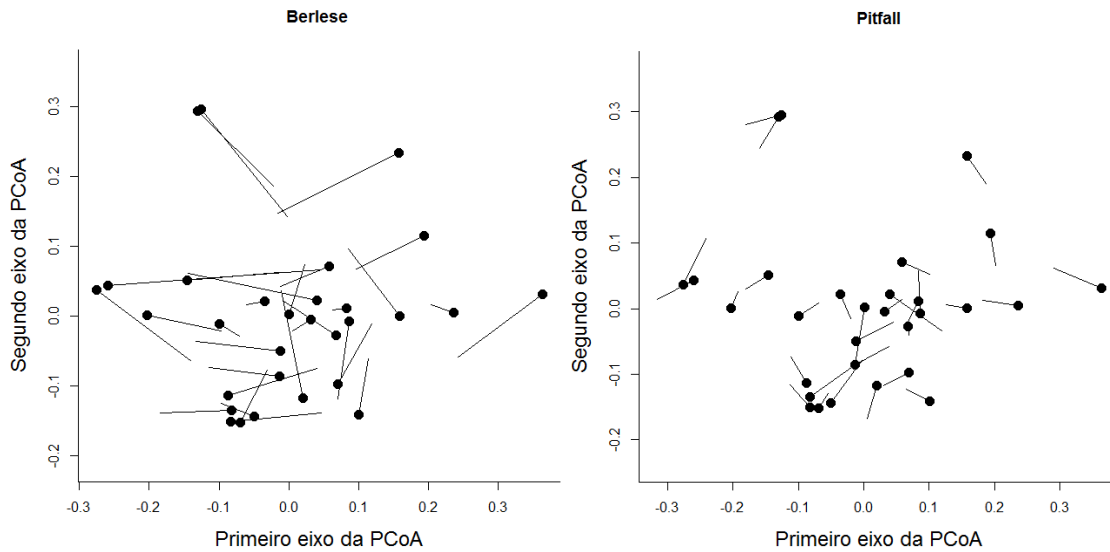


Figura 2. Similaridade de Procrustes das assembleias de colêmbolos coletadas no esforço máximo e no esforço reduzido para apenas um método de coleta. Cada círculo preto indica a parcela com o esforço máximo e no outro extremo a mesma parcela com esforço reduzido para somente Berlese-Tullgren ou Pitfall. A distância entre elas indica o quanto estas parcelas variaram em relação à composição de espécies.

Relação ecológica da composição de espécies de colêmbolos edáficos

A partir de regressões múltiplas, verificamos que as associações das variáveis ambientais na mudança da composição de colêmbolos com a combinação de métodos é mantida nos esforços reduzidos (Tab. 2). A ordenação em dois eixos da PCoA representou 82% da variância dos dados com utilizando os dois métodos, sendo que os eixos 1 e 2 sumarizaram 56 e 26%, respectivamente. Houve mudança na composição de espécies relacionada à profundidade da serrapilheira (Tab. 2; Fig. 3A). O esforço reduzido com apenas o Berlese representou 60% da variância da composição com os dois primeiros eixos da PCoA, sendo que os eixos 1 e 2 detectaram 42 e 18%, respectivamente. Todavia, nenhum eixo recuperou a resposta ecológica observada no esforço máximo (Tab. 2). Por outro lado, utilizando o Pitfall, os eixos da PCoA representaram 70 e 14% dessa variação, respectivamente, e juntos, detectaram 84% da variância dos dados. A mudança na composição de colêmbolos relacionada com o gradiente de serapilheira recuperada com o Pitfall foi similar ao padrão detectado com o esforço máximo (Tab. 2; Fig. 3B).

Tabela 2. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de colêmbolos edáficos, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, com o esforço máximo (Berlese-Tullgren e Pitfall) e com os esforços reduzidos (um método). Nas colunas estão representados os níveis de esforço por método e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

		Teor de argila (%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R^2	P	
		coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p			
Berlese-	Eixo 1	-0,208	0,231	0,237	0,179	-0,480	0,007	0,320	0,017	
Tullgren	Eixo 2	0,014	0,944	0,141	0,494	0,190	0,341	0,046	0,739	
+ Pitfall										
Berlese-	Eixo 1	-0,006	0,975	-0,301	0,125	0,217	0,247	0,164	0,192	
Tullgren	Eixo 2	0,069	0,731	-0,069	0,733	0,266	0,177	0,080	0,530	
Pitfall		Eixo 1	-0,255	0,151	0,156	0,378	-0,482	0,008	0,297	0,025
		Eixo 2	0,000	0,999	0,211	0,309	0,076	0,702	0,044	0,754

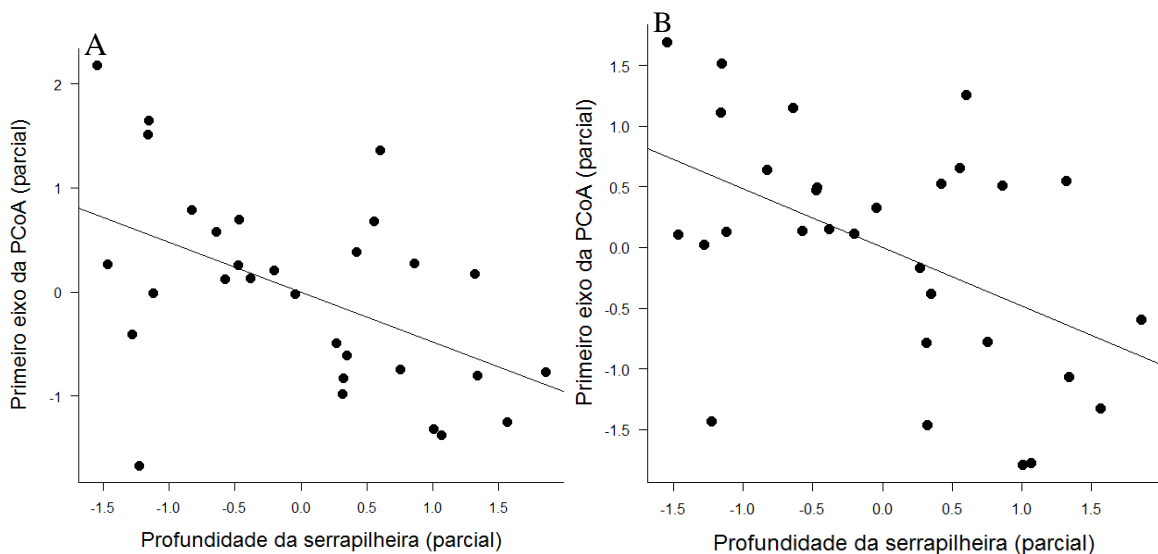


Figura 3. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostram que as mudanças na composição de espécies de colêmbolos estão associadas com a profundidade de serrapilheira no esforço máximo (A) e no esforço reduzido com apenas o Pitfall (B).

Redução dos custos financeiros

A amostragem com apenas um método representou uma alta similaridade com a composição de espécies total na área. No entanto, apenas com o Pitfall foi possível recuperar as respostas ecológicas obtidas com o uso das técnicas combinadas. Portanto, a amostragem de colêmbolos edáficos na área com o Pitfall resulta em uma economia de tempo e custos financeiros para 16 e 36%, respectivamente. Os valores monetários das despesas passariam de R\$ 44.800,00 (US\$ 20.837) para R\$ 28.634,00 (US\$ 13.318) (Tabela 3).

Tabela 3. Economia estimada em tempo e dos custos em reais (R\$) e dólar (US\$) para a redução do nível do esforço amostral, baseada no número de métodos de coleta.

Despesas	Tempo (dias)	Método	
		Berlese-Tullgren + Pitfall	Pitfall*
Alimentação em campo	20	1.100	734
Auxiliares de campo	20	800	400
Bolsista de doutorado	285	17.600	11.000
Bolsista PCI nível superior	345	25.300	16.500
Total (R\$)		44.800	28.634
Total (US\$)		20.837	13.318
Economia (%)		-	36

*Custos estimados para o Pitfall são equivalentes a 10 dias em campo e 14 meses no laboratório.

Discussão

Padrão de distribuição de colêmbolos edáficos ao longo do gradiente florestal

Com o uso de dois métodos de coleta, Berlese-Tullgren e Pitfall, a comunidade de colêmbolos edáficos, provenientes de duas famílias foi caracterizada em 25 km² ao longo do gradiente florestal estudado. Diversos estudos já foram realizados em Maracá relacionados à diversidade biológica de invertebrados (Aguiare Bührnheim 1991; Bührnheim e Aguiar 1991; Bandeira 1991; Rafael 1991; Souza *et al.* 2012, 2016). No entanto, este estudo é o primeiro a abordar a diversidade do grupo com os primeiros registros de ocorrência para a região. Entretanto, a fauna de colêmbolos edáficos para outras áreas da região Amazônica tem sido bastante estudada sob diferentes tipos de ambientes, vegetação e clima (Adis e Ribeiro 1989; Oliveira 1994; Oliveira e Franklin 1993; Franklin *et al.* 2005; Macambira 2001; Morais *et al.* 2010; Oliveira 2013).

Os colêmbolos são comumente encontrados com elevada diversidade no solo, principalmente em ambientes tropicais, em consequência da sua plasticidade em ocupar distintos nichos tróficos (Hopkin 1997; Oliveira 2009). Contudo, a riqueza de 15 espécies de Isotomidae e Paronellidae encontrada na área de estudo foi inferior à conhecida dessas famílias na região Amazônica (Oliveira 1994; Câmara 2002). Por outro lado, Gauer (1997) realizou inventários em florestas inundáveis (várzea e igapó) na Amazônia, utilizando vários métodos de coletas, inclusive amostras de solo para extração com Aparelho de Berlese e Pitfall, registrando 52 espécies de todo o grupo, das quais apenas oito espécies equivalem a Isotomidae e Paronellidae, correspondendo a 15% da fauna de colêmbolos estudada, embora, os ambientes sejam diferentes e as áreas amostradas inferiores à escala espacial utilizada nesse trabalho (cerca de 400 m²).

As subfamílias Paronellinae, Proisotominae e Isotominae estão presentes em diversos ecossistemas no mundo, mesmo nos ambientes aquáticos e cavernícolas (Palacios-Vargas 2002; Mendonça *et al.* 2014; Bellinger *et al.* 2016), somados ao hábito alimentar generalista, especialista e predatório (Hopkin 1997). Dessa forma, não é surpreendente a alta representatividade dessas subfamílias na área estudada e em diferentes ambientes terrestres (Gauer 1997; Rusek 2001; Câmara 2002; Culik *et al.* 2002; Abrantes 2006, 2011; Oliveira 2013). Paronellinae e Proisotominae foram as subfamílias mais ricas ambas com quatro espécies, porém Paronellinae foi 57% da prevalência nas amostras. Essa dominância foi basicamente devido à *Trogolaphysa* que representou 38% da abundância total com ampla distribuição nas florestas em Maracá, embora não ocorrendo em todas as parcelas. Em geral, as espécies de *Trogolaphysa* são caracterizadas como epiedáficas com morfologia adaptadas aos ambientes acima do solo e serrapilheira, porém algumas espécies são troglóbias com morfologia especializada a viverem em ambientes cavernícolas (Palacios-Vargas 2002). Além disso, como os colêmbolos têm capacidade de agregação, inclusive junto a outras espécies (Shaw e Usher 1996), os feromônios de agregação podem auxiliar nas explosões populacionais em condições ideais de muitas espécies de colêmbolos (Coleman *et al.* 2004). Tal fato pode explicar a dominância de *Trogolaphysa* sp.2 na área.

Comparação da composição de espécies de colêmbolos edáficos entre os métodos

Os diversos micro-habitat dos colêmbolos estão relacionados com diferentes estágios do ciclo de vida, recurso alimentar e condições favoráveis (Hopkin 1997). Deste modo, cada método amostra habitat diferentes. O Berlese-Tullgren amostra os colêmbolos que habitam

desde a superfície a camadas mais internas do solo, concentrando os colêmbolos que vivem nos primeiros 5 cm do solo enquanto as armadilhas de Pitfall amostraram os que vivem na superfície do solo e serrapilheira (Hopkin 1997). Logo, a integração de métodos de coleta contribui para melhor estimar a riqueza de espécies na realização de inventários da comunidade de colêmbolos na área. Essa complementaridade foi bem evidente, mostrada pelos eixos da PCoA com os métodos amostrando composições diferentes sem nenhuma sobreposição de informação, sendo possível observar uma maior semelhança da composição entre as parcelas para cada técnica. Outros estudos já haviam utilizado essa combinação de métodos para amostragem de colêmbolos em ambientes agrícolas (Fountain e Hopkin 2004; Bitzer *et al.* 2005; Querner e Bruckner 2010) e em floretas tropicais (Oliveira 1994; Gauer 1997; Câmara 2002). No entanto, todos os estudos mencionados anteriormente em ambientes florestais foram realizados na Amazônia Central em áreas com tamanho espacial inferior a 10 km². Todavia, esses estudos mostraram a eficiência da complementaridade de métodos de amostragem com finalidades distintas.

Similaridade da composição de espécies de colêmbolos edáficos

Os resultados mostraram que a redução do número de métodos utilizados foi eficiente para inventariar a comunidade de colêmbolos edáficos na área. Cada método de coleta foi capaz de manter uma alta similaridade ($rP > 0,60$) da composição de espécies com os métodos combinados. O Berlese-Tullgren e o Pitfall representaram 71 e 95% da comunidade total, respectivamente. A limitação de recursos financeiros para a realização de estudos, em ampla escala espacial na região Amazônica, através de combinação de métodos e de esforço de coletas tem obrigado muitos pesquisadores a encontrar estratégias que permitam tentar esclarecer o padrão de distribuição da comunidade de diferentes locais sem diminuir significativamente a informação, contribuindo com dados para a manutenção da biodiversidade (Magnusson *et al.* 2005). A elaboração de protocolo de coleta para inventariar áreas na Amazônia a baixos custos tem se mostrado eficiente para a amostragem da mesofauna edáfica (Santos *et al.* 2008; Moraes 2010; Ferreira 2011; Franklin *et al.* 2013; Oliveira 2013).

Relação ecológica da composição de espécies de colêmbolos edáficos

A redução do número de métodos baseados na recuperação do padrão ecológico observado com os métodos juntos foi comprovada apenas com a armadilha de Pitfall. Essa capacidade de manter as relações associadas às variáveis ambientais seria mais criteriosa na elaboração do protocolo de coleta, visto que o protocolo seria suficiente para aumentar o conhecimento do grupo estudado e relacionaria os fatores ambientais às mudanças na composição da comunidade. A profundidade da serrapilheira foi um gradiente forte sendo a única variável associada às mudanças na composição de colêmbolos com a utilização do Berlese-Tullgren e Pitfall e com apenas o Pitfall.

Estudos com a mesofauna que possibilite a amostragem de áreas com eficiência taxonômica integrada aos fatores ambientais a baixos custos ainda são escassos em florestas tropicais (Santos *et al.* 2008; Moraes *et al.* 2011; Ferreira *et al.* 2012), principalmente com colêmbolos edáficos (Oliveira 2013). Nossos resultados mostrou ser possível à redução do esforço amostral a partir da utilização de apenas uma técnica de coleta, mesmo com métodos complementares. Nosso estudo tem corroborado com diversos autores que mostraram a eficiência de apenas um método de amostragem na associação do padrão de distribuição da comunidade de invertebrados edáficos com os fatores ambientais (Souza *et al.* 2012; Porto *et al.* 2016; Tourinho *et al.* 2014).

Redução dos custos financeiros

Esse estudo teve por finalidade contribuir com informações acerca da eficiência dos métodos para auxiliar programas de monitoramento. Logo, a utilização de apenas a armadilha de pitfal foi capaz de recuperar uma composição similar os dois métodos combinados e a associação do gradiente de serrapilheira na mudança da comunidade. A amostragem com o Pitfall diminuirá a riqueza de espécies (em 20%), mas proporcionará reduzir os custos financeiros em 36%. O tempo para o processamento do material seria reduzido em 33%, já que a quantidade total do material a ser processado diminuiria de 450 para 300 subamostras em toda área.

A economia de tempo e custos financeiros seria verificada principalmente no laboratório onde o processo de triagem, montagem e identificação oneram os projetos da mesofauna (Moraes *et al.* 2011), em especial, na identificação do material que exigem um olhar mais aguçado nos critérios morfológicos das espécies (Rusek 1998). Desta forma, podemos perceber que a amostragem com técnicas complementares seria o ideal, porém, os custos e tempo são insuficientes para concretizá-lo e, portanto, economizar recursos tornou-se

uma estratégia essencial para realizar pesquisas na Amazônia sem que haja perdas significativas da informação biológica. A elaboração de protocolos padronizados para inventariar áreas na Amazônia com redução do número de métodos reduzindo tempo e custos financeiros já foi comprovada com invertebrados do solo (Souza *et al.* 2012; Tourinho *et al.* 2014).

Conclusão

As armadilhas de Pitfall é um método eficaz para realização de inventários da comunidade de colêmbolos. Essa eficácia foi comprovada na manutenção das informações biológicas quando comparados aos dois métodos combinados.

A elaboração de protocolo padronizado de coleta, com finalidade de estudos taxonomico e ecológico, possibilitará reduzir os gastos monetários e o tempo em campo e em laboratório, proporcionando a viabilidade de novos estudos com a economia realizada neste estudo.

Referência Bibliográfica

Abrantes, E.A. 2006. Estrutura e composição de Isotomidae (Collembola) em áreas preservadas e impactadas de Maricá, Estado do Rio de Janeiro, Brasil./Dissertação de mestrado /Universidade Federal do Rio de Janeiro/Museu Nacional. 91pp.

Abrantes, E.A. 2011. Fauna de Isotomidae (Collembola: Entomobryomorpha) em áreas da Restinga da Marambaia, Estado do Rio De Janeiro, Brasil/Tese de doutorado/Universidade Federal do Rio de Janeiro/Museu Nacional. 103pp.

Adis, J.; Ribeiro, M.D.A. 1989. Impacto de desmatamento em invertebrados de solo de florestas inundáveis na Amazonia central e suas estratégias de sobrevivencia as inundacoes de longo prazo. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Zoologia*.

Aguiar, N.O.; Bührnheim, P.F. 1991. Pseudoscorpiones foréticos de *Stenodontes spinibarbis* (Lin., 1758) (Coleoptera) e redescrição de *Lechytia chthoniiformis* (Balzan, 1890) (Pseudoscorpiones, Chthoniidae) da Ilha de Maracá-Roraima. *Acta Amazonica*, 21: 425-433.

Bandeira, A. G. (1991). Térmites (Insecta: Isoptera) consumidores de liteira na Ilha de Maracá, Roraima. *Acta Amazonica*, 21: 15-23.

Bellinger, P.F.; Christiansen, K.A.; Janssens, F. 2016. Checklist of the Collembola of the world. [http:// www.collembola.org](http://www.collembola.org) (acesso em 12 de fevereiro de 2016).

Bitzer, R.J.; Rice, M.E.; Pilcher, C.D.; Pilcher, C.L. 2005. Biodiversity and community structure of epedaphic and euedaphic springtails (Collembola) in transgenic rootworm Bt corn. *Environmental Entomology*, 34(5): 1346-1376.

Bray, J. R.; Curtis, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern of Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 325–349.

Bührnheim, P.F.; Aguiar, N.O. 1991. Passalideos (Coleoptera) da Ilha de Maracá, Roraima. *Acta Amazonica*, 21: 25-33.

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 Pesquisa da Amazônia. 121pp.

Christianini, A.V.; Galetto, L.; Garibaldi, L.A.; Cetra, M. 2013. Ecologia aplicada à conservação. 41-67p. In: Piratelli, A.J.; Francisco, M.R (Eds.). *Conservação da Biodiversidade: dos conceitos às ações*. Technical Books. Rio de Janeiro, RJ, 272pp.

Coleman, D.C.; Crossley, D.A.Jr., Hendrix, P. F. 2004. Secondary production: activities of heterotrophic organisms—The Soil Fauna. 79-184p. In: Coleman, D.C.; Crossley, D.A.Jr., Hendrix, P. F. *Fundamentals of Soil Ecology*., Elsevier Academic Press, 2ª edição, Oxford, UK. 375pp.

Costa, F.R.C.; Magnusson, W.E. 2010. The need for large-scale, integrated studies of biodiversity: the experience of the Program for Biodiversity Research in Brazilian Amazonia. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 8: 3–12.

Culik, M.P.; Souza, J.L.; Ventura, J.A. 2002. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environments of Espírito Santo, Brazil. *Applied Soil Ecology*, 21: 49-58.

Ferreira, R.N.C. 2011. Redução do esforço amostral de ácaros do solo (Acari: Oribatida) em fragmentos de floresta da região de Alter do Chão, Pará, Brasil. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 59pp.

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. *Journal of Natural History*, 46: 2131–2144.

Ferreira-Júnior, N.; Salles, F.F.; Hamada, N. 2014. Hexápodes Aquáticos 173-181p. In: Hamada, N.; Nessimian, J.L.; Querino, R.B. (Ed.). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. INPA, Manaus, AM. 724 pp.

Fountain, M.T.; Hopkin, S.P. 2004. A comparative study of the effects of metal contamination on collembola in the field and in the laboratory. *Ecotoxicology* 13: 573–587.

Franklin, E.; Magnusson, W.; Luizão, F.J. 2005. Relative effects of biotic and abiotic factors on the composition of soil invertebrates communities in an Amazonian savannah. *Appl. Soil Ecol.* 29: 259–273.

Franklin, E.; Moraes, J.; Landeiro, V.L.; Souza, J.L.P.; Pequeno, P.A.C.L.; Magnusson W.E.; Morais, J.W. 2013. Geographic position of sample grid and removal of uncommon species

affect multivariate analyses of diverse assemblages: The case of oribatid mites (Acari: Oribatida). *Ecological Indicators*, 34: 172–180.

Gardner, T.A.; Barlow, J.; Araujo, I.S.; Ávila-Pires, T.C.; Bonaldo, A.B.; Costa, J. E.; Esposito, M.C.; Ferreira, L.V.; Hawes, J.; Hernandez, M.I.M.; Hoogmoed, M.S.; Leite, R.N.; Lo-Man-Hung, N.F.; Malcolm, J.R.; Martins, M. B.; Mestre, L.A.M.; Miranda-Santos, R.; Overall, W.L.; Parry, L.; Peters, S.L.; Ribeiro-Júnior, M.A.; Silva, M.F.; Motta, C.S.; Peres, C.A. 2008. The cost-effectiveness of biodiversity surveys tropical forests. *Ecologyletters*, 11: 139–150.

Gauer, U. 1997. The Collembola. 351-359p. In: Junk, W.J. (Ed.) *The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system*. Springer Science & Business Media. v. 126, Berlin, Alemanha. 530pp.

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

Kessler M.; Abrahamczyk S.; Bos M.; Buchori D.; Putra D.D.; Gradstein S.R.; Höhn P.; Kluge J.; Orend F.; Pitopang R.; Saleh S.; Schulze C.H.; Sporn S.G.; Steffan-Dewenter I.; Tjitrosoedirko S.S.; Tschardtke T. 2011. Cost-effectiveness of plant and animal biodiversity indicators in tropical forest and agroforest habitats. *Journal of Applied Ecology* 48(2):330–339.

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.

Legendre, P.; Gallagher, E.D. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129(2): 271-280.

Longino, J.T.; Coddington, J.; Colwell, R.K. 2002. The ant fauna of a tropical rain forest: estimating species richness three different ways. *Ecology*, 83(3), 689-702.

Lawton, J.H.; Bignell, D.E.; Bolton, B.; Bloemers, G.F.; Eggleton, P.; Hammond, P.M.; Hodda, M.; Holt, R.D.; Srivastava, D.S.; Watt, A.D. 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature* 39, 72–76.

Macambira, M. L. J. 2001. *Colêmbolos (Hexapoda) da Amazônia Oriental: Taxonomia e ecologia*. Tese de doutorado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 174pp.

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

Margules, C.R.; Pressey, R.L.; Williams, P.H. 2002. Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation. *Journal of biosciences*, 27(4): 309-326.

Mendonça, M.C.; Abrantes, E.A.; Queiroz, G.C. 2014. Classe Collembola. 183-191p. In: Hamada, N.; Nessimian, J.L.; Querino, R.B. (Eds.). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. INPA, Manaus, AM. 724 pp.

Moraes, J. 2010. *Ácaros do solo (Acari: Oribatida) da Reserva Florestal Ducke e redução do esforço amostral no gradiente ecológico de 10 mil ha de floresta de terra-firme*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 77pp.

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 km² of forest in Amazonia. *Experimental and Applied Acarology*, 55: 39–63.

Morais J.W.; Franklin, E. 2008. Mesofauna do solo na Amazônia Central. 371-408p. In: Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.Q.; Brussaard, L. (Eds.). Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. UFLA, Lavras, MG. 768pp.

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*, 39: 145-152.

Morais, J.W.; Oliveira, F.G.L.; Braga, R.F.; Korasaki, V. 2013 Mesofauna. 185-200p. In: Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. (Eds.). *O Ecossistema Solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. UFLA, Lavras, MG. 352pp.

Oliveira, E.P.; Franklin, E. 1993. Efeito do fogo sobre a mesofauna do solo: recomendações em áreas queimadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28(3): 357-369.

Oliveira, E.P. 2009. Collembola. 63-69p. 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 taxonomico e biologico*. INPA, Manaus, AM. 308pp.

Oliveira, E.P. 1994. *Le peuplement dès Collemboles édaphiques em Amazonie brésilienne: systématique, biogéographie etécologie*. Tese de Doutorado/Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 198pp.

Oliveira, F.G.L. 2013. *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*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 53pp.

Palacios-Vargas, J.G. 2002. La distribución geográfica de los Collembola en el mundo subterráneo. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*, 36: 1-5.

Pereira, H.M.; Leadley, P.W.; Proença, V.; Alkemade, R.; Scharlemann, J.P.W.; Fernandez-Manjarrés, J.F.; Araújo, M.B.; Balvanera, P.; Biggs, R.; Cheung, W.W.L.; Chini, L.; Cooper, H.D.; Gilman, E.L.; Guénette, S.; Hurtt, G.C.; Huntington, H.P.; Mace, G.M.; Oberdorff, T.; Revenga, C.; Rodrigues, P.; Scholes, R.J.; Sumaila, U.R.; Walpole, M. 2010. Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. *Science* 330: 1496-1501.

- Peres-Neto, P.R.; Jackson, D.A. 2001. How well do multivariate data sets match? The advantages of a Procrustean superimposition approach over the Mantel test. *Oecologia*, 129(2): 169-178.
- Porto, W.; Pequeno, P.A.L.; Tourinho, A.L. 2016. When less means more: Reduction of both effort and survey methods boosts efficiency and diversity of harvestmen in a tropical forest. *Ecological Indicators*, 69: 771-779.
- Querner, P.; Bruckner, A. 2010. Combining pitfall traps and soil samples to collect Collembola for site scale biodiversity assessments. *Applied soil ecology*, 45(3): 293-297.
- R Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rafael, J.A. 1991. Insetos coletados durante o Projeto Maracá, Roraima, Brasil: Lista complementar. *Acta amazonica*, 21: 325-336.
- Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1207-1219.
- Rusek, J. 2001. Microhabitats of Collembola (Insecta: Entognatha) in beech and spruce forests and their influence on biodiversity. *European journal of soil biology*, 37(4): 237-244.
- Santos, E.M.R.; Frankin, E.; Magnusson, W.E. 2008. Cost-efficiency of a sub sampling protocols to evaluate oribatid-mite communities in an Amazonian savanna. *Biotropica*, 40(6): 728-735.
- Shaw, P.J.A.; Usher, M.B. 1996: Edaphic Collembola of lodgepole pine *Pinus contorta* plantations in Cumbria, UK. *European Journal of Soil Biology*, 32: 89–97.
- Silva, P.M.; Carvalho, F.; Dirilgen, T.; Stone, D.; Creamer, R.; Bolger, T.; Sousa, J. P. 2016. Traits of collembolan life-form indicate land use types and soil properties across an European transect. *Applied Soil Ecology*. In press <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.07.018>
- Silveira L.F.; Beisiegel, B.M.; Curcio, F.F.; Valdujo, P.H.; Dixo, M.; Verdade, V.K.; Mattox, G.M.T.; Cunningham, P.T.M. 2010. Para que servem os inventários de fauna? *Estudos Avançados*, 24: 173–207.
- Souza, J.L.P. 2009. *Avaliação do esforço amostral, captura de padrões ecológicos e utilização de taxa substitutos em formigas (Hymenoptera, Formicidae) de liteira com três métodos de coleta na floresta amazônica, Brasil*. Tese de Doutorado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 97 pp.
- 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*, 56: 63-73.
- Souza, J.L.P.; Baccaro, F.B.; Landeiro, V.L.; Franklin, E.; Magnusson, W.E.; Pequeno, P. A.C.L.; Fernandes, I.O. 2016. Taxonomic sufficiency and indicator taxa reduce sampling costs and increase monitoring effectiveness for ants. *Diversity and Distributions*, 22(1): 111-122.

Tourinho, A.L.; Lança, L.S.; Baccaro, F.B.; Dias, S.C. 2014. Complementarity among sampling methods for harvestman assemblages. *Pedobiologia*, 57(1): 37-45.

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

Zeppelini, D.; Bellini, B. C.; Creão-Duarte, A. J.; Hernández, M. I. M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 18(5):1161-1170.

Capítulo III

Influência de variáveis ambientais sobre assembleias de colêmbolos (Collembola: Entomobryomorpha) edáficos e eficiência amostral em florestas tropicais, Brasil

Resumo

Como o ambiente é um sistema heterogêneo e interligado, buscar entender quais fatores governam o estabelecimento das espécies pode ser o começo para compreender sua contribuição nos processos do ecossistema. Foram caracterizadas e verificadas a influência da profundidade da serrapilheira, teor de argila e de fósforo do solo no padrão de distribuição de colêmbolos edáficos e testada a eficiência de um protocolo amostral em grades de 25 km² instaladas em três gradientes florestais amazônicos (Reserva Ducke, Estação Ecológica de Maracá e Parque Nacional de Viruá). Nos anos de 2012 e 2013, foram instaladas armadilhas de Pitfall em 30 parcelas de cada área. Foram coletados 10.295 colêmbolos e 20 espécies nas três áreas. A comunidade de colêmbolos edáficos foi influenciada pelos fatores ambientais. A riqueza de colêmbolos diminuiu no gradiente de serrapilheira e argila na Ducke. A abundância diminuiu no gradiente de argila na Ducke, visto que em solos argilosos os espaços porosos são menores e mais difíceis à escavação e aumenta no gradiente de serrapilheira em Maracá, pois a serrapilheira aumenta a criação de micro-habitat. A composição de espécies muda em função de gradientes ambientais, onde diferentes composições habitam locais com faixas com altas e baixas quantidades de serrapilheira e teores de argila e de fósforo no solo. A redução de 10 para cinco subamostras por parcela foi eficiente para amostrar as três áreas, uma vez que no esforço reduzido registramos alta similaridade na composição de espécies e da recuperação dos padrões ecológicos registrados no esforço máximo. As relações com o teor de argila e de fósforo foram mantidas apenas em Viruá. A profundidade de serrapilheira permaneceu na Ducke e em Maracá. Os padrões ecológicos aqui estudados foram fortes e consistentes na influência sobre a comunidade de colêmbolos. A redução do número de subamostras foi eficaz, possibilitando a criação de um protocolo com menores custos, que permitirá comparações dentro e entre locais e agilizará o monitoramento e conservação da biodiversidade.

Palavras-chaves

Composição de espécies, fatores edáficos, gradiente ambiental, fauna de solo, esforço amostral.

Abstract

As the environment is a heterogeneous and interconnected system, seeking to understand what factors govern the establishment of the species may be the beginning to understand their contribution to ecosystem processes. We identified and verified the influence of litter depth, soil clay content and soil phosphorus content on the edaphic springtails distribution pattern and tested the effectiveness of a sampling protocol in 25 km² grids installed in three Amazonian forests gradients (Ducke Reserve, Maracá ecological Station and Viruá National Park). In 2012 and 2013, Pitfall traps were installed in 30 plots of each area. A total of 10.295 springtails and 20 species were collected in the three area. The community of edaphic

springtails is influenced by environmental factors. Springtails richness decreases along the litter gradient and the clay gradient in Ducke. The abundance decreased along the clay gradient in Ducke, as in clayey soils the pore spaces are smaller and more difficult to dig and increases along the clay gradient in Maracá, because the litter increases the creation of microhabitats. The species composition changes depending on environmental gradients where different sites with compositions inhabit a wide range of organic matter and clay percentage and phosphorus in the soil. The reduction from 10 to five subsamples per plot proved to be efficient to sample the three areas, since the reduced effort recorded high similarity in species composition and recovery of ecological standards recorded in maximum effort. Relations with clay and phosphorus were maintained only in Viruá. The depth of litter remained in Ducke and Maracá. The ecological patterns studied here were strong and consistent in the influence over the community of springtails. Reducing the number of subsamples was effective, enabling the creation of a protocol with lower costs that allow comparisons within and between local and streamline the monitoring and conservation of biodiversity.

Key-word

Species composition, soil factors, environmental gradient, soil fauna, sampling effort.

Introdução

O solo é uma complexa rede interativa, no qual são produzidos importantes processos biológicos essenciais para a manutenção dos ecossistemas terrestres (Moreira *et al.* 2013). A fauna que o constitui, em especial, nos ambientes de florestas tropicais, é dominada por invertebrados que contribuem com cerca de 90% da biomassa animal (Wilson, 1987; Corlett e Primack 2011). Esses animais, em função do seu tamanho corporal, são categorizados em macro, meso e microfauna, competindo aos colêmbolos o posto de um dos táxons mais representados na mesofauna edáfica (Coleman *et al.* 2004; Zeppelini e Bellini 2004; Morais *et al.* 2013). Dentre os colêmbolos, Isotomidae e Paronellidae, têm sido bem amostrados em florestas tropicais na Amazônia (Oliveira 1994, 2009; Câmara 2002; Serrano 2007; Oliveira 2013). Esses mesoartropodes são amplamente distribuídos pelo mundo, e, em virtude da distribuição no horizonte do solo, dispõem de estruturas e coloração variáveis (Hopkin 1997; Bellinger *et al.* 2016). Os colêmbolos interagem com diversos organismos no solo (Rusek 1998), participam nos processos naturais do solo (Hopkin 1997; Morais *et al.* 2013) e são sensíveis às alterações no ambiente (Zeppelini, 2012; Bellinger *et al.* 2016), podendo ser usados para programas de conservação e na qualidade do solo (Zeppelini *et al.* 2009; Silva *et al.* 2012, 2016).

Como o meio ambiente é um sistema heterogêneo e interligado, buscar entender quais fatores governa o estabelecimento de espécies de colêmbolos pode ser o começo para compreender sua contribuição nos processos do ecossistema (Moreira *et al.* 2013). Nesse

contexto, diversos estudos procuram explicar a variação da distribuição de colêmbolos através de variáveis ambientais que limitam a disponibilidade de nutrientes e habitat (Hasegawa 2001, 2002; Huang *et al.* 2012; Oliveira 2013; Silva *et al.* 2016). Tais fatores limitantes podem ser a profundidade da serrapilheira que pode alterar o grau de exposição e a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo (Luizão e Schubart 1987; Franklin *et al.* 2001), influenciando a criação de micro-habitat e na comunidade microbiana do solo (Sayer 2006), principal recurso alimentar dos colêmbolos. Do mesmo modo, o teor de fósforo no solo pode exercer influência indireta nesses animais, visto que tem sido comprovado a sua importância no desenvolvimento de fungos e bactérias (Huang *et al.* 2012; Jacquemin *et al.* 2012). Por sua vez, a concentração de argila no solo dificulta a escavação e o tamanho dos espaços intersticiais (Lavele e Spain 2001). A variação de argila modifica a distribuição da comunidade de invertebrados do solo (Moraes *et al.* 2011). Estudos com esse viés fornecem informações importantes para a criação de estratégias de conservação (Kremen *et al.* 1993).

Uma das estratégias que vem sendo adotadas nos últimos anos são estudos realizados com base em protocolos padronizados do PPBio, que buscam relacionar a composição de espécies com variáveis ambientais de florestas tropicais, seguindo o método RAPELD (Magnusson *et al.* 2005). Muitos desses estudos utilizam invertebrados terrestres e têm comprovado que a redução do esforço amostral pode ser estatisticamente possível e eficaz (Souza *et al.* 2009, 2012; Santos *et al.* 2008; Moraes *et al.* 2011). Desta forma, geraram um sistema integrado de informações com meta de realizar inventários rápidos da biodiversidade a baixos custos (Magnusson *et al.* 2005). Diante disso, esse trabalho verificou a influência de variáveis ambientais no padrão de distribuição colêmbolos edáficos em três áreas cobrindo um gradiente florestal com diferentes fisionomias na Amazônia e testou a eficiência de um protocolo amostral. Para isso, caracterizamos a comunidade de Isotomidae e Paronellidae edáficos nas três áreas, supondo que a abundância e riqueza de colêmbolos aumentariam com a profundidade da serrapilheira e teor de fósforo de solo, e diminuiriam com o teor de argila do solo. As composições de espécies mudariam com esses fatores edáficos e supomos que os padrões ecológicos seriam fortes e consistentes, sendo recuperados nos níveis reduzidos, garantindo a eficiência do protocolo e a redução de custos.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em três áreas (Ducke, Maracá e Viruá) através de amostragem proveniente armadilhas de pitfall cujo os pormenores da caracterização das áreas de estudo, do delineamento amostral, do método de coleta, processamento e identificação do material se encontram na página seis deste trabalho na seção Material e Métodos.

Variáveis Ambientais

As variáveis ambientais utilizadas nesse trabalho para explicar o padrão de distribuição e as mudanças na comunidade de colêmbolos edáficos na reserva foram profundidade da serrapilheira, teor de argila e de fósforo do solo.

As informações referentes à mensuração da profundidade da serrapilheira foram realizadas no período de coleta de amostragem da comunidade de baratas na Ducke em 2011 por Tarli (2012). Em Maracá e Viruá, as medidas foram realizadas no mesmo período da coleta (ver Material e Métodos; pag 6). Para isso, as medidas da profundidade da serrapilheira foram realizadas a cada 5 metros ao longo dos transectos nas 30 parcelas, por meio de uma régua graduada em centímetro, considerando a altura entre o ponto mais alto das folhas no ponto de amostragem e a superfície do solo. Foram somadas 50 medidas por parcela, resultando em 1.500 medidas nas 30 parcelas da reserva. Para inclusão desses valores no modelo de regressões múltiplas foram utilizados os valores médios de cada parcela (ver Anexo; Tabelas 1, 2 e 3).

Os dados referentes ao teor de argila e fósforo do solo estão disponibilizados no site do PPBio (<http://ppbio.inpa.gov.br>) e do PELD (<http://peld.inpa.gov.br>), respectivamente, para a Ducke. Em Maracá e em Viruá todas as informações estão no site do PPBio. Os dados de argila e de fósforo foram coletados por Luizão e Scabin (2011) e Pimentel e Pezzini (2008), respectivamente, para a Ducke enquanto em Maracá e em Viruá por Pimentel e Baccaro (2011) e Pimentel (2011), respectivamente, a partir da amostragem de seis subamostras compostas do solo distantes 50 metros entre si nas 30 parcelas da grade. Amostras de 5 centímetro de profundidade foram retiradas com auxílio de um trado manual (5,5 cm de diâmetro), depois etiquetadas e analisadas no Laboratório de Ciências Agronômicas do INPA. Os dados de teor de argila e de teor de fósforo do solo inclusos no modelo de regressões múltiplas referem-se aos valores médios de cada parcela (ver Anexo; Tabelas 1, 2 e 3).

Análise dos dados

Foram excluídas das análises duas parcelas em Viruá. Uma parcela por está instalada em um lago e outra por ser um outline (profundidade a serrapilheira) nas análises com as relações ecológicas. Por isso, foram utilizadas amostras referentes a 28 parcelas em Viruá e 30 parcelas em Maracá e na Ducke para a realização das análises.

Os dados de abundância das espécies foram padronizados em abundância relativa, transformando as abundâncias originais pela transformação de Hellinger, ao qual é apropriada para dados de comunidade (Legendre e Gallagher 2001). Para realizar a ordenação das amostras com a composição de espécies de colêmbolos utilizamos a análise de coordenadas principais (PCoA) e a distância de Bray-Curtis (Bray e Curtis 1957) para dados quantitativos (abundância relativa). Foram utilizados dois eixos da PCoA, representando a variável dependente. Esta tem sido uma das melhores técnicas para detectar os principais gradientes de composição e sua associação aos fatores ambientais (Minchin 1987). Em seguida, com o modelo selecionado, foram realizadas regressões múltiplas entre as variáveis ambientais (teor de argila e fósforo do solo e profundidade da serrapilheira) e a abundância, riqueza e composição de colêmbolos, representando através de gráficos a variação de cada associação. Os dados das variáveis foram transformados em uma mesma escala, sendo padronizados em escala de média zero e desvio padrão igual a um.

Para verificar diferenças na composição de espécies entre as áreas foi realizada uma MANOVA. A significância do teste foi verificada com a ANOVA e teste de Tukey em cada um dos dois eixos gerado pela PCoA.

Para determinar a similaridade entre a composição de espécies do esforço máximo e do esforço reduzido, foram realizados testes de Procrustes por meio da simetria das rotações entre as ordenações dos esforços. Os testes de Procrustes tem se mostrado mais adequado para detectar associação entre matrizes de distância (Peres-Neto e Jackson 2001). Os níveis de redução foram sugeridos até onde foi possível fazer as rotações, uma vez que para cada matriz foi necessário ter pelo menos uma espécie em cada parcela. Desta forma, as análises de redução do esforço amostral na Ducke, Maracá e Viruá foram realizadas com o menor nível obtido em cada área, sendo gerados o mínimo de três ou duas subamostras por parcela. O valor mínimo aceitado do r do Procrustes foi $> 0,6$, permitindo uma perda inferior a 40 % da informação em função do esforço total (Souza *et al.* 2012). Portanto, os valores maiores que 0,6 configuram uma composição semelhante a original, sendo considerada uma redução

taxonomicamente viável, ou seja, as composições de espécies dos esforços reduzidos seriam similares à composição do esforço máximo (10 subamostras).

Para determinar se as composições dos esforços reduzidos conservariam as relações ecológicas com as variáveis ambientais obtidas no esforço máximo, foram realizadas regressões múltiplas. Dessa forma, a associação com o padrão encontrado no esforço máximo seria o critério para a validação do protocolo baseado na redução do número de subamostras para inventário que visam aumentar o conhecimento taxonômico do grupo e explicar suas relações com os fatores ambientais na área. Para isso, as amostras foram sumarizadas em dois eixos da PCoA usando a distância de Bray-Curtis (Bray e Curtis 1957) para dados de abundância relativa e realizadas regressões múltiplas, a partir do modelo selecionado.

As estimativas feitas para determinar os custos foram efetuadas através do número de pessoas envolvidas na execução do trabalho, sendo relacionado o trabalho em campo e no laboratório. As atividades de campo envolveram custos com alimentação e auxiliares de campo. Em laboratório, os custos referentes à triagem, montagem e identificação do material foram computação dos valores dos bolsistas de apoio técnico de nível superior (R\$ 2.200,00/mês; 8h/dia), nível médio (R\$ 1.500,00/mês; 8h/dia), PIBIC (R\$ 400,00/mês; 4h/dia) e de doutorado (R\$ 2.200,00/mês; 8h/dia). Os custos, também, foram estimativos com valor médio dólar americano de 2012 a 2015, que foi 1 US\$ = R\$ 2,45 (Fonte: Banco Central do Brasil). Essas estimativas dos custos foram realizadas baseadas na redução do número de subamostras por parcela (ver Santos *et al.* 2008).

Todas as análises foram efetuadas no programa estatístico R, versão 3.2.0, através dos pacotes *Vegan* e *car* (R Development Core Team 2015).

Resultados

Padrão de distribuição de Isotomidae e Paronellidae nas três áreas

Somando as três áreas (Ducke, Viruá e Maracá) foram obtidos 10.295 indivíduos identificados de 20 espécies de Isotomidae e Paronellidae (Tabela 1). O menor número de espécies foi registrado em Maracá (12), seguido por Viruá e Ducke com igual riqueza (16). O gradiente de porcentagem de dominância nos registros de espécies em relação ao total obtido nas três áreas foi Ducke (44,2%), Maracá (34,5%) e Viruá (21,3%).

Na Ducke foram encontrados 4.548 indivíduos e 16 espécies. Destes táxons, nove foram identificados nominalmente e sete foram morfoespeciados (Tabela 1). O número de indivíduos por parcela variou de 86 a 349. A família mais abundante foi Paronellidae com 3.599 espécimes (79% da abundância total), sendo *Trogolaphysa* sp. 2, *Trogolaphysa* sp.1 e *Salina* sp.1, as espécies mais representativas com 37, 24 e 9,4% da abundância total, respectivamente, e ocorrendo em todas as parcelas. Além disso, *Trogolaphysa* sp.2 foi a espécie mais abundante em 23 das 30 parcelas. *Campylothorax* foi o mais diverso, com três espécies, e *Campylothorax* sp. 1 teve maior abundância e presença em 29 parcelas. Isotomidae foi mais diversa com nove espécies, porém não ocorreu em todas as parcelas. *Isotomurus palustris* foi a mais abundante com 377 espécimes, seguida por *Hemisotoma thermophila* e *Isotomiella amazonica* com 338 e 153 indivíduos, respectivamente. As maiores frequências foram de *I. palustris* e de *H. thermophila* em 29 parcelas, seguida de *I. amazonica* em 28 das 30 parcelas amostradas. A riqueza de espécies por parcela foi de 7 a 13 com o registro de apenas um *singleton*, *Folsomia* sp.1 em toda a grade.

Tabela 1. Riqueza, abundância e frequência (entre parênteses) de espécies de Isotomidae e Paronellidae registradas para cada área.

Espécie	Ducke	Maracá	Viruá
Isotomidae			
Anurophorinae			
<i>Hemisotoma thermophila</i> (Axelson, 1900)	338 (29)	167 (22)	160 (17)
Proisotominae			
<i>Folsomia</i> sp.1	1 (1)	0	0
<i>Folsomides centralis</i> Denis, 1931	0	460 (28)	17 (7)
<i>Folsomides parvulus</i> Stach, 1922	14 (9)	119 (21)	3 (3)
<i>Folsomina onychiurina</i> Denis, 1931	6 (6)	0	0
<i>Proisotoma minuta</i> (Tullberg, 1871)	16 (7)	65 (17)	4 (3)
<i>Proisotoma</i> sp. 1	0	0	1(1)
Isotominae			
<i>Isotomiella amazonica</i> Oliveira e Deharveng, 1990	153 (29)	27 (18)	4 (4)

<i>Isotomiella symetrimucronata</i> Najt e Thibaud, 1987	13 (7)	8 (6)	1 (1)
<i>Isotomurus palustris</i> (Müller, 1776)	377 (29)	324 (29)	193 (10)
<i>Paracerura virgata</i> Deharveng e Oliveira, 1994	31 (8)	0	0
Paronellidae			
Paronellinae			
Paronellini			
<i>Campylothorax</i> sp.1	269 (29)	0	213 (21)
<i>Campylothorax</i> sp.2	69 (9)	0	44 (9)
<i>Campylothorax</i> sp.3	4 (3)	0	0
<i>Trogolaphysa</i> sp.1	1.084 (30)	602 (28)	695 (29)
<i>Trogolaphysa</i> sp.2	1.682 (30)	1.089 (29)	561 (22)
<i>Trogolaphysa</i> sp.3	0	0	1 (1)
Cremaocephalini			
<i>Salina dedoris</i> Mari Mutt, 1987	0	10 (7)	1 (1)
<i>Salina</i> sp.1	427 (30)	676 (30)	292 (25)
Cyphoderinae			
<i>Cyphoderus agnotus</i> Börner, 1906	64 (25)	6 (6)	3 (3)
Total	4.548	3.553	2.193

Em Viruá foram registrados 2.193 indivíduos e 16 espécies (Tabela 1). Do total de táxons, nove foram identificadas nominalmente e sete foram morfoespeciadas. A abundância e riqueza de colêmbolos por parcela variaram entre 23 a 164 espécimes e 3 a 9 espécies, respectivamente. Paronellidae foi a mais abundante com 1.810 espécimes (82,6% da abundância total), sendo *Trogolaphysa*, o gênero de maior riqueza e abundância, representando 57% dos indivíduos e 20% das espécies. *Trogolaphysa* sp.1 foi a mais abundante, a única que ocorreu em todas as parcelas e a mais abundante em 14 das 29 parcelas amostradas. Paronellidae e Isotomidae obtiveram o mesmo número de espécies (8), todavia, os isotomídeos tiveram uma baixa abundância e frequência nas parcelas. Entre estes, apenas *I. palustris* e *H. thermophila* foram mais abundantes e frequentes. Foram observados

quatro *singletons*, *Proisotoma* sp. 1, *I. symetrimucronata*, *Trogolaphysa* sp.3 e *S. dedoris*, em todas as parcelas amostradas.

Em Maracá foram registrados 3.553 indivíduos e 12 espécies (Tabela 1). Destes táxons, quatro foram morfoespeciados. A abundância de colêmbolos por parcela esteve entre 40 a 220 indivíduos. Paronellidae foi a mais abundante, com 2.383 espécimes (67% da abundância total), sendo *Trogolaphysa* sp. 2, *Salina* sp.1 e *Trogolaphysa* sp.1, as mais representativas com 30,6, 19 e 16,9%, respectivamente. Porém apenas *Salina* sp.1 e *Trogolaphysa* sp.1 ocorreram em todas as parcelas. Além disso, *Trogolaphysa* sp.2 foi a espécie mais abundante em 15 parcelas. O número de espécies por parcela variou de 5 a 11. Isotomidae obteve a maior riqueza (7), porém não ocorreu em todas as parcelas. A maior abundância foi registrada por *F. centralis*, com 460 espécimes, representando 12,9% da abundancia total e presente em 28 parcelas, seguida por *I. palustris* e *H. thermophila* com 324 e 167 indivíduos, respectivamente.

Todas as espécies amostradas em Viruá e em Maracá são novos registros para as áreas, assim como para o Estado de Roraima, somando 16 espécies para região. *Salina dedoris* é registrada pela primeira vez para o Brasil. *Cyphoderus agnotus*, *H. thermophila*, *F. centralis*, *F. parvulus*, *Folsomia* sp.1 e *I. palustris* são novos registros para a Ducke e para o Amazonas com exceção das espécies de *Folsomides*, ampliando o conhecimento das espécies de Isotomidae e Paronellidae para a região Amazônica.

Composição de espécies entre as áreas

A composição de espécies de colêmbolos difere entre as três áreas (MANOVA: Wilks = 0,090 e $P < 0,001$). As informações da composição foram sumarizadas com os dois primeiros eixos da PCoA, representando 80% da variação da composição, dos quais os eixos 1 e 2 capturam 54 e 26%, respectivamente. Os dois eixos da PCoA detectaram essa diferença entre as áreas (ANOVA; $F_{3,11} = 68,73$; $P < 0,001$; $F_{3,11} = 41,2$; $P < 0,001$; Eixo 1 e 2, respectivamente). Apesar de existir certa sobreposição da composição entre e dentro das grades (Fig. 1), as três florestas estudadas diferiram significativamente na composição (Teste de Tukey; $P \leq 0,001$).

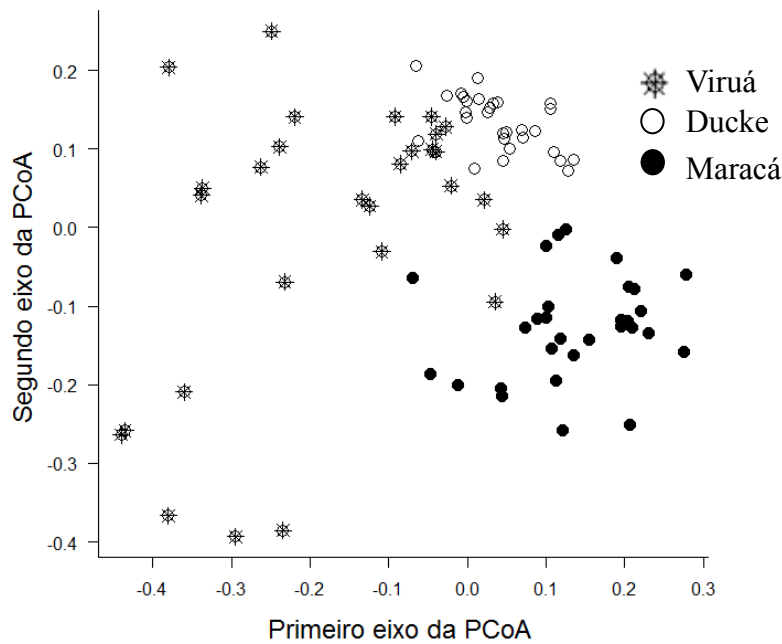


Figura 1. Ordenação usando PCoA mostra a diferença na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae entre a Ducke, Viruá e Maracá.

Relações da abundância e riqueza de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais nas três áreas

A abundância de colêmbolos esteve associada às variáveis ambientais na Ducke e em Maracá (modelo geral; $P = 0,038$; $R^2 = 0,273$; $P = 0,225$; $R^2 = 0,152$, respectivamente) (Tabela 2). O número de indivíduos diminui com o teor de argila do solo na Ducke ($p = 0,006$; Fig. 2A) e aumenta com a profundidade da serrapilheira em Maracá ($p = 0,050$; Fig. 2B). Em Viruá, nenhuma variável foi detectada afetando a comunidade, porém a parcial do teor de argila indica um possível erro tipo II ($p = 0,076$).

Os resultados das regressões não mostraram uma associação da riqueza de espécies de colêmbolos com as preditoras selecionadas em Viruá e em Maracá (Tabela 2). Essa relação foi verificada na Ducke (modelo geral; $P = 0,004$; $R^2 = 0,391$), sendo os gradientes de argila ($p = 0,033$; Fig. 3A) e serrapilheira ($p = 0,039$; Fig. 3B) os envolvidos na diminuição do número de espécies.

Tabela 2. Modelos de regressões múltiplas das variáveis ambientais com riqueza e abundância de Isotomidae e Paronellidae nas três áreas. Nas colunas estão representadas as áreas amostradas e as variáveis respostas e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

Variável resposta		Teor de argila (%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R^2	P
		Coeficiente	p	Coeficiente	p	Coeficiente	p		
Ducke	Abundância	-0,513	0,006	-0,002	0,989	0,258	0,145	0,273	0,038
	Riqueza	-0,355	0,033	0,253	0,113	-0,342	0,039	0,391	0,004
Viruá	Abundância	0,413	0,076	-0,115	0,606	-0,023	0,919	0,134	0,302
	Riqueza	0,142	0,552	0,035	0,881	0,055	0,817	0,038	0,803
Maracá	Abundância	0,048	0,802	-0,060	0,755	0,379	0,050	0,152	0,225
	Riqueza	0,076	0,478	-0,411	0,167	0,818	0,154	0,161	0,199

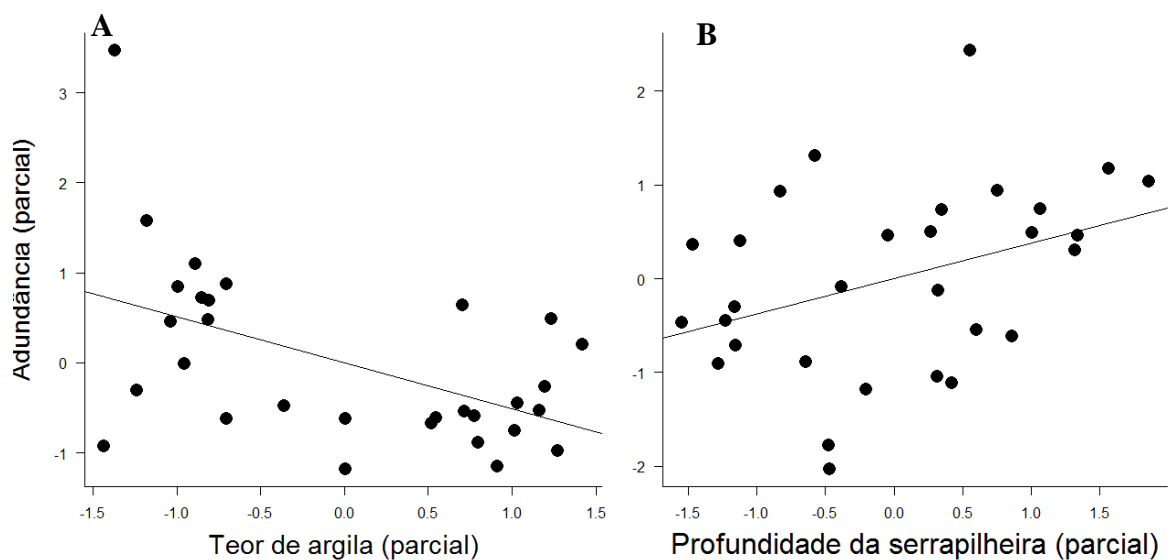


Figura 2. Parciais dos modelos de regressões múltiplas mostram que a diminuição na abundância de Isotomidae e Paronellidae tem relação com o teor de argila do solo (A) na Ducke e com a profundidade da serrapilheira (B) em Maracá.

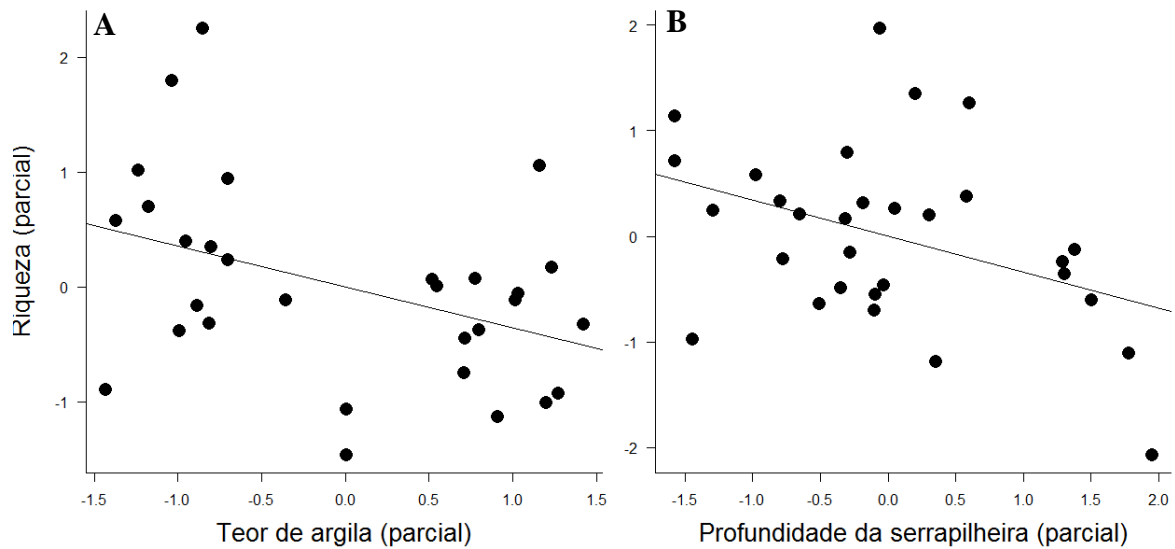


Figura 3. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostram que a diminuição da riqueza de espécies de Isotomidae e Paronellidae tem relação com o teor de argila do solo (A) e a profundidade de serrapilheira (B) na Ducke.

Composição e distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae nas três áreas

O modelo utilizado com as regressões múltiplas multivariadas indicou mudanças na composição de espécies nas três áreas (Tabela 3). Na Ducke, os dados da composição foram ordenados em dois eixos da PCoA com representação de 65% da variação e os eixos 1 e 2 mostraram 42 e 23%, respectivamente. A mudança na composição de espécies foi influenciada pela profundidade da serrapilheira no eixo 1 ($p = 0,013$) e pelo teor de argila ($p < 0,000$) e fósforo do solo ($p = 0,013$) no eixo 2. Os gráficos gerados a partir desse modelo mostram que ao longo dos eixos do gráfico os resíduos, que representam a composição de espécies nas parcelas, estão mais próximos ou mais distantes da linha de tendência. Desta forma, percebe-se que onde existe um baixo nível de profundidade de serrapilheira e teor de fósforo a composição é diferente (Fig. 4A e C). Porém com aumento no teor de argila, há parcelas com composição semelhantes mais próximas no início e no final do gradiente (Fig. 4B).

Tabela 3. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, nas três áreas. Nas colunas estão representadas as áreas amostradas e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R². Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

		Teor de argila		Teor de fósforo		Profundidade da		R ²	P
		(%)		(mg.kg)		serrapilheira (cm)			
		Coeficiente	p	Coeficiente	p	Coeficiente	p		
Ducke	Eixo 1	-0,055	0,756	0,110	0,525	-0,465	0,013	0,252	0,053
	Eixo 2	0,617	<0,000	-0,358	0,013	-0,067	0,633	0,5332	<0,000
Viruá	Eixo 1	-0,507	0,004	-0,133	0,395	-0,293	0,136	0,677	<0,000
	Eixo 2	-0,242	0,267	0,791	<0,000	-0,136	0,594	0,436	0,003
Maracá	Eixo 1	-0,255	0,151	0,156	0,378	-0,482	0,008	0,297	0,025
	Eixo 2	0,000	0,999	0,211	0,309	0,076	0,702	0,044	0,754

Esse padrão de substituição de espécies pode ser melhor visualizado nas Figuras 5, 6 e 7, que mostram, através da abundância relativa dos colêmbolos, composições diferentes ao longo dos gradientes edáficos. Portanto, em cada gradiente existe uma tendência de substituição e com maior frequência em faixas mais baixas das variáveis. Logo, em cada variável edáfica verifica-se oito espécies bem distribuídas no gradiente, apesar de *Trogolaphysa* sp.1 e *Trogolaphysa* sp.2 exercerem dominância nas parcelas. Em contrapartida, há espécies com distribuição restritas como *Campylothorax* sp.3 e *Folsomia* sp.1 (Fig. 5, 6 e 7).

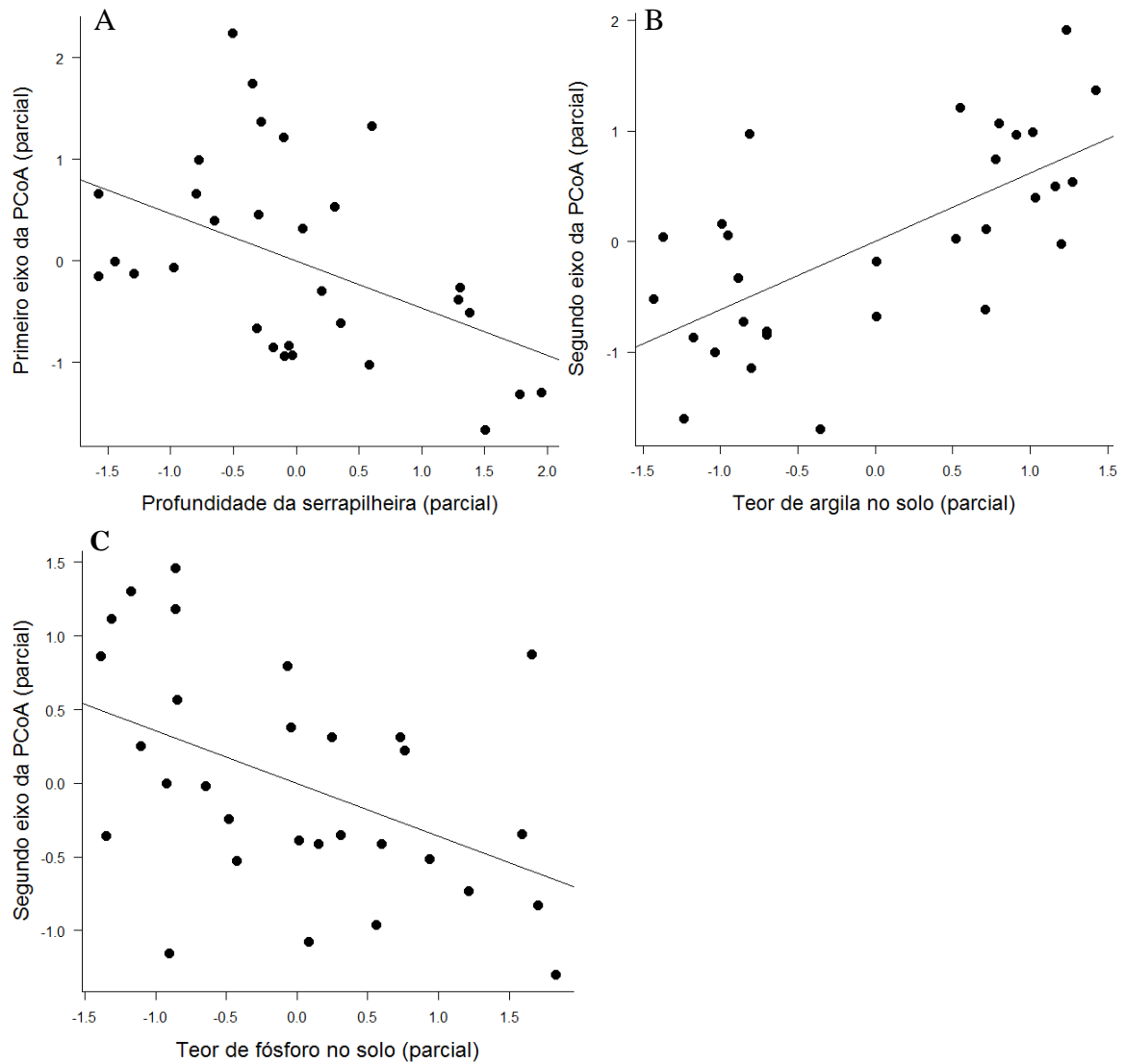


Figura 4. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostram que as mudanças na composição de espécies de colêmbolos estão associadas com a profundidade de serrapilheira (A), com teor de fósforo (B) e com o teor de argila do solo (C) na Ducke.

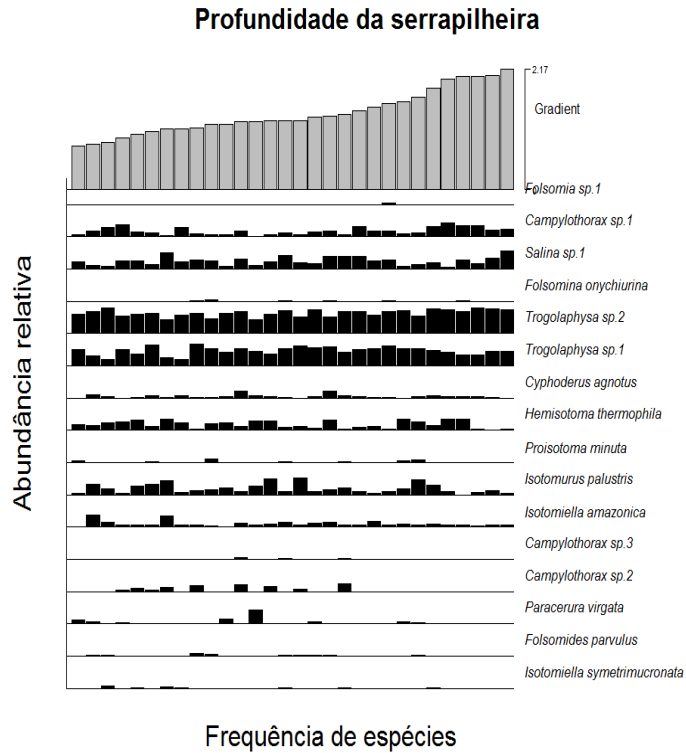


Figura 5. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de serrapilheira na Ducke.

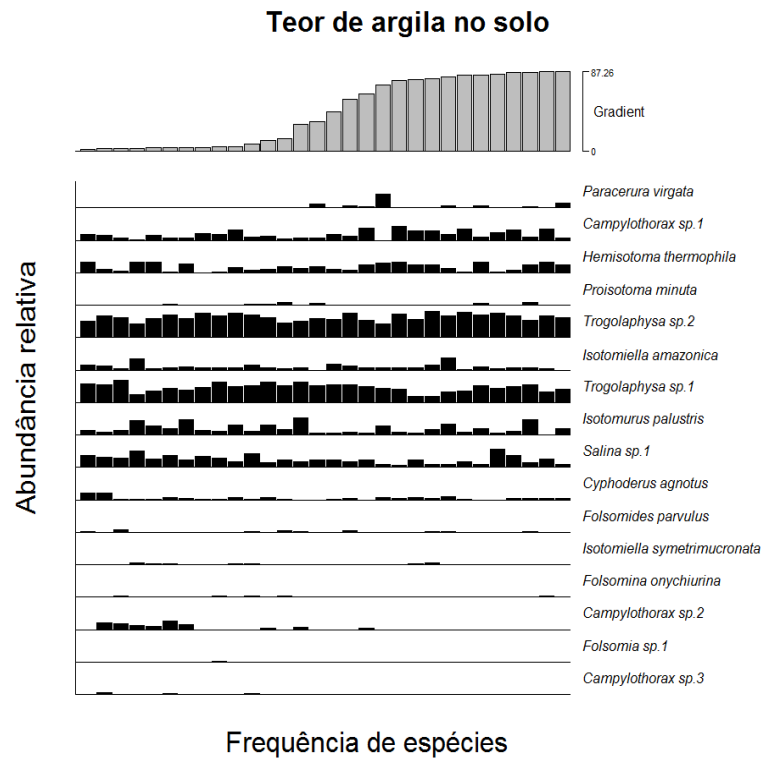


Figura 6. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de argila na Ducke.

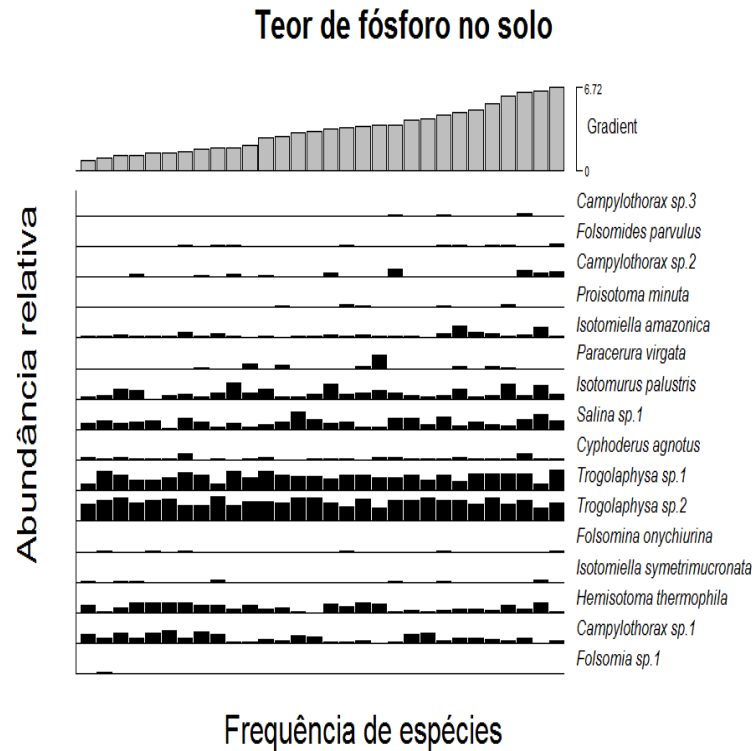


Figura 7. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de fósforo na Ducke.

Em Viruá, o modelo de regressão mostrou mudança na composição (modelo geral: eixo 1; $R^2 = 0,677$; $P = < 0,000$; Eixo 2; $R^2 = 0,436$; $P = 0,003$; Tabela 3). Cada eixo da PCoA representou 65 e 23% dessa variação, respectivamente e juntos detectou 88% da variância dos dados. A mudança na composição de espécies de colêmbolos esteve relacionada com o teor de argila ($p = 0,004$) no eixo 1 (Fig. 8A) e com o teor de fósforo ($p < 0,000$) no eixo 2 (Fig. 8B). Assim, o padrão de substituição de espécies visualizado ao longo gradiente de argila e fósforo são diferentes mesmo prevalecendo as espécies generalistas, como *Salina* sp.1, *Trogolaphysa* sp.1. *Proisotoma* sp.1, *S. dedoris*, *I. symetrimucronata* e *Trogolaphysa* sp.3 estão distribuídas em faixas extremas nos gradientes, porém, as maiores mudanças na composição estão relacionadas a concentrações mais baixas de argila (Fig. 9) e fósforo (Fig.10).

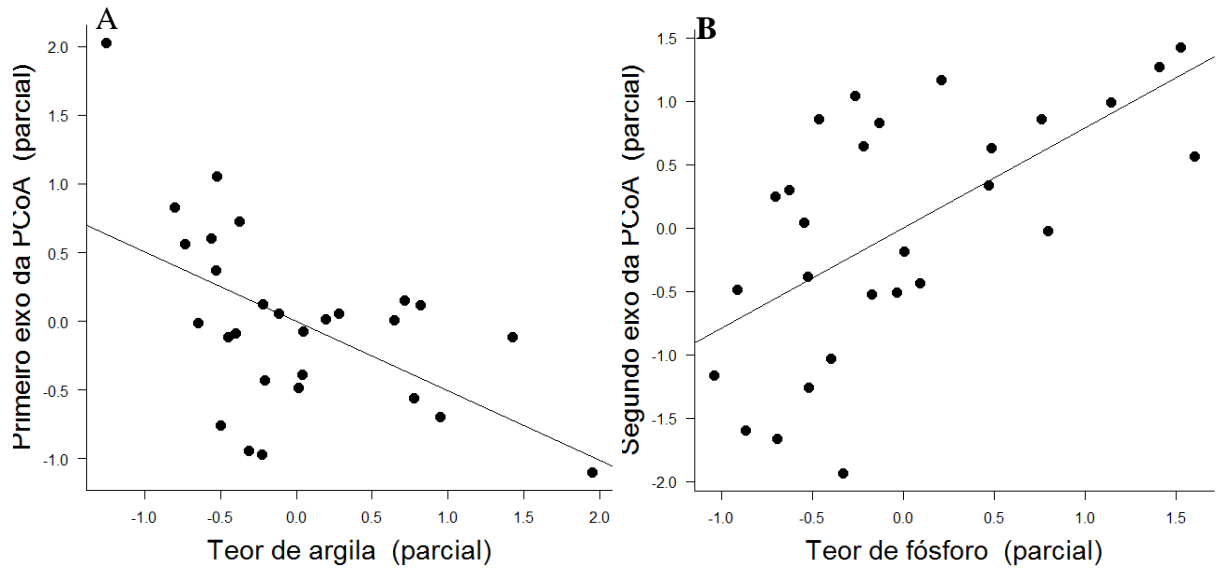


Figura 8. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com o teor de argila do solo (A) e com o teor de fósforo do solo (B) em Viruá.

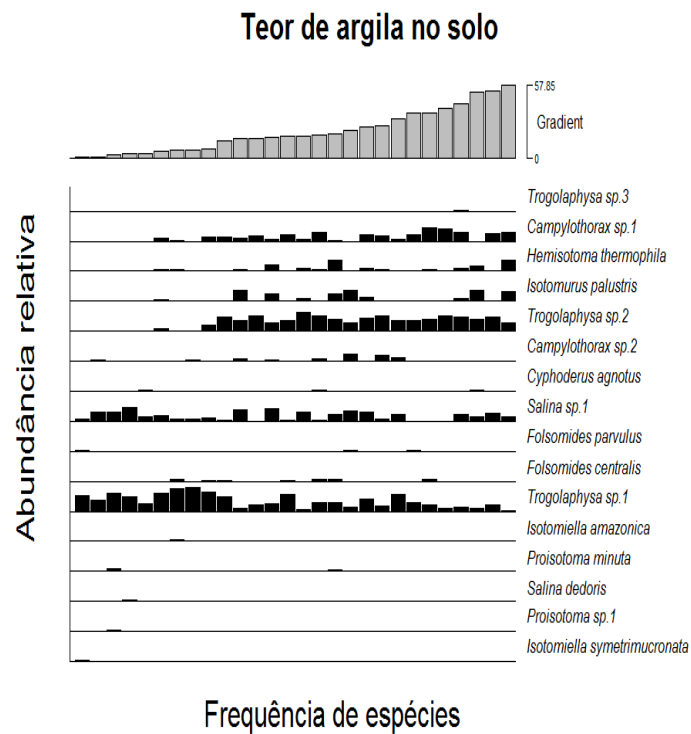


Figura 9. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de argila em Viruá.

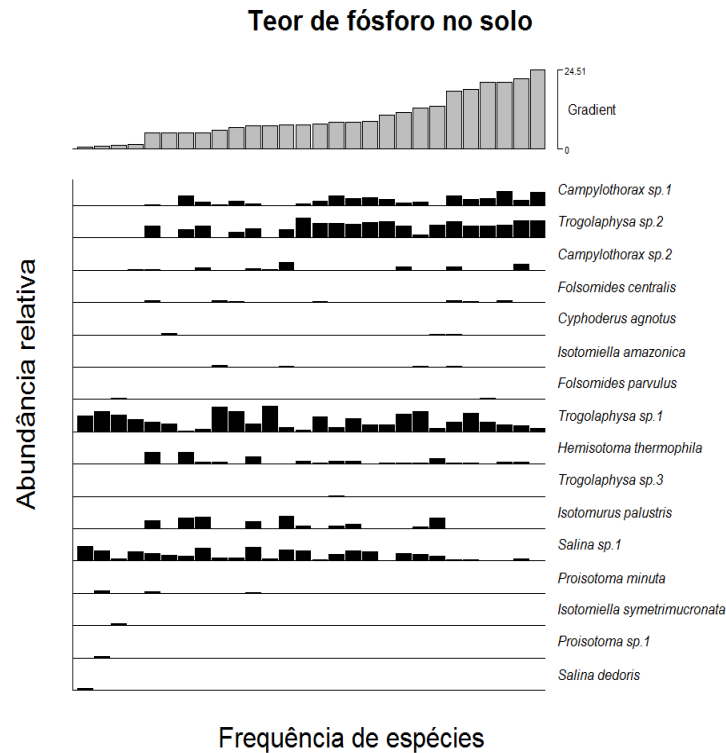


Figura 10. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de fósforo em Viruá.

Em Maracá, a ordenação em dois eixos da PCoA representou 84% da variância dos dados, sendo o eixo 1 e 2 sumarizando 70 e 14%. A mudança na composição de espécies foi detectada apenas no eixo 1 (modelo geral; Eixo 1; $R^2 = 0,297$; $P = 0,025$; Eixo 2; $R^2 = 0,044$; $P = 0,754$; Tabela 3). A profundidade da serrapilheira foi a responsável por essa diferença na composição ($p = 0,008$). Existem mais parcelas onde a profundidade de serrapilheira é mais baixa (Fig. 11). Porém, é possível verificar essa mudança ao longo do gradiente, ao qual encontramos espécies generalistas como *Salina* sp.1, *Trogolaphysa* sp.2, *I. palustris*, *Trogolaphysa* sp.1 e outras restritas a algumas faixas no gradiente como *Cy. agnotus*, *Isotomiella symetrimucronata* e *S.dedoris* (Fig. 12).

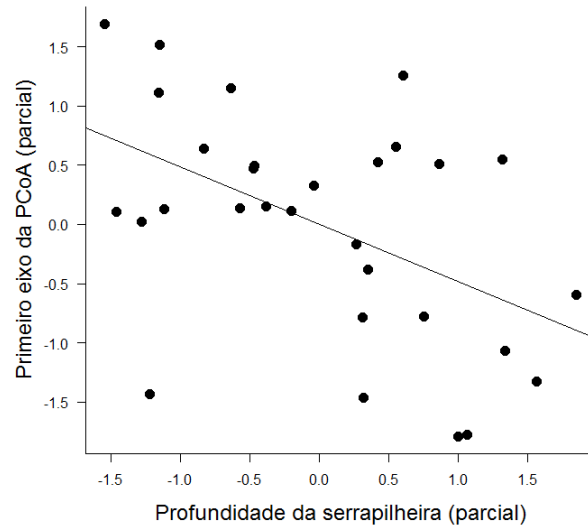


Figura 11. Parciais do modelo de regressões múltiplas mostram a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com a profundidade da serrapilheira em Maracá.

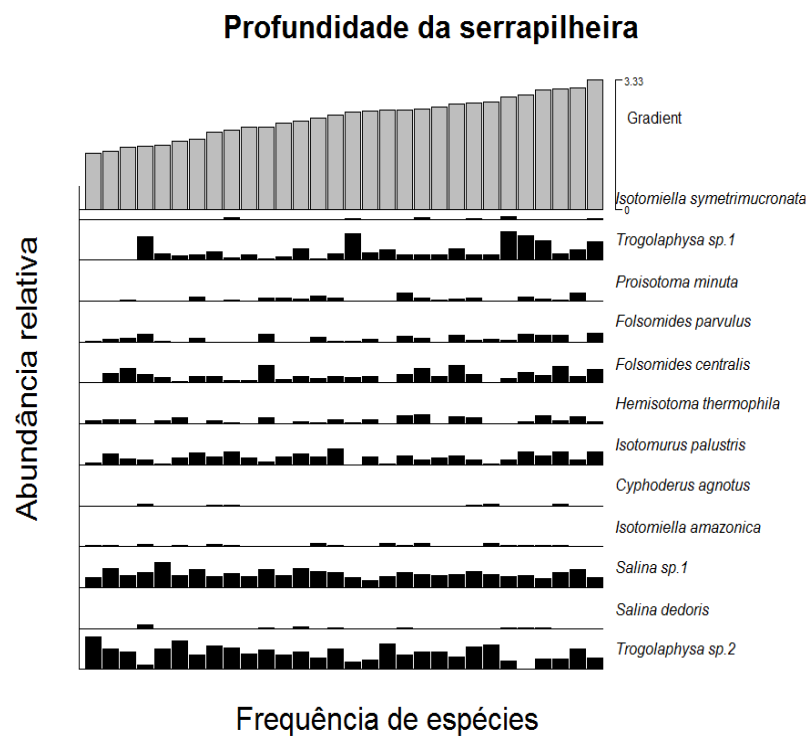


Figura 12. Distribuição de espécies de Isotomidae e Paronellidae ao longo do gradiente de serrapilheira em Maracá.

Redução do esforço amostral: similaridade e relação ecológica com a composição de espécies edáficos de Isotomidae e Paronellidae

Os testes de Procrustes detectaram altos níveis de similaridade ($rP > 0,60$) na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae nos esforços reduzidos em comparação ao esforço máximo nas três áreas (10 subamostras por parcela). Os valores da similaridade entre as composições variaram em cada área, porém todos os possíveis níveis de redução foram capazes de recuperar uma composição similar à composição original (Fig. 12). Em Viruá e Maracá todos os níveis de redução representaram mais que 80% da comunidade total. No entanto, para a Ducke, esse percentual foi menor ($> 60\%$ da composição do esforço máximo), estando dentro do limite aceitado neste trabalho.

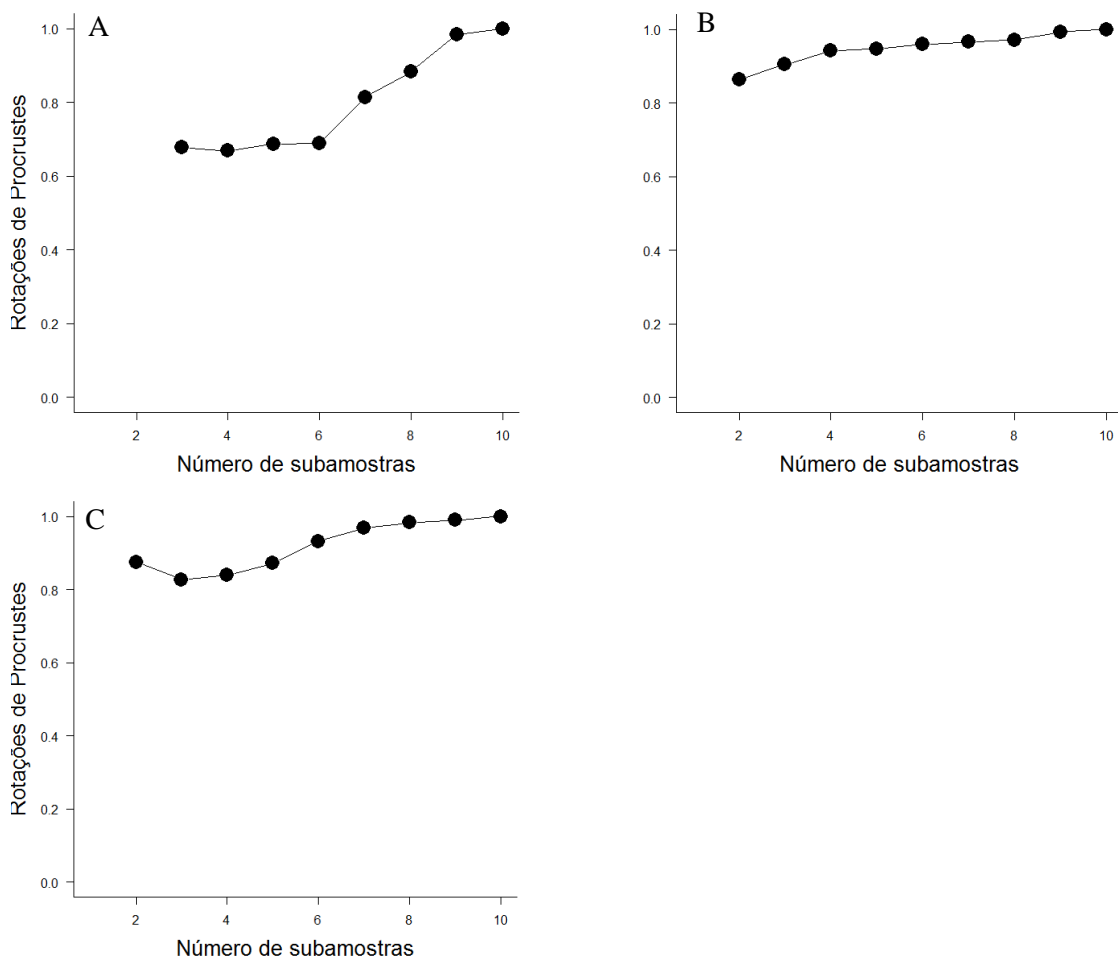


Figura 13. Valores para as similaridades de Procrustes da composição de espécies, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e nos esforços reduzidos na Ducke (A), em Viruá (B) e em Maracá (C).

A redução para cinco subamostras por parcela representa uma alta similaridade com a composição de espécies total nas três áreas. A figura 14 mostra, a partir da ordenação usando os dois primeiros eixos da PCoA da composição de colêmbolos, o direcionamento das parcelas dentro da área e suas distâncias da composição de espécies do esforço máximo para cada área.

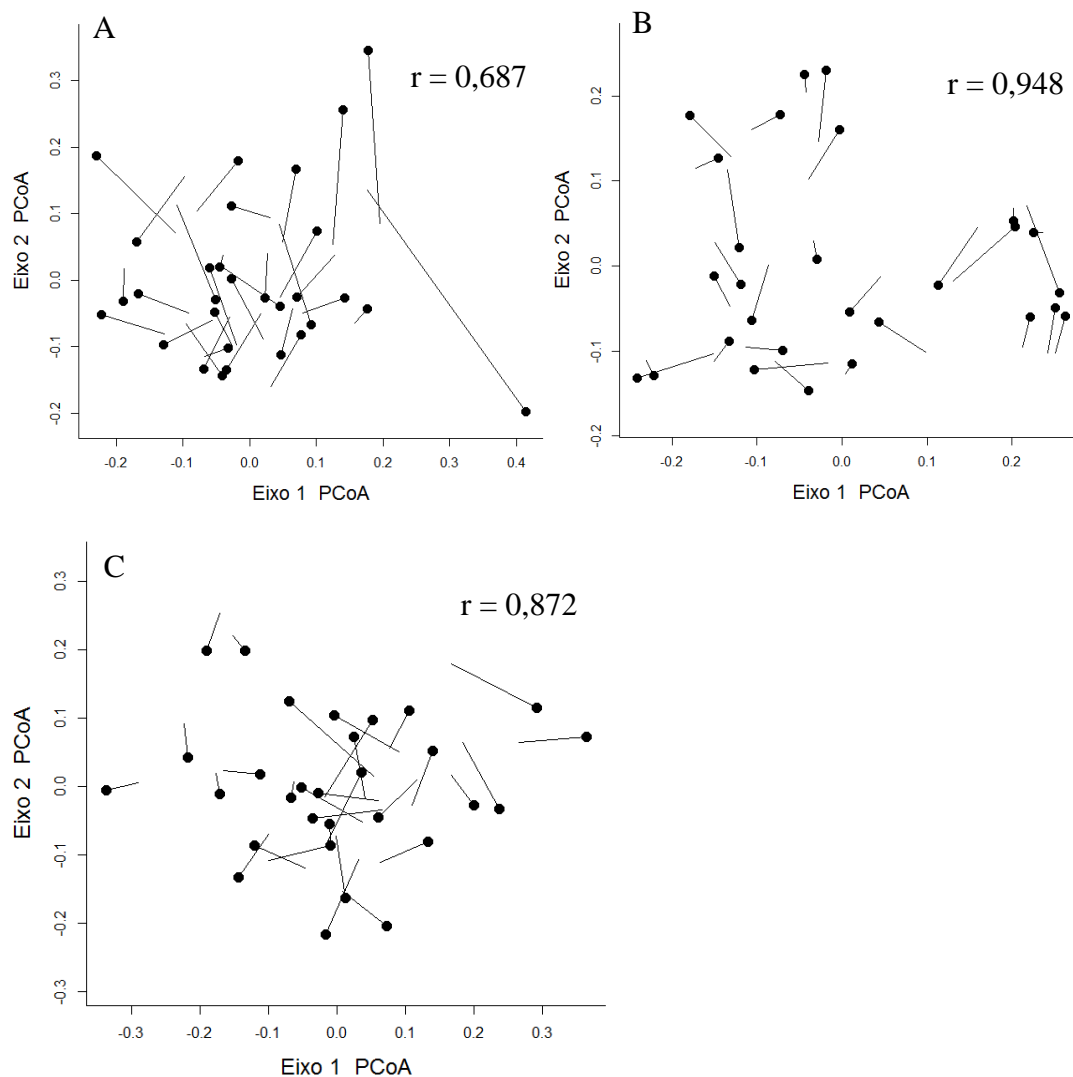


Figura 14. Valores das similaridades nas rotações de Procrustes usando os dois primeiros eixos da PCoA para a composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae no esforço máximo e no esforço reduzido na Ducke (A), em Viruá (B) e em Maracá (C). Cada círculo preto indica a parcela com o esforço máximo e no outro extremo a mesma parcela com esforço reduzido. A distância entre elas indica o quanto estas parcelas variaram em relação à composição de espécies.

Em geral, as relações entre a distribuição da composição de espécies com as variáveis ambientais investigadas permaneceram nos esforços reduzidos nas três áreas, mesmo havendo diferença nos resultados do modelo selecionado (ver apêndice; Tabelas 1, 2 e 3). A partir de regressões parciais, verifica-se o quanto as preditoras estão associadas às mudanças na composição no esforço máximo e nos esforços reduzidos (ver apêndice; Figs. 1, 2 e 3).

Na Ducke, a redução do esforço para 5 subamostras não manteve a relação encontrada no eixo 2 da PCoA no teor de argila ($p = 0,750$) e de fósforo ($p = 0,698$) com a comunidade. Essas associações foram perdidas a partir do nível de redução para oito subamostras (ver apêndice; Tabela 1). Contudo, a profundidade da serrapilheira foi um bom preditor na manutenção do padrão ecológico (modelo global; $R^2 = 0,227$; $P = 0,078$; Tabela 4; Fig. 15). As relações encontradas nesse gradiente foram detectadas no primeiro eixo da PCoA com no máximo cinco subamostras por parcelas ($p = 0,047$).

Tabela 4. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, na Ducke. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

Subamostras por parcela		Teor de argila (%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R^2	P
		Coeficiente		Coeficiente		Coeficiente			
			p		p		p		
10	Eixo 1	-0,055	0,756	0,110	0,525	-0,465	0,013	0,252	0,053
	Eixo 2	0,617	< 0,000	-0,358	0,013	-0,067	0,633	0,533	< 0,000
5	Eixo 1	-0,227	0,212	0,018	0,916	-0,369	0,047	0,227	0,078
	Eixo 2	-0,064	0,750	-0,076	0,698	-0,141	0,484	0,031	0,842

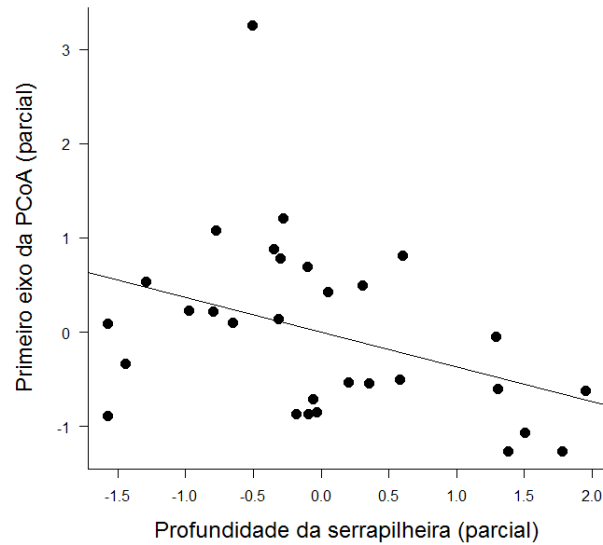


Figura 15. Parciais do modelo de regressões múltiplas que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com a profundidade da serrapilheira, baseadas em cinco subamostras por parcela, na Ducke.

Em Viruá, o teor de argila e teor de fósforo foram os preditores edáficos fortemente associado à composição no esforço máximo, nos eixos 1 e 2 da PCoA, respectivamente (modelo global; $R^2 = 0,677$; $P = <0,000$; $R^2 = 0,436$; $P = 0,003$; Tabela 5). Essas respostas ecológicas foram mantidas na redução para 5 subamostras (modelo global; $R^2 = 0,635$; $P = <0,000$; $R^2 = 0,302$; $P = 0,032$; Tabela 5; Fig. 16A e B). A influência da argila e do fósforo foram tão forte que se sustentaram em todas as etapas reducionais (ver apêndice; Tabela 2).

Tabela 5. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, em Viruá. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

Subamostras por parcelas		Teor de argila (%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R^2	P
		Coefficiente	p	Coefficiente	p	Coefficiente	p		
10	Eixo 1	-0,507	0,004	-0,133	0,395	-0,293	0,136	0,677	<0,000
	Eixo 2	-0,242	0,267	0,791	<0,000	-0,136	0,594	0,436	0,003
5	Eixo 1	-0,466	0,018	-0,171	0,305	-0,277	0,182	0,635	<0,000
	Eixo 2	0,108	0,653	-0,718	0,004	0,408	0,157	0,302	0,032

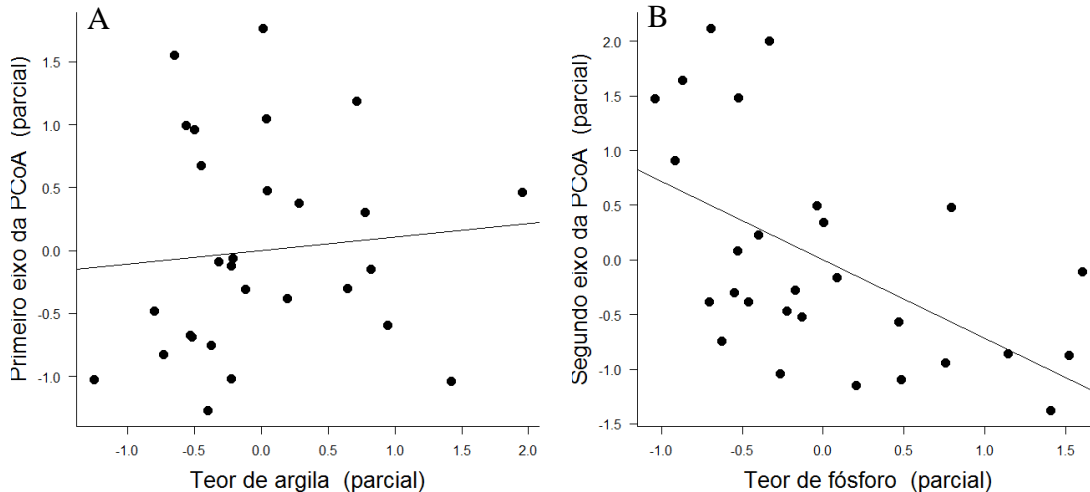


Figura 16. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae associadas ao teor de argila (A) e ao de fósforo do solo (B), baseados em cinco subamostras por parcela, em Viruá.

Em Maracá, a redução para cinco subamostras por parcelas manteve o padrão ecológico encontrado para a influência da profundidade da serapilheira com 10 subamostras por parcelas na comunidade (modelo global; $R^2 = 0,322$; $P = <0,016$; Tabela 6; Fig. 17). Essa

resposta ecológica foi recuperada até o nível de redução do esforço para cinco subamostras, revelando-se um bom preditor. Com nível de redução para quatro subamostras, o teor de fósforo foi relacionado influenciando a comunidade (ver apêndice; Tabela 3).

Tabela 6. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, em Maracá. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

Subamostras por parcelas		Teor de argila (%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R^2	P
		Coefficiente	p	Coefficiente	p	Coefficiente	p		
10	Eixo 1	-0,255	0,151	0,156	0,378	-0,482	0,008	0,297	0,025
	Eixo 2	0,000	0,999	0,211	0,309	0,076	0,702	0,044	0,754
5	Eixo 1	-0,220	0,205	0,338	0,059	-0,415	0,018	0,322	0,016
	Eixo 2	0,120	0,561	-0,019	0,928	0,118	0,554	0,025	0,882

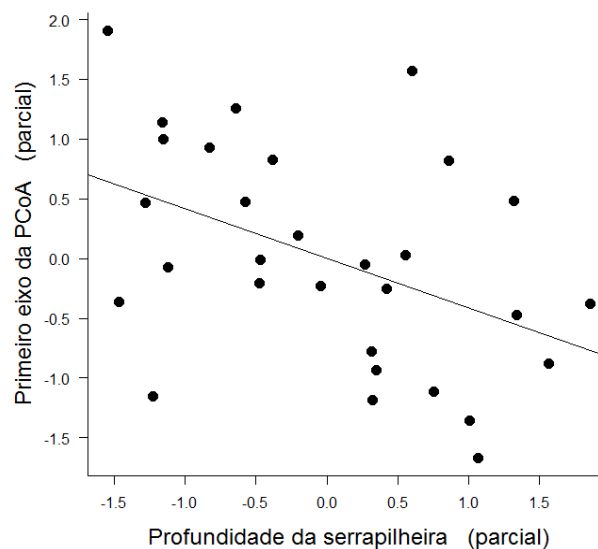


Figura 17. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com a profundidade da serrapilheira, baseados em cinco subamostras por parcela, em Maracá.

Redução dos custos financeiros

A possibilidade de redução do esforço amostral através do número de subamostras por parcela com finalidade taxonômica e ecológica, visto que tenta explicar as relações da comunidade com os fatores ambientais na área, permite uma economia de tempo e custos no processo de amostragem, no que se refere à coleta, triagem, montagem e identificação. As três áreas foram bem representadas em todos os níveis de redução, baseados na similaridade da composição total. Porém, as relações ecológicas foram recuperadas em todas as etapas reducionistas apenas em Viruá. Para Maracá e Ducke, a manutenção do padrão foi com apenas quatro e cinco subamostras, respectivamente. Portanto, estimamos que a padronização para cinco subamostras por parcela otimizará o tempo no processamento das amostras e proporcionará uma economia de 50% do custo total empreendido nas três áreas, uma vez que as despesas poderiam ser reduzidas de R\$ 105.230,00 (US\$ 42.310) para R\$ 51.830,00 (US\$ 21.155) (Tabela 7).

Tabela 7. Economia dos custos em reais (R\$) e em dólar (US\$) para as etapas da redução do esforço amostral nas três áreas.

Despesas	Tempo (dias)	Subamostras por parcelas								
		10	9	8	7	6	5	4	3	2
Alimentação em campo	10	3.100	2.790	2.480	2.170	1.860	1.550	1.240	930	620
Auxiliares de campo	10	3.760	3.384	3.008	2.632	2.256	1.880	1.504	1.128	752
Bolsista de doutorado	600	44.000	39.600	35.200	30.800	26.400	22.000	17.600	13.200	8.800
Bolsista PCI nível superior	360	26.400	23.760	21.120	18.480	15.840	13.200	10.560	7.920	5.280
Bolsista apoio técnico	720	24.000	21.600	19.200	16.800	14.400	12.000	9.600	7.200	4.800
Bolsista Pibic	180	2.400	2.160	1.920	1.680	1.440	1.200	960	720	480
Total (R\$)		103.660	93.294	82.928	72.562	62.196	51.830	41.464	31.098	20.732
Total (US\$)		42.310	38.079	33.848	29.617	25.386	21.155	16.924	12.693	8.462

Economia (%)	-	10	20	30	40	50	60	70	80
--------------	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Discussão

Padrão de distribuição de Isotomidae e Paronellidae em três áreas

Pela primeira vez, a comunidade de colêmbolos foi caracterizada dentro de um delineamento amostral representativo de 25 km² de três áreas. Na Amazônia e até mesmo na Ducke, já foram realizados estudos com colêmbolos (Adis e Ribeiro 1989; Oliveira 1983, 1994, 2009; Gauer 1997; Macambira 2001; Câmara 2002; Serrano 2007; Morais *et al.* 2010), porém apenas um trabalho foi realizado em escala espacial de 25 km² de floresta por Oliveira (2013). No que se refere a Maracá e a Viruá esse estudo é o primeiro a abordar a diversidade do grupo para Roraima. A riqueza de colêmbolos, provenientes de duas famílias, encontradas nas três áreas (20 espécies) foi baixa em relação ao encontrada por Oliveira (2013) com 30 espécies de colêmbolos amostrados na Ducke. No entanto, as espécies registradas pertencem a Entomobryidae e Paronellidae, sendo apenas a última família amostrada em nosso trabalho, mas com diferenças no processo de morfoespeciação. Abrantes *et al.* (2012) compilando os trabalhos realizados para o Brasil, registraram 21 espécies de colêmbolos distribuídas em Isotomidae e Paronellidae para a região Norte, sugerindo que a quantidade de espécies encontradas neste estudo é semelhante para a região.

A Ducke e o Viruá registraram a maior riqueza de espécies (16), seguida por Maracá (12) e um número de espécies raras, representado por um indivíduo (*singletons*), baixo para a floresta Amazônica, principalmente pela abrangência espacial e esforço amostral empregado. A baixa riqueza dos colêmbolos pode estar relacionada ao método de coleta que devido às condições ambientais, os estágios do ciclo de vida e grupo funcional, podem causar variação na eficiência do método utilizado na amostragem da comunidade (Hopkin 1997; Rusek 1998; André *et al.* 2002). Os colêmbolos são influenciados pela temperatura e umidade do solo (Hopkin 1997; Neher 1999) e como as coletas foram realizadas no período de menor precipitação pluviométrica, as condições edáficas podem ter levado os colêmbolos a se deslocarem para outros ambientes. Aliado a isso, o método empregado limita a coleta de espécies com características epiedáficas, pois possuem morfologia adaptada a habitarem da superfície do solo às copas das árvores e são mais resistentes à dissecação (Hopkin 1997; Salmon e Ponge 2012).

Na Ducke e em Maracá, o maior número de espécies foi registrado para Isotomidae. Essa família é uma das mais abundantes e diversas dentro do grupo, sendo representada em todo o mundo (Bellinger *et al.* 2016). Os representantes de Isotomidae são mais diminutos, habitam preferencialmente os solos, das camadas mais internas à superfície, por isso, existem espécies classificadas como euedáficas, por viverem no interior do solo, enquanto outras são epedáficas, habitando a superfície edáfica e serrapilheira (Hopkin 1997; Abrantes 2011). Os isotomídeos englobam espécies generalistas e micófagas (Hopkin 1997; Fountain e Hopkin 2005; Schneider e Maraun 2009; Abrantes 2011). Portanto, Isotomidae possui espécies com funções ecológicas e condições favoráveis diferentes no ambiente edáfico, sendo bem amostradas em ambientes de florestais (Câmara 2002; Serrano 2007; Abrantes 2006, 2011).

Com relação à abundância de colêmbolos, Paronellidae foi a mais abundante e frequente na Ducke, seguida por Maracá e Viruá. Paronellidae está entre os colêmbolos com maior tamanho corporal e apêndices, devido às características epiedáficas, permitindo uma diversidade de micro-habitat, especialmente em troncos caídos, solo e serrapilheira (Mendonça *et al.* 2014). São frequentes em regiões tropicais e abrigam espécies generalistas, especialistas e predadoras (Hopkin 1997; Bellinger *et al.* 2016), o que explica sua grande dominância nas três áreas amostradas. Outros estudos na Amazônia também obtiveram alta abundância de paronelídeos (Gauer 1995; Câmara 2002; Oliveira 2013).

Os gêneros, *Campylothorax*, *Trogolaphysa* e *Salina*, são facilmente encontrados em solo e serrapilheira de florestas, principalmente nos trópicos (Mari Mutt 1987; Bellinger *et al.* 2016), por isso, foram os mais diversos, abundantes e frequentes nas três áreas. A prevalência de *Trogolaphysa* neste estudo pode está relacionada à plasticidade de habitat e recurso alimentar, sendo representados inclusive em ambientes subterrâneos e cavernícolas (Palacios-Vargas 2002; Oliveira *et al.* 2016). Aliado a isso, os colêmbolos possuem ferormônios de agregação para reprodução (Coleman *et al.* 2004), mostrando sua capacidade adaptativa em diferentes condições ambientes e de recursos nas três florestas com diferentes fitofisionomias na Amazônia.

Esse estudo aumentou o conhecimento de espécies de Isotomidae e Paronellidae para a região Amazônica. O acréscimo de novos registros para a Ducke, Maracá e Viurá foram de seis, 12 e 16 espécies de colêmbolos, respectivamente, aumentamos o número de táxons na Amazônia de 21 para 40.

Composição de espécies entre as três áreas

As florestas amazônicas são caracterizadas pela sua heterogeneidade florística e, mesmo em uma floresta ombrófila densa, existem variações nas composições de espécies (Zuquim 2006). Essas diferenças fisionômicas das florestas exercem relação na comunidade de colêmbolos, acarretando mudanças na composição pela alteração de habitat (Zeppelini *et al.* 2009; Abrantes 2011). As três áreas de estudos possuem alta variedade de florestas e mostraram diferenças na composição de espécies de colêmbolos, embora exista certa sobreposição da informação entre as áreas, a maior semelhança de composição está relacionada dentro de cada área. Em Viruá e Maracá, há porções com ambientes mais abertos e conseqüentemente, maiores exposições do solo (Souza *et al.* 2016), sugerindo mudanças na comunidade.

Relações da abundância e riqueza de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais nas três áreas

As variáveis ambientais selecionadas (teor de argila e de fósforo do solo e profundidade da serrapilheira) nesse estudo estiveram associadas à abundância e a riqueza de colêmbolos. A abundância e riqueza de colêmbolos diminuíram com o teor de argila do solo na Ducke. Ambientes com solos argilosos como os platôs na Ducke, também diminui a comunidade de fungos de serrapilheira (Braga-Neto *et al.* 2008) e estão relacionados aos ambientes de baixios sobre solos arenosos. Como os colêmbolos são micófitos (Hopkin 1997), a redução da riqueza de fungos pode explicar a sua alteração nesse gradiente edáfico. Estudos realizados em florestas ombrófilas e áreas de savana na Amazônia também observaram uma maior abundância de colêmbolos em solos arenosos quando comparados a solos argilosos (Franklin *et al.* 2005; Kaspari e Yanoviak 2009). Do mesmo modo, o número de indivíduos aumentou no gradiente de serrapilheira em Maracá. A serrapilheira atua na proteção e manutenção da umidade e temperatura do solo (Sayer 2006), possibilitando a existência de diversos habitat para a comunidade. Somado a isso, esse gradiente também está relacionado com a comunidade microbiana (Sayer 2006; Braga-Neto *et al.* 2008), atuando indiretamente sobre os colêmbolos, pois são especialistas na predação da fauna microbiana (Hopkin 1997; Rusek 1998). Por outro lado, a diminuição ou mesmo a falta de matéria orgânica no solo tem influência na comunidade de predadores dos colêmbolos (Kaspari e Yanoviak 2009), tanto pela perda de habitat como por deixá-los vulneráveis aos seus predadores. Tal fato pode explicar a diminuição da riqueza de espécies com o aumento da serrapilheira na Ducke.

Composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae para as três áreas

A comunidade de Isotomidae e Paronellidae foi influenciada pelo teor de argila e de fósforo do solo e pela profundidade da serrapilheira avaliados nesse estudo. A composição de espécies muda em função do gradiente de serrapilheira na Ducke e em Maracá, sugerindo que diferentes composições podem habitar locais com faixas com maior e menor quantidade de serrapilheira. A quantidade de serrapilheira auxilia na proteção e retenção de água no solo, criando um microclima favorável, tanto por proteção como por recurso alimentar (Sayer 2006). As espécies de colêmbolos epidáficas tendem a ter maior pigmentação e cutícula mais resistentes à dissecação do que animais euedáficos (Hopkin 1997; Salmon e Ponge 2012),

selecionando uma composição mais adaptada a ambientes onde a serrapilheira era quase escassa, principalmente em Maracá que é uma área da região Amazônica com características de ambiente mais seco (Souza *et al.* 2012). O efeito da profundidade da serrapilheira também foi investigado por Porto *et al.* 2016 em floresta ombrófila na Reserva Ducke, verificando mudança da composição de espécies de opilões ao longo do gradiente ambiental. Contudo, para estudos realizados na Amazônia com comunidades de anfíbios, esse gradiente tem exercido forte relação (Menin *et al.* 2007; Rojas-Ahumada *et al.* 2012).

O teor de argila do solo altera a composição de colêmbolos na Duke e em Viruá, indicando que diferentes composições podem habitar locais com diferente concentração de argila. Os solos argilosos tendem a ser mais úmidos com temperatura mais baixa (Klein e Libardi 2000) e favorece a disponibilidade de nutrientes (Luizão *et al.* 2004). Na Ducke, os ambientes de baixios com proximidade a igarapés estão sujeitos a inundações e por consequências tendem a ser influenciados por essa umidade, porém, os platôs que estão mais distantes dos igarapés tem sua umidade relacionada à quantidade de argila do solo (Luizão *et al.* 2004). O teor de argila tem contribuído para a alteração da distribuição de invertebrados terrestres como formigas (Oliveira *et al.* 2009; Souza *et al.* 2012), baratas (Tarli *et al.* 2014), cupins (Pequeno *et al.* 2015) e ácaros oribatídeos (Moraes *et al.* 2011). Do mesmo modo, a composição altera em função do fósforo nessas áreas. A concentração de fósforo do solo interfere na sobrevivência de fungos e bactérias (Huang *et al.* 2012; Jacquemin *et al.* 2012). Collembola são preferencialmente consumidores de microrganismos, como fungos e bactérias (Rusek 1998; Culliney 2013), porém a limitação desse recurso os permite mudar seu requerimento alimentar podendo consumir pólen, algas, fezes de artrópodes, matéria orgânica morta, pequenos nematódeos, rotíferos e tecido vegetal (Hopkin 1997; Rusek 1998; Bellinger *et al.* 2016). Portanto, a mudança na composição de colêmbolos pode estar relacionada a alterações na comunidade microbiana. O gradiente de fósforo tem contribuído para mudanças na distribuição de invertebrados terrestres na Amazônia Central (Dambros 2010; Oliveira 2013; Tarli *et al.* 2014).

Redução do esforço amostral: similaridade e relação ecológica com a composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae

O esperado na elaboração de protocolos amostrais seria uma eficiência taxonômica integrada às informações ambientais com custos reduzidos (Souza *et al.* 2009; 2012; Santos *et*

al. 2008; Moreas *et al.* 2011). Nós verificamos que reduzir para cinco subamostras por parcela foi eficiente para amostrar três grandes áreas na Amazônia.

Os resultados mostraram uma eficiência do protocolo de coleta com base na alta similaridade dos esforços reduzidos em detectar a composição de espécies do esforço máximo (10 subamostras por parcela). Em Viruá e Maracá todos os níveis de redução representaram mais que 80% da comunidade total. No entanto, para a Ducke esse percentual foi menor (> 60% da composição do esforço máximo), estando dentro do limite aceitado neste trabalho. Essa eficiência do protocolo de coleta possibilita realizar amostragem da mesofauna a custos mais baixos, visto que a limitação de recurso financeiro tem sido um dos obstáculos para a realização de inventários da biodiversidade (Magnusson *et al.* 2005; Santos *et al.* 2008), principalmente em áreas de larga escala espacial ou mesmo que requerem altos investimentos para seu acesso e amostragem.

A redução do esforço amostral baseada na manutenção da resposta ecológica foi relacionada no esforço reduzido. Logo, a eficácia do protocolo de coleta em manter os padrões ecológicos foi comprovada, visto que as variáveis ambientais associadas às mudanças na composição de colêmbolos foram mantidas nos níveis de redução. Os gradientes de argila e fósforo foram fortes e permaneceram em todos os níveis de redução em Viruá. Porém, esse padrão não se manteve na Ducke, sendo perdido a partir do nível de redução para oito subamostras. Como a argila pode interagir com outros fatores interligados ao solo, as relações desse gradiente podem ser diretas ou conectadas às variáveis não estudadas (Zuquim *et al.* 2007). Outros estudos de redução do esforço também mostraram a manutenção do teor de argila (Zuquim *et al.* 2007; Souza 2009; Dambros 2010; Moraes 2010) e do teor de fósforo (Oliveira 2013). Em Maracá e na Ducke, o efeito do gradiente de serrapilheira permaneceu até o nível de redução para cinco subamostras. Souza (2009) também verificou a manutenção do padrão de serrapilheira na redução de subamostras sobre composição de formigas na Ducke em Viruá.

Redução dos Custos financeiros

A redução do esforço amostral foi possível para inventários visando ampliar o conhecimento taxonômico e explicar as mudanças na composição baseados nas respostas ecológicas. Dessa forma, a redução para cinco subamostras proporcionará reduzir os custos financeiros em 50%, visto que a quantidade total do material a ser processado diminuiria de 300 para 150 subamostras amostrada na Ducke e em Maracá, já para Viruá seria de 290 para

145 amostras. Assim, a redução do esforço amostral promove a diminuição no tempo e custos no processamento das amostras, pois a complexidade na identificação (Lawton *et al.* 1998; Rusek 1998) somada a quantidade de material a ser processado é um importante fator que eleva os custos dos projetos com invertebrados de solo (Santos *et al.* 2008; Souza *et al.* 2012), uma vez que os gastos estão condicionados ao conhecimento da equipe e dos parataxônomos (Moraes *et al.* 2011).

Portanto, realizar pesquisas de cunho reducional permite a criação de protocolos com custo-eficiência aptos a fornecer explicações na variação da distribuição da comunidade de diferentes locais (Zuquim *et al.* 2007), principalmente em florestas tropicais que possuem grandes extensões e biodiversidade, sendo desta forma, ferramentas para planejamento e desenvolvimento dos programas de monitoramento e conservação. A eficiência na criação de protocolo amostral foi comprovada por diversos grupos taxonômicos na Amazônia (Zuquim *et al.* 2007; Menin *et al.* 2007; Santos *et al.* 2008; Souza *et al.* 2009, 2012; Moraes *et al.* 2011; Porto *et al.* 2016).

Conclusão

A composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae está relacionada com os tipos de vegetação. Dessa forma, em cada área foi registrada uma composição diferente das assembleias de Isotomidae e Paronellidae.

As variáveis edáficas, teor de argila e de fósforo de solo e profundidade da serrapilheira, investigadas nesse trabalho influenciam a comunidade de colêmbolos nas três áreas.

A eficiência do protocolo, baseada na redução do número de subamostras por parcela foi comprovada. Assim, a redução do esforço amostral de 10 para 5 subamostras por parcela foi eficiente, mantendo informações taxonômicas e ecológicas.

A eficácia deste protocolo promoverá a redução de custos financeiros e tempo, principalmente no laboratório, permitindo a transferência do recurso em estudos espaciais em localidades de difícil acesso ou repetições temporais. Além disso, os protocolos permitem comparações dentro e entre locais, o que viabiliza o monitoramento e conservação da biodiversidade.

Referências Bibliográficas

- Abrantes, E.A. 2006. Estrutura e composição de Isotomidae (Collembola) em áreas preservadas e impactadas de Maricá, Estado do Rio de Janeiro, Brasil./Dissertação de mestrado /Universidade Federal do Rio de Janeiro/Museu Nacional. 91pp.
- Abrantes, E.A. 2011. Fauna de Isotomidae (Collembola: Entomobryomorpha) em áreas da Restinga da Marambaia, Estado do Rio De Janeiro, Brasil/Tese de doutorado/Universidade Federal do Rio de Janeiro/Museu Nacional. 103pp.
- 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. 2012. Errata Corrigenda and update for the “Synthesis of Brazilian Collembola: an update to the species list.” *Zootaxa* 2388: 1-22. *Zootaxa* 3168: 1-21.
- Adis, J.; Ribeiro, M.D.A. 1989. Impacto de desmatamento em invertebrados de solo de florestas inundáveis na Amazonia central e suas estratégias de sobrevivência às inundações de longo prazo.*Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Zoologia*.
- André, H.M.; Ducarme, X.; Lebrun, P. 2002. Soil biodiversity: myth, reality or conning? *Oikos* 96:3–24.
- Bellinger, P.F.; Christiansen, K.A.; Janssens, F. 2016. Checklist of the Collembola of the world. [http:// www.collembola.org](http://www.collembola.org) (acesso em 15 de abril de 2016).
- Bray, J. R.; Curtis, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 325–349.
- Braga-Neto, R.; Luizão, R.C.C.; Magnusson, W.E.; Zuquim, G.; Castilho, C.V. 2008. Leaf litter fungi in a Central Amazonian forest: the influence of rainfall, soil and topography on the distribution of fruiting bodies. *Biodiversity Conservation*. 17:2701-2712.
- 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 Pesquisa da Amazônia. 121pp.
- Coleman, D.C.; Crossley, D.A.Jr., Hendrix, P. F. 2004. Secondary production: activities of heterotrophic organisms—The Soil Fauna. 79-184p. In: Coleman, D.C.; Crossley, D.A.Jr., Hendrix, P. F. *Fundamentals of Soil Ecology*., Elsevier Academic Press, 2ª edição, Oxford, UK. 375pp.
- Corlett, R.T.; Primack, R.B. 2011. Insects: diverse, abundant, and ecologically important. 203-238p. In: Corlett, R.T.; Primack, R.B. *Tropical Rain Forests: An Ecological and Biogeographical Comparison*, Wiley-Blackwell, 2ª ed., Chichester, UK, 318pp.
- Culliney, T.W. 2013. Role of arthropods in maintaining soil fertility. *Agriculture*, 3(4): 629-659.

- 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.
- Franklin, E.; Morais, J.W.; Santos, E.M.R. 2001. Density and biomass of Acari and Collembola in primary forest, secondary regrowth and polycultures in central Amazonia. *Andrias*, 15: 141-153.
- Franklin, E.; Magnusson, W.E.; Luizão, F.J. 2005. Relative effects of biotic and abiotic factors on the composition of soil invertebrate communities in an Amazonian savanna. *Applied Soil Ecology*, 29(3): 259-273.
- Fountain, M.T.; Hopkin, S.P. 2005. *Folsomiacandida* (Collembola): A “Standard” soil arthropod. *Annu. Rev. Entomol.*, 50: 201-222.
- 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.
- Gauer, U. 1997. The Collembola. 351-359p. In: Junk, W.J. (Ed.) *The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system*. Springer Science & Business Media. v. 126, Berlin, Alemanha. 530pp.
- Graça, M.B.C.S. 2014. Diversidade, padrões de distribuição e esforço de coleta de borboletas frugívoras em floresta ombrófila densa da Amazônia, Manaus, Brasil. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 52 pp.
- Hasegawa, M. 2001. The relationship between the organic matter composition of a forest floor and the structure of a soil arthropod community. *European Journal of Soil Biology*, 37(4): 281-284.
- Hasegawa, M. 2002. The response of collembolan community to the amount and composition of organic matter of a forest floor: Proceedings of the Xth international Colloquium on Apterygota, České Budějovice 2000: Apterygota at the Beginning of the Third Millennium. *Pedobiologia*, 46(3): 353-364.
- Hopkin, S.P. 1997. *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford Univ. Press, 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. 2009. Biogeochemistry and the structure of tropical brown food webs. *Ecology* 90: 3342–3351.

- Klein, V.A.; Libardi, P.L. 2000. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. *Ciência Rural*, 30(6): 959-964.
- Kremen, C.; Colwell, R.K.; Erwin, T.L.; Murphy, D.D.; Noss, R.F.; Sanjayan, M.A. 1993. Terrestrial Arthropod Assemblages: Their Use in Conservation Planning. *Conservation Biology*, 7(4):796-808.
- Lavele, P.; Spain, A.V. 2001. Invertebrate Communities. 253-276 p. In: Lavele, P.; Spain, A.V. (eds.) Soil Ecology. Kluwer Scientific, Amsterdam, Holanda. 654pp.
- Lawton, J.H.; Bignell, D.E.; Bolton, B.; Bloemers, G.F.; Eggleton, P.; Hammond, P.M.; Hodda, M.; Holt, R.D.; Srivastava, D.S.; Watt, A.D. 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature* 39, 72-76.
- Legendre, P.; Gallagher, E.D. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129(2): 271-280.
- Luizão, F. J.; Schubart, H.O.R. 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, 43(3): 259-265.
- Luizão, R.C.C.; Luizão, F.J.; Paiva, R.Q.; Monteiro, T.F.; Sousa, L.S.; Kruij, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 10: 592-600.
- Macambira, M. L. J. 2001. *Colêmbolos (Hexapoda) da Amazônia Oriental: Taxonomia e ecologia*. Tese de doutorado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 174pp.
- Magnusson, W.E.; Lima, A.P.; Luizão, R.; Luizão, F.; Costa, F.R.; Castilho, C.V. 2005. RAPELD: a modification of the gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites. *Biota Neotropica*, 5(2):1-6.
- Mari Mutt, J. 1987. Puerto Rican species of Paronellidae (Insecta: Collembola). *Caribb. J. Sci.*, 23: 400-416.
- Mendonça, M.C.; Abrantes, E.A.; Queiroz, G.C. 2014. Classe Collembola. 183-191p. In: Hamada, N.; Nessimian, J.L.; Querino, R.B. (Eds.). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. INPA, Manaus, AM. 724 pp.
- Menin, M.; Lima, A.P.; Magnusson, Ernest, W.; Waldez, F. 2007. Topographic and edaphic effects on the distribution of terrestrially reproducing anurans in Central Amazonia: mesoscale spatial patterns. *Journal of Tropical Ecology*, 23: 539-547.
- Minchin, P.R. 1987. An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. *Vegetation*, 69: 89-107.
- Moraes, J. 2010. *Ácaros do solo (Acari: Oribatida) da Reserva Florestal Ducke e redução do esforço amostral no gradiente ecológico de 10 mil ha de floresta de terra-firme*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 77pp.

- 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 km² of forest in Amazonia. *Experimental and Applied Acarology*, 55: 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*, 39: 145-152.
- Morais, J.W.; Oliveira, F.G.L.; Braga, R.F.; Korasaki, V. 2013 Mesofauna. 185-200p. In: Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. (Eds.). *O Ecossistema Solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. UFLA, Lavras, MG. 352pp.
- Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. 2013. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. 15-30p. In: Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. (Ed.) *O Ecossistema Solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. UFLA, Lavras, MG. 352pp.
- Neher, D.A. 1999. Soil community composition and ecosystem processes: comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*, 45(1):159-185.
- Oliveira, E.P. 1983. Colêmbolos (Insecta: Collembola) epigêicos como indicadores ecológicos em ambientes florestais. Dissertação de Mestrado/ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Fundação Universidade do Amazonas, 104pp.
- Oliveira, E.P. 1994. *Le peuplement des Collemboles édaphiques em Amazonie brésilienne: systématique, biogéographie et écologie*. Tese de Doutorado/Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 198pp.
- Oliveira, E.P. 2009. Collembola. 63-69p. 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*. INPA, v.1., Manaus, AM, 307pp.
- Oliveira, F.G.L. 2013. *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*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 53pp.
- Oliveira, P.Y.; Souza, J.L.P.; Baccaro, F.B.; Franklin, E. 2009. Ant species distribution along a topographic gradient in a terra-firme forest in Central Amazon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(8): 852–860.
- Oliveira, M.P.A.; Bernardi, L.; Zeppelini, D.; Ferreira, R.L. 2016. First report of cave springtail (Collembola, Paronellidae) parasitized by mite (Parasitengona, Microtrombidiidae). *Subterranean Biology*, 17: 133.
- Palacios-Vargas, J.G. 2002. La distribución geográfica de los Collembola en el mundo subterráneo. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*, 36: 1-5.

- Peres-Neto, P.R.; Jackson, D.A. 2001. How well do multivariate data sets match? The advantages of a Procrustean superimposition approach over the Mantel test. *Oecologia*, 129(2): 169-178.
- Pequeno, P.A.C.L.; Franklin, E.; Venticinque, E.M.; Acioli, A.N.S. 2015. Linking functional trade-offs, population limitation and size structure: Termites under soil heterogeneity. *Basic and Applied Ecology* 16: 365–374.
- Porto, W.; Pequeno, P.A.L.; Tourinho, A.L. 2016. When less means more: Reduction of both effort and survey methods boosts efficiency and diversity of harvestmen in a tropical forest. *Ecological Indicators*, 69: 771-779.
- R Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rojas-Ahumada, D.P.; Landeiro, V.L.; Menin, M. 2012. Role of environmental and spatial processes in structuring anuran communities across a tropical rain forest. *Austral Ecology*, 37(8): 865-873.
- Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1207-1219.
- Salmon, S.; Ponge, J.F. 2012. Species traits and habitats in springtail communities: a regional scale study. *Pedobiologia*, 55(6): 295-301.
- Santos, E.M.R.; Franklin, E.; Magnusson, W.E. 2008. Cost-efficiency of a sub sampling protocols to evaluate oribatid-mite communities in an Amazonian savanna. *Biotropica*, 40(6): 728-735.
- Sayer, E.J. 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological reviews*, 81(1): 1-31.
- Schneider, K.; Maraun, M. 2009. Top-down control of soil microarthropods—evidence from a laboratory experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(1): 170-175.
- Serrano, M.B. 2007. *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.
- Silva, P.M.; Berg, M.P.; Serrano, A.R.; Dubs, F.; Sousa, J.P. 2012. Environmental factors at different spatial scales governing soil fauna community patterns in fragmented forests. *Landscape ecology*, 27(9): 1337-1349.
- Silva, P.M.; Carvalho, F.; Dirilgen, T.; Stone, D.; Creamer, R.; Bolger, T.; Sousa, J. P. 2016. Traits of collembolan life-form indicate land use types and soil properties across an European transect. *Applied Soil Ecology*. In press <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.07.018>
- Souza, J.L.P. 2009. *Avaliação do esforço amostral, captura de padrões ecológicos e utilização de taxa substitutos em formigas (Hymenoptera, Formicidae) de liteira com*

três métodos de coleta na floresta amazônica, Brasil. Tese de Doutorado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 97 pp.

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.

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*, 56: 63-73.

Souza, J.L.P.; Baccaro, F.B.; Landeiro, V.L.; Franklin, E.; Magnusson, W.E.; Pequeno, P. A.C.L.; Fernandes, I.O. 2016. Taxonomic sufficiency and indicator taxa reduce sampling costs and increase monitoring effectiveness for ants. *Diversity and Distributions*, 22(1): 111-122.

Tarli, V.D. 2012. Influência de fatores ambientais sobre a composição de espécies de baratas (Insecta: Blattaria) na Reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 45pp.

Tarli, V.D.; Pequeno, P.A.; Franklin, E.; Morais, J.W.; Souza, J.L.; Oliveira, A.H., Guilherme, D.R. 2014. Multiple Environmental Controls on Cockroach Assemblage Structure in a Tropical Rain Forest. *Biotropica*, 46(5): 598-607.

Wilson, E. O. 1987. The little things that run the world. *Conservation Biology* 4 (1):344-346.

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

Zeppelini, D.; Bellini, B. C.; Creão-Duarte, A. J.; Hernández, M. I. M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 18(5):1161-1170.

Zeppelini, D. 2012. Collembola. 201-211p. In: Rafael, J.A; Melo, G.A.R.; Carvalho, C.J.B; Casari, S.A.; Constantino, R. (Eds.). *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. Holos, Ribeirão Preto, SP. 810pp.

Zuquim, G. 2006. *Diversidade Beta da Comunidade de Pteridófitas de Florestas de Terra-Firme da Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 52pp.

Zuquim, G.; Costa, F.R.C.; Prado, J. 2007. Redução de esforço amostral vs. retenção de informação em inventários de pteridófitas na Amazônia Central. *Biota Neotropica*, 7: 217-223.

SÍNTESE

Nosso trabalho mostrou que o padrão de distribuição de colêmbolos edáficos foi influenciado por variáveis ambientais em três áreas na Amazônia. Além disso, elaboramos protocolos de coletas padronizados, baseados na redução do número de subamostras e métodos de coleta visando fornecer dados para biomonitoramento a baixos custos. No capítulo 1 mostramos como as variáveis edáficas estão associadas à comunidade de Collembola na Reserva Ducke, a partir da amostragem do Aparelho de Berlese-Tullgren e propusemos um protocolo de coleta por meio da redução do número de subamostras. No capítulo 2 verificamos a redução dos métodos de amostragem na Estação Ecológica de Maracá. No capítulo 3 criamos um protocolo de coleta através da diminuição do subamostras em três áreas de estudo.

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* 2388: 1 – 22.

Adis, J.; Ribeiro, M.D.A. 1989. Impacto de desmatamento em invertebrados de solo de florestas inundáveis na Amazonia central e suas estratégias de sobrevivência as inundações de longo prazo. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Zoologia*.

Aguiar, N.O.; Gualberto, T.L.; Franklin, E. 2006. A medium-spatial scale distribution pattern of Pseudoscorpionida (Arachnida) in gradient of topography (altitude and inclination), soil factors, litter in a central Amazonia forest reserve, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 66(3): 791-802.

Andersen, A.N.; Hoffmann, B.D.; Müller, W.J.; Griffiths, A.D. 2002. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. *Journal of Applied Ecology*, 39: 8-17.

Arlé, R.; Mendonça, M.C. 1982. Estudo preliminar das espécies e *Dicranocentrus* Schött, 1893, ocorrentes no Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro (Collembola). *Revista Brasileira de Biologia*, 42 (1): 41-49.

Araújo, J.S. 2007. *Métodos de amostragem, influência dos fatores ambientais e guia de identificação dos escorpiões (Chelicerata, Scorpiones) da Reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 71 pp.

Bellinger, P.F.; Christiansen, K.A.; Janssens, F. 2015. Checklist of the Collembola of the world. [http:// www.collembola.org](http://www.collembola.org) (acesso em 15 de abril de 2016).

Baccaro, F.B.; Drucker, D.P.; Vale, J.; Oliveira, M.L.; Magalhães, C.; Lepsch-Cunha, N.; Magnusson, W.E. 2008. A Reserva Ducke. 11-20p. In: Oliveira, M.L.; Baccaro, F.B.; Braganeto, R.; Magnusson, W.E. (Ed.). *Reserva Ducke: A biodiversidade amazônica através de uma grade*. Áttema Design, Manaus, AM. 168pp.

Borma, L.S.; Nobre, C. 2013. Introdução. 17-18pp. In: Borma, L.S.; Nobre (Ed.) *Secas na Amazônia: causas e consequências*. Oficina de Textos, São Paulo, SP. 367p.

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 Pesquisa da Amazônia. 121pp.

Coleman, D.C.; Crossley, D.A.Jr., Hendrix, P. F. 2004. Secondary production: activities of heterotrophic organisms—The Soil Fauna. 79-184p. In: Coleman, D.C.; Crossley, D.A.Jr., Hendrix, P. F. *Fundamentals of Soil Ecology*., Elsevier Academic Press, 2ª edição, Oxford, UK. 375pp.

- Costa, F.R.C.; Magnusson, W.E. 2010. The need for large-scale, integrated studies of biodiversity: the experience of the Program for Biodiversity Research in Brazilian Amazonia. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 8: 3–12.
- Eden, M. J.; McGregor, D. F.M. 1998. The Ilha de Maracá and the Roraima region. 1-11p. In: Milliken, W.; Ratter J.A. (Eds.). *Maracá: The biodiversity and environment of na Amazonian rainforest*. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 508pp.
- 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. *Journal of Natural History*, 46: 2131–2144.
- Ferreira-Júnior, N.; Salles, F.F.; Hamada, N. 2014. Hexápodes Aquáticos 173-181p. In: Hamada, N.; Nessimian, J.L.; Querino, R.B. (Ed.). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. INPA, Manaus, AM. 724 pp.
- Franklin, E.; Moraes, J.; Landeiro, V.L.; Souza, J.L.P.; Pequeno, P.A.C.L.; Magnusson W.E.; Morais, J.W. 2013. Geographic position of sample grid and removal of uncommon species affect multivariate analyses of diverse assemblages: The case of oribatid mites (Acari: Oribatida). *Ecological Indicators*, 34: 172–180.
- Franklin, E.; Morais, J.W. 2006. Soil Mesofauna in Central Amazon. 142-162 p. In: Moreira, F.M.S; Siqueira, J.Q.; Brussaard, L. (Eds.) *Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems*. CABI Publishing. Oxfordshire, UK. 280 pp.
- 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.
- Gauer, U. 1997. The Collembola. 351-359p. In: Junk, W.J. (Ed.) *The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system*. Springer Science & Business Media. v. 126, Berlin, Alemanha. 530pp.
- Graça, M.B.; Morais, J.W.; Franklin, E.; Pequeno, P.A.C.L.; Souza, J.L.P.; Bueno, A.S. 2015. Combining taxonomic and functional approaches to unravel the spatial distribution of an amazonian butterfly community. *Environmental Entomology*, 1–9.
- Honrado, J.; Gonçalves, J.; Lomba, A.; Vicente, J. 2012. Ecologia da paisagem e biodiversidade: da investigação à gestão e à conservação. *Ecologia*, 5: 36-51.
- Hooper, D.U.; Chapin, F.S. III; Ewel, J.J.; Hector, A.; Inchausti, P.; Lavorel, S.; Lawton, J.H.; Lodge, D.M.; Loreau, M.; Naeem, S.; Schmid, B.; Setälä, H.; Symstad, A. J.; Vandermeer, J.; Wardle D.A. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75 (1): 3–35.
- Hopkin, S.P. 1997. *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford Univ. Press, Oxford, UK. 330 pp.
- Hopkins, M.J.G. 2005. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil. *Rodriguésia*, 9-25.

ICMBio. 2015. Plano de Manejo da Estação Ecológica de Maracá. Boa Vista, ICMBio, 211pp. Disponível em www.icmbio.gov.br. Acesso em 10 agosto de 2015

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.

Karyanto, A.; Rahmadi, C.; Franklin, E.; Morais, J.W. 2010. Collembola, Acraei, outros grupos da mesofauna – O método de Berlese 135-159p. In: Moreira, F.M.S.; Huising, E.J.; Bignell, D.E. (Eds). Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade. UFLA. Lavras, MG. 368pp.

Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259-263.

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

Mendonça, M.C.; Abrantes, E.A.; Queiroz, G.C. 2014. Classe Collembola. 183-191p. In: Hamada, N.; Nessimian, J.L.; Querino, R.B. (Eds.). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. INPA, Manaus, AM. 724 pp.

Mendonça, B.A.F.; Fernandes Filho, E.I.; Schaefer, C.E.G.R.; Simas, F.N.B.; Vale Junior, J.F.; Lisboa, B.D.A.R.; Mendonça, J.G.F. 2013. Solos e geoambientes do Parque Nacional do Viruá e entorno, Roraima: visão integrada da paisagem e serviço ambiental. *Ciência Florestal*, 23(2): 427-442.

Milliken, W.; Ratter J.A. 1998. The vegetation of the Ilha Maracá. 71-112p. In: Milliken, W.; Ratter J.A. (Eds.). *Maracá: The biodiversity and environment of na Amazonian rainforest*. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 508pp.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). 2015. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Relatório parametrizado da Estação Ecológica Maracá. <http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?id=relatorioparametrizado.exibeRelatorio&relatorioPadrao=true&idUc=57> (acesso em 15 de julho de 2015).

Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. 2013. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. 15-30p. In: Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. (Ed.) *O Ecossistema Solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. UFLA, Lavras, MG. 352pp.

Morais, J.W.; Oliveira, F.G.L.; Braga, R.F.; Korasaki, V. 2013 Mesofauna. 185-200p. In: Moreira, F.M.S.; Cares, J.E.; Zanetti, R.; Sturmer S.L. (Eds.). *O Ecossistema Solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. UFLA, Lavras, MG. 352pp.

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*, 39: 145-152.

Morais J.W.; Franklin, E. 2008. Mesofauna do solo na Amazônia Central. 371-408p. In: Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.Q.; Brussaard, L. (Eds.). Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. UFLA, Lavras, MG. 768pp.

Moraes, J.; Franklin, E.; Moraes, 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 km² of forest in Amazonia. *Experimental and Applied Acarology*, 55: 39–63.

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

Oliveira, F.G.L. 2013. *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*. Dissertação de Mestrado/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 53pp.

Oliveira, P.Y.; Souza, J.L.P.; Baccaro, F.B.; Franklin, E. 2009. Ant species distribution along a topographic gradient in a terra-firme forest in Central Amazon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(8): 852–860.

Pequeno, P.A.C.L.; Franklin, E.; Venticinque, E.M.; Acioli, A.N.S. 2015. Linking functional trade-offs, population limitation and size structure: Termites under soil heterogeneity. *Basic and Applied Ecology* 16: 365–374.

Porto, W.; Pequeno, P.A.L.; Tourinho, A.L. 2016. When less means more: Reduction of both effort and survey methods boosts efficiency and diversity of harvestmen in a tropical forest. *Ecological Indicators*, 69: 771-779.

Ribeiro, B.A. 2014. Meio físico e biodiversidade. 61-332p. In: ICMBio. *Plano de Manejo do Parque Nacional do Viruá*. ICMBio, Boa Vista, RR., 626 pp.

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

Santos, E.M.R.; Franklin, E.; Magnusson, W.E. 2008. Cost-efficiency of a sub sampling protocols to evaluate oribatid-mite communities in an Amazonian savanna. *Biotropica*, 40(6): 728-735.

Sayer, E.J.; Tanner, E.V.J.; Lacey, A.L. 2006. Effects of litter manipulation on early-stage decomposition and meso-arthropod abundance in a tropical moist forest. *Forest ecology and management*, 229(1): 285-293.

Silva, P.M.; Berg, M.P.; Serrano, A.R.; Dubs, F.; Sousa, J.P. 2012. Environmental factors at different spatial scales governing soil fauna community patterns in fragmented forests. *Landscape ecology*, 27(9): 1337-1349.

Silva, P.M.; Carvalho, F.; Dirilgen, T.; Stone, D.; Creamer, R.; Bolger, T.; Sousa, J. P. 2016. Traits of collembolan life-form indicate land use types and soil properties across an European transect. *Applied Soil Ecology*. In press <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.07.018>

Souza, J.L.P.; Moura, C.A.R.; Harada, A.Y. Franklin, E. 2007. Diversidade de espécies dos gêneros de *Crematogaster*, *Gnamptogenys* e *Pachycondyla* (Hymenoptera: Formicidae) e complementaridade dos métodos de coleta durante a estação seca numa estação ecológica no estado do Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, 7(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*, 44: 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*, 56: 63-73.

Souza, J.L.P.; Baccaro, F.B.; Landeiro, V.L.; Franklin, E.; Magnusson, W.E; Pequeno, P. A.C.L.; Fernandes, I.O. 2016. Taxonomic sufficiency and indicator taxa reduce sampling costs and increase monitoring effectiveness for ants. *Diversity and Distributions*, 22(1): 111-122.

Spironello, W.R.; Sampaio, P.D.T.B.; Ronchi-Teles, B. 2004. Produção e predação de frutos em *Aniba rosaedora* Ducke var. *amazonica* Ducke (Lauraceae) em sistema de plantio sob floresta de terra firme na Amazônia Central. *Acta Botanica Brasilica*, 18(4): 801-807.

Tarli, V.D.; Pequeno, P.A.C.L.; Franklin, E.; Morais, J.W.; Souza, J.L.P.; Oliveira, A.H.C.; Guilherme, D.R. 2014. Multiple environmental controls on cockroach assemblage structure in a tropical rain forest. *Biotropica*, 46(5): 598–607.

Tourinho, A.L.; Lança, L.S.; Baccaro, F.B.; Dias, S.C. 2014. Complementarity among sampling methods for harvestman assemblages. *Pedobiologia*, 57(1): 37-45.

Ward, D.F; Larivière, M. 2004. Terrestrial invertebrate surveys and rapid biodiversity assessment in New Zealand: lessons from Australia. *New Zealand Journal of Ecology*, 28(1): 151-159.

Zeppelini, D. 2012. Collembola. 201-211p. In: Rafael, J.A; Melo, G.A.R.; Carvalho, C.J.B; Casari, S.A.; Constantino, R. (Ed.). *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. Holos, Ribeirão Preto, SP. 810pp.

Zeppelini, D.; Bellini, B. C.; Creão-Duarte, A. J.; Hernández, M. I. M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 18(5): 1161-1170.

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

APÊNDICE

Tabela 1. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, na Ducke. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R^2 . Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

Subamostras por parcelas		Teor de argila (%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R^2	P
		Coefficiente	p	Coefficiente	p	Coefficiente	p		
10	Eixo 1	-0,055	0,756	0,110	0,525	-0,465	0,013	0,252	0,053
	Eixo 2	0,617	<0,000	-0,358	0,013	-0,067	0,633	0,533	<0,000
9	Eixo 1	0,076	0,672	-0,079	0,652	0,444	0,019	0,230	0,074
	Eixo 2	-0,559	0,001	0,318	0,041	0,034	0,822	0,438	0,002
8	Eixo 1	-0,107	0,540	0,132	0,444	-0,447	0,016	0,262	0,045
	Eixo 2	-0,226	0,250	0,181	0,345	0,018	0,924	0,090	0,478
7	Eixo 1	-0,178	0,325	0,098	0,579	-0,380	0,041	0,225	0,080
	Eixo 2	-0,084	0,677	0,085	0,669	0,020	0,919	0,015	0,940
6	Eixo 1	0,237	0,170	-0,111	0,506	0,422	0,019	0,303	0,0227
	Eixo 2	-0,110	0,587	-0,063	0,749	0,027	0,892	0,015	0,943
5	Eixo 1	-0,227	0,212	0,018	0,916	-0,369	0,047	0,227	0,078
	Eixo 2	-0,064	0,750	-0,076	0,698	-0,141	0,484	0,031	0,842
4	Eixo 1	-0,127	0,514	-0,035	0,856	-0,244	0,216	0,088	0,485
	Eixo 2	-0,046	0,816	0,197	0,312	0,154	0,438	0,058	0,661
3	Eixo 1	0,001	0,995	-0,139	0,457	-0,354	0,070	0,136	0,276
	Eixo 2	-0,230	0,127	0,133	0,483	0,063	0,742	0,109	0,382

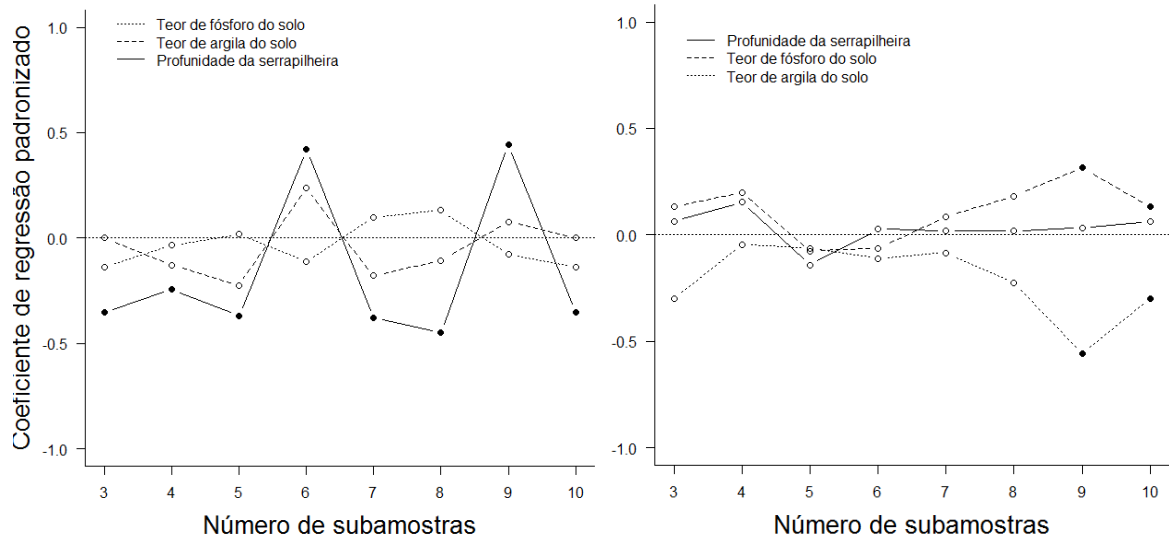


Figura 1. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais no esforço máximo e nos esforços reduzidos na Ducke.

Tabela 5. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, em Viruá. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R². Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

Subamostras por parcelas		Teor de argila (%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R ²	P
		Coeficiente	p	Coeficiente	p	Coeficiente	p		
10	Eixo 1	-0,507	0,004	-0,133	0,395	-0,293	0,136	0,677	<0,000
	Eixo 2	-0,242	0,267	0,791	<0,000	-0,136	0,594	0,436	0,003
9	Eixo 1	-0,509	0,005	-0,146	0,358	-0,275	0,165	0,669	<0,000
	Eixo 2	-0,201	0,367	0,773	0,001	-0,171	0,514	0,403	0,006
8	Eixo 1	-0,496	0,006	-0,109	0,492	-0,316	0,114	0,667	<0,000
	Eixo 2	0,177	0,436	-0,762	0,002	0,206	0,441	0,378	0,009
7	Eixo 1	-0,463	0,009	-0,098	0,536	-0,359	0,074	0,669	<0,000
	Eixo 2	-0,152	0,513	0,739	0,002	-0,248	0,369	0,343	0,016
6	Eixo 1	-0,462	0,008	-0,089	0,561	-0,376	0,056	0,685	<0,000
	Eixo 2	-0,104	0,658	0,740	0,003	-0,327	0,245	0,327	0,022
5	Eixo 1	-0,466	0,018	-0,171	0,305	-0,277	0,182	0,635	<0,000
	Eixo 2	0,108	0,653	-0,718	0,004	0,408	0,157	0,302	0,032
4	Eixo 1	-0,491	0,006	-0,191	0,231	-0,257	0,194	0,669	<0,000
	Eixo 2	0,083	0,732	-0,701	0,005	0,441	0,131	0,286	0,041
3	Eixo 1	-0,467	0,007	-0,152	0,324	-0,327	0,093	0,688	<0,000
	Eixo 2	-0,060	0,805	0,679	0,007	-0,405	0,170	0,266	0,056
2	Eixo 1	-0,543	0,003	-0,165	0,309	-0,214	0,286	0,655	<0,000
	Eixo 2	-0,026	0,921	0,561	0,030	-0,411	0,185	0,185	0,172

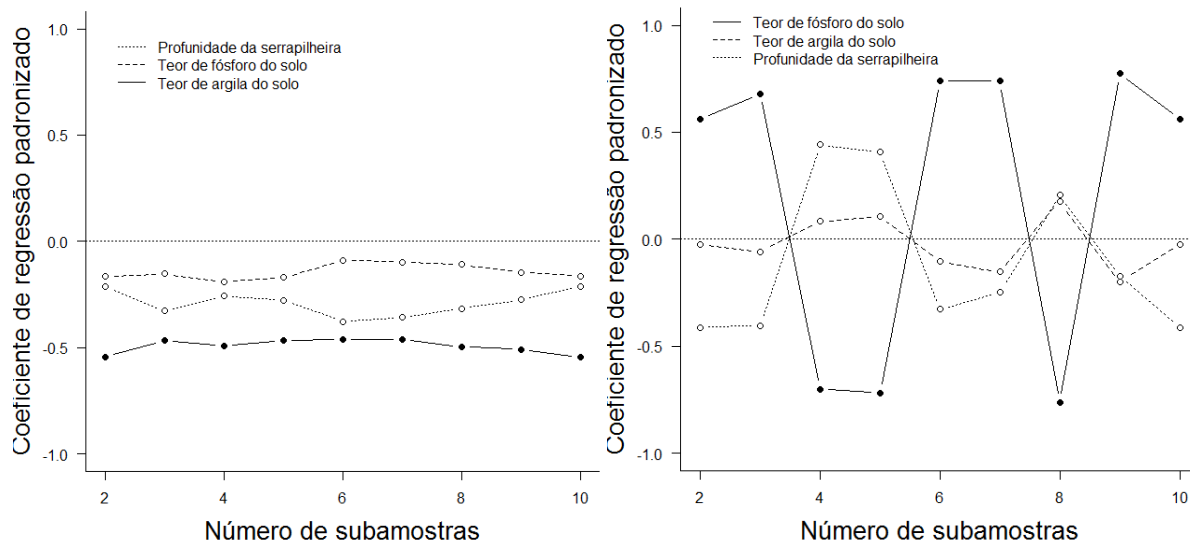


Figura 2. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais no esforço máximo e nos esforços reduzidos em Viruá.

Tabela 6. Modelo de regressões múltiplas das variáveis ambientais para a composição de Isotomidae e Paronellidae, através da ordenação dos dois primeiros eixos da PCoA, no esforço máximo e no esforço reduzido, em Viruá. Nas colunas estão representados os níveis de esforço por subamostras e nas linhas as variáveis ambientais (o valor da inclinação da reta da tendência central e do p parcial), o P global e R². Em negrito os valores de P global e p parcial significativos ($p \leq 0,05$).

Subamostras por parcelas		Teor de argila (%)		Teor de fósforo (mg.kg)		Profundidade da serrapilheira (cm)		R ²	P
		Coeficiente		Coeficiente		Coeficiente			
			p		p		p		
10	Eixo 1	-0,255	0,151	0,156	0,378	-0,482	0,008	0,297	0,025
	Eixo 2	0,000	0,999	0,211	0,309	0,076	0,702	0,044	0,754
9	Eixo 1	-0,251	0,160	0,139	0,434	-0,479	0,009	0,287	0,030
	Eixo 2	-0,034	0,867	0,261	0,206	0,094	0,633	0,064	0,624
8	Eixo 1	-0,224	0,213	0,175	0,332	-0,460	0,012	0,274	0,037
	Eixo 2	0,086	0,668	0,212	0,303	0,097	0,622	0,062	0,635
7	Eixo 1	-0,222	0,221	0,141	0,436	-0,461	0,013	0,263	0,045
	Eixo 2	0,058	0,775	0,203	0,324	0,155	0,431	0,061	0,643
6	Eixo 1	-0,252	0,157	0,244	0,174	-0,443	0,014	0,296	0,025
	Eixo 2	0,082	0,692	0,028	0,894	0,108	0,591	0,017	0,928
5	Eixo 1	-0,220	0,205	0,338	0,059	-0,415	0,018	0,322	0,016
	Eixo 2	0,120	0,561	-0,019	0,928	0,118	0,554	0,025	0,882
4	Eixo 1	-0,227	0,208	0,364	0,050	-0,334	0,061	0,274	0,037
	Eixo 2	0,096	0,641	-0,053	0,798	0,062	0,757	0,013	0,952
3	Eixo 1	0,089	0,633	-0,295	0,123	0,310	0,094	0,204	0,110
	Eixo 2	0,222	0,278	-0,126	0,538	-0,017	0,933	0,049	0,720
2	Eixo 1	-0,132	0,472	0,303	0,110	-0,339	0,065	0,228	0,077
	Eixo 2	0,033	0,873	0,061	0,771	-0,055	0,786	0,011	0,963

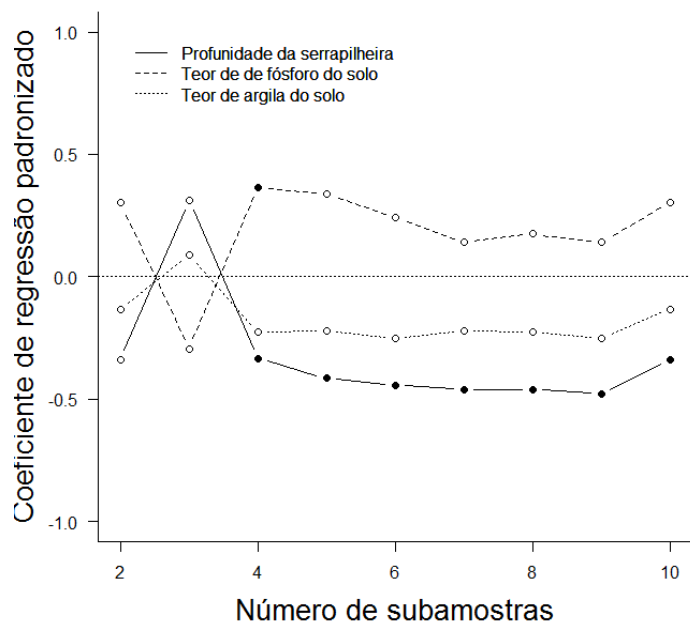


Figura 3. Regressões parciais do modelo que mostra a mudança na composição de espécies de Isotomidae e Paronellidae com as variáveis ambientais no esforço máximo e nos esforços reduzidos em Maracá.

ANEXO

Tabela 1. Valores médios das variáveis ambientais utilizadas como preditoras na Ducke.

Linha	Parcela	Argila (%)	Fósforo (mg/kg)	serrapilheira (cm)
L3	500	62.410	1.704	0.924
L3	1500	4.550	0.997	1.541
L3	2500	4.990	1.222	1.825
L3	3500	4.000	3.150	2.051
L3	4500	78.280	0.772	1.098
L4	500	1.620	1.511	1.316
L4	1500	3.800	1.222	0.990
L4	2500	79.730	1.768	0.851
L4	3500	77.330	1.447	1.985
L4	4500	86.790	1.415	2.041
L5	500	2.760	6.430	1.094
L5	1500	81.310	4.629	0.814
L5	2500	42.580	4.886	1.485
L5	3500	83.300	4.211	2.043
L5	4500	84.320	3.022	2.171
L6	500	32.240	2.733	0.780
L6	1500	11.810	2.636	1.046
L6	2500	3.880	3.343	1.236
L6	3500	87.260	2.025	1.182
L6	4500	29.600	1.768	1.247
L7	500	13.050	3.472	1.177
L7	1500	56.840	5.369	1.299
L7	2500	86.300	6.012	1.668
L7	3500	72.460	3.633	1.231
L7	4500	83.720	3.601	1.579
L8	500	2.740	6.719	1.103
L8	1500	2.680	6.269	1.219
L8	2500	7.320	4.501	1.245
L8	3500	3.850	3.697	1.351
L8	4500	85.820	4.083	1.418

Tabela 2. Valores médios das variáveis ambientais utilizadas como preditoras em Maracá.

Linha	Parcela	Argila (%)	Fósforo (mg/kg)	serrapilheira (cm)
L1	500	6.000	5.417	2.724
L1	1500	1.500	4.544	2.600
L1	2500	3.500	3.912	1.800
L1	3500	13.500	4.664	1.667
L1	4500	11.000	5.116	1.625
L2	500	2.000	5.537	2.903
L2	1500	7.500	5.086	2.500
L2	2500	5.500	3.611	2.276
L2	3500	7.500	4.544	3.087
L2	4500	9.000	4.093	2.960
L3	500	4.500	4.002	2.355
L3	1500	3.000	5.326	2.538
L3	2500	3.000	3.822	3.333
L3	3500	8.000	4.393	2.040
L3	4500	4.000	4.333	2.419
L4	500	7.000	7.944	2.556
L4	1500	3.500	4.454	2.760
L4	2500	3.500	4.093	2.219
L4	3500	4.000	5.086	2.125
L4	4500	6.000	4.424	2.630
L5	500	12.000	6.801	3.111
L5	1500	5.000	4.093	2.742
L5	2500	6.500	4.213	3.120
L5	3500	4.000	4.995	2.571
L5	4500	3.500	4.544	2.125
L6	500	3.500	5.206	1.594
L6	1500	5.000	4.153	2.000
L6	2500	8.000	7.764	1.500
L6	3500	4.500	5.116	1.750
L6	4500	6.000	6.169	1.435

Tabela 3. Valores médios das variáveis ambientais utilizadas como preditoras em Viruá.

Linha	Parcela	Argila (%)	Fósforo (mg/kg)	serrapilheira (cm)
L1	500	43.037	8.264	2.367
L1	1500	15.696	5.034	2.233
L1	2500	15.722	10.543	2.036
L1	3500	19.315	4.904	2.355
L1	4500	25.068	21.846	2.259
L2	500	30.669	11.29	1.923
L2	1500	39.116	24.506	3.440
L2	2500	53.562	8.644	2.476
L2	3500	18.530	17.857	2.154
L2	4500	35.571	20.612	2.273
L3	500	3.011	4.939	1.476
L3	1500	17.233	7.599	2.167
L3	2500	51.928	13.298	2.931
L3	3500	57.854	4.939	2.273
L3	4500	2.504	0.950	1.080
L4	500	35.986	20.707	2.194
L4	1500	16.157	7.314	2.364
L4	2500	21.324	7.504	2.103
L4	3500	0.502	1.425	1.167
L4	4500	3.004	0.494	1.167
L5	500	16.885	18.432	2.517
L5	1500	6.556	6.744	1.857
L5	2500	5.532	12.823	1.840
L5	3500	6.045	5.889	1.828
L5	4500	6.047	7.314	2.367
L6	500	24.911	8.359	2.357
L6	1500	13.657	7.694	2.071
L6	2500	0.501	1.235	1.476
L6	3500	2.006	2.470	NA
L6	4500	6.539	4.654	3.895

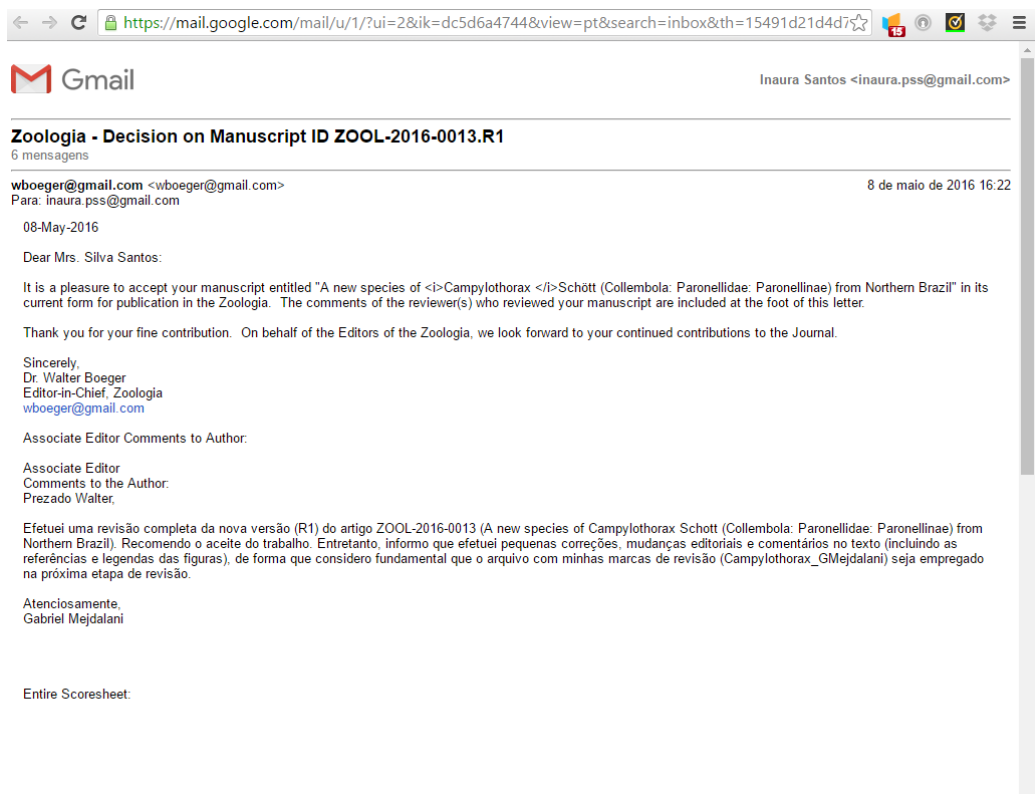


Figura 1. Aceite da Revista Zoologia para a publicação da descrição de uma nova espécie de *Campylothorax* (Entomobryomorpha: Paronellidae).