



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO
MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO**

ESTEVAM CIPRIANO ARAUJO DE LIMA

**DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA (ARTHROPODA, HEXAPODA) DO
ARQUIPÉLAGO FERNANDO DE NORONHA, BRASIL**

CAMPINA GRANDE – PB

2014

ESTEVAM CIPRIANO ARAUJO DE LIMA

**DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA (ARTHROPODA, HEXAPODA) DO
ARQUIPÉLAGO FERNANDO DE NORONHA, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba como requisito para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Zeppelini Filho

CAMPINA GRANDE – PB

2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

L732d Lima, Estevam Cipriano Araújo de.
Diversidade de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) do arquipélago Fernando de Noronha, Brasil [manuscrito] / Estevam Cipriano Araújo de Lima. - 2014.
76 p. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas, 2014.

"Orientação: Douglas Zeppelini Filho, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas".

1. Conservação biogeográfica. 2. Ilhas Oceânicas. 3. Collembola. I. Título.

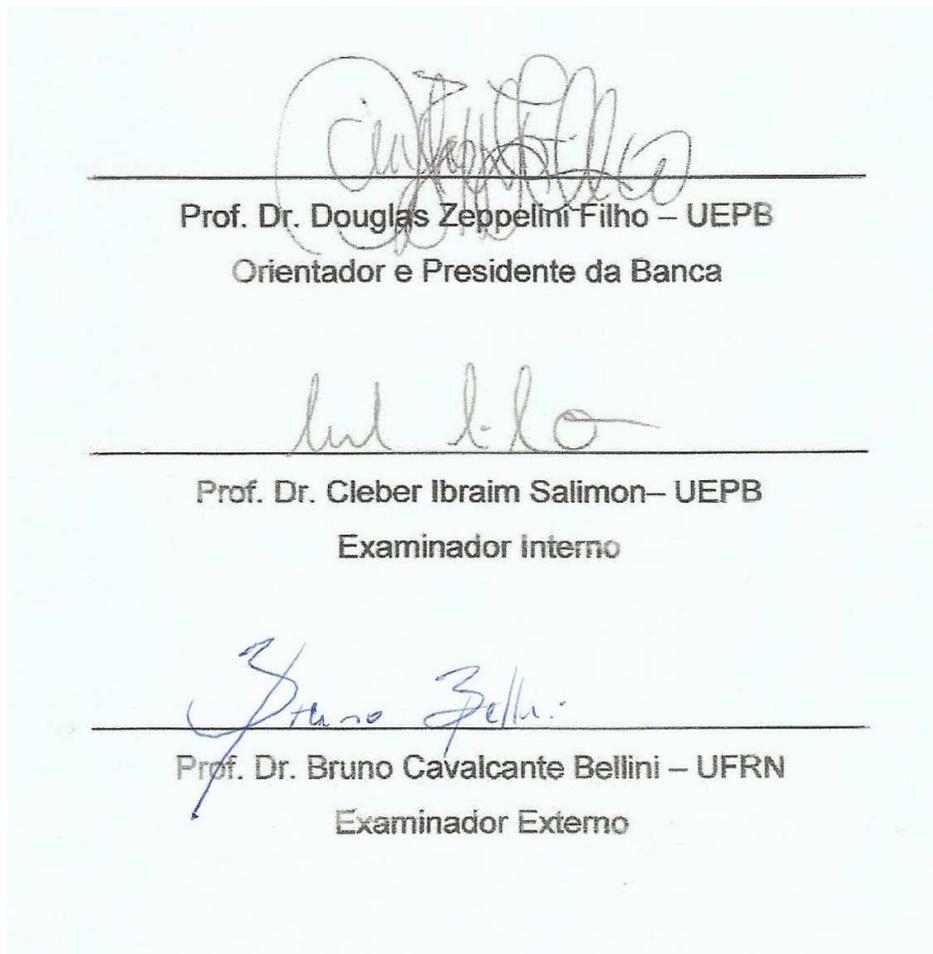
21. ed. CDD 333.95

ESTEVAM CIPRIANO ARAUJO DE LIMA

**DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA (ARTHROPODA, HEXAPODA) DO
ARQUIPÉLAGO FERNANDO DE NORONHA, BRASIL**

BANCA EXAMINADORA

Dissertação defendida e aprovada em 20/02/2014.



Dedico este trabalho à minha esposa Meire
pelo apoio e por sua adorável companhia.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba, por acreditar neste projeto e pelo apoio na execução.

Ao Professor Dr. Douglas Zeppelini Filho, pela grandiosa orientação nesta dissertação e pelos inúmeros exemplos de dedicação e trabalhos voltados as questões ambientais.

Ao Professor Dr. Jose Guadalupe Palacios Vargas por sua contribuição decisiva na identificação da nova espécie descrita neste estudo.

Ao Roniere Andrade de Brito por sua ajuda em todas as etapas deste estudo, através de sugestões, idéias e pelos longos períodos de laboratório.

À Aila Soares Ferreira e ao Diego Silva pela agradável companhia e grande ajuda em campo.

Ao Cesar Costa pelo apoio na triagem, contagem e montagem de todo o material biológico.

A toda equipe do ICMbio Fernando de Noronha, por todo apoio logístico durante o período de coleta.

À Secretária de Ciência e Tecnologia do Governo do Estado de Pernambuco, a Administração e ao Controle Migratório de Fernando de Noronha pelo apoio financeiro.

A todos, muito obrigado!

"A diferença entre o possível e o impossível está na vontade humana."

(Louis Pasteur)

RESUMO

A fauna terrestre em ilhas oceânicas apresenta alta vulnerabilidade e diversidade particular, devido ao espaço geográfico restrito e único. As estratégias de conservação dos ambientes insulares devem ser rigorosas para garantir a manutenção da diversidade. O reconhecimento dos padrões de distribuição da diversidade é importante para determinar as escalas espaciais apropriadas para o desenvolvimento de estratégias de conservação biogeográfica. No presente trabalho, através do particionamento da diversidade de Collembola em Ilhas Oceânicas do Arquipélago Fernando de Noronha, apresentamos o padrão de distribuição da diversidade destes artrópodes e também descrevemos uma nova espécie de Collembola endêmica deste ambiente insular. Este trabalho foi estruturado em três capítulos. No primeiro apresentamos o estado da arte, os objetivos (gerais e específicos), hipótese, pergunta e a caracterização da área de estudo. Os demais capítulos foram desenvolvidos em formato de artigo, respeitando o formato proposto pelas respectivas revistas. O segundo capítulo traz um estudo sobre a distribuição espacial de Collembola, onde determinamos a escala apropriada para a conservação do Arquipélago Fernando de Noronha e será submetido à revista *Diversity and Distributions* (IF 6.122) e no terceiro apresentamos a primeira espécie de collembola endêmica e restrita ao cordão arenoso do Arquipélago Fernando de Noronha publicado na revista *The Florida Entomologist* (IF 1.163) em dezembro de 2013 (volume 96, páginas 1579-1587) intitulado "A New Species Of Isotogastrura (Collembola: Isotogastruridae) From Northeastern Brazil" (PALACIOS-VARGAS *et al.*, 2013).

Palavras Chaves: Conservação, Ilhas Oceânicas, distribuição espacial, Collembola.

ABSTRACT

The terrestrial fauna on oceanic islands is highly vulnerability and diversity particular due to the geographical limited and unique space. Conservation Strategies of island must be strict to ensure the maintenance of diversity. The recognition of distribution patterns of diversity is important to determine the appropriate spatial scales for the development of conservation strategies biogeographic. This work, by partitioning the diversity of Collembola in Oceanic Islands of the Archipelago Fernando de Noronha, we present the distribution pattern the diversity of arthropods and also described a new species of Collembola endemic to this island environment. This work was structured in three chapters. In the first we present the state of the art, the objectives (general and specific), hypothesis, inquiry and characterization of the study area. The remaining chapters were developed in article format, respecting the proposed by the respective magazines format. The second chapter presents a study on the spatial distribution of Collembola, which determine the appropriate scale for the conservation of the Archipelago Fernando de Noronha and will be submitted for Diversity and Distributions (IF 6.122) magazine and third present the first species of collembola endemic and restricted the sandy strand of the Archipelago Fernando de Noronha published in The Florida Entomologist (IF 1.163) in December 2013 (volume 96 , pages 1579-1587) titled " A New Species of Isotogastrura (Collembola : Isotogastruridae) from Northeastern Brazil " (PALACIOS - VARGAS *et al.*, 2013) .

Key words: Conservation, Oceanic Islands, spatial distribution, Collembola

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

- Figura 1 – Mapa de Fernando de Noronha evidenciando as duas maiores Ilhas do Arquipélago. A Ilha de Fernando de Noronha e a Ilha Rata..... 24
- Figura 2 – Foto do arquipélago Fernando de Noronha tirada a partir da Ilha Rata mostrando algumas Ilhas secundárias e ao fundo a Ilha Principal..... 25

CAPÍTULO 2 – PARTIÇÃO DA DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA EM ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS

- Figura 1 – a) – Mapa do Brasil e mapa de Fernando de Noronha ampliado evidenciando os 14 pontos de coleta; b) - Perfil das faixas do ambiente do gradiente ambiental costeiro selecionadas no estudo; c) – Foto do satélite (Google Earth) evidenciando as faixas do gradiente ambiental costeiro..... 31
- Figura 2 – Coordenadas geográficas e esquematização gráfica do desenho amostral, componentes da diversidade (α_1 , β_1 , β_2 e β_3) e distâncias da amostragem..... 32
- Figura 3 – Curva de acumulação de espécies com o número de espécies observadas e a estimativa teórica de Jackknife para 56 amostras com 999 randomizações..... 42
- Figura 4 – Análise de Cluster a partir da matriz de Distância Euclidiana dos dados ambientais de todos os pontos das Regiões E e F do Arquipélago Fernando de Noronha..... 45
- Figura 5 – Análise canônica de coordenadas principais demonstrando a correlação entre variáveis ambientais e as comunidades de Collembola do arquipélago Fernando de Noronha..... 46

CAPÍTULO 3 - A NEW SPECIES OF ISOTOGASTRURA (COLLEMBOLA: ISOTOGASTRURIDAE) FROM NORTHEASTERN BRAZIL

Figure 1 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; electro scanning microphotograph of apex of Ant. III and Ant. IV.....	58
Figure 2 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; electro scanning microphotographs of sensorial organ of Ant. III.....	58
Figure 3 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; electro scanning microphotographs of eyes from left side.....	58
Figure 4 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; electro scanning microphotographs of labium.....	58
Figure 5 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; electro scanning microphotographs of tenaculum.....	59
Figure 6 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; electro scanning microphotographs of apex of tibiotarsus III with ungues and unguiculus.....	59
Figure 7 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; electro scanning microphotographs of foot complex showing bent apical filament of the unguiculus.....	59
Figure 8 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; electro scanning microphotographs of furcula posterior view.....	60
Figure 9 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; electro scanning microphotographs of mucro antero-median view.....	60
Figure 10 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; apex of Ant. III and Ant. IV in dorsal view,	61
Figure 11 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; dorsal chaetotaxy of head and thorax.....	61
Figure 12 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; genital plate of female.....	61
Figure 13 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; dorsal chaetotaxy of abdômen.....	62
Figure 14 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; ventral chaetotaxy of abdômen.....	62
Figure 15 - <i>Isotogastrura mucrospatulata</i> sp. nov. 1; genital plate of male..	62

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – PARTIÇÃO DA DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA EM ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS

TABELA 1 – Espécies de Collembola coletados nas regiões de encosta (E) e floresta (F) do arquipélago Fernando de Noronha. Abundância absoluta (ABD. IND) e relativa (ABD. REL.) das espécies considerando os 14 pontos estudados. Número total de indivíduos por amostra.....	39
Tabela 2 – Número de indivíduos por região (encosta e floresta) e região de ocorrência das espécies de Collembola do Arquipélago Fernando de Noronha.....	41
Tabela 3 – Índices de diversidade por ponto – Riqueza de espécie (S), Número de indivíduos (N), Equitabilidade de Pielou's (J'), diversidade de Shannon e Simpson de todos os pontos das Regiões E e F.....	42
Tabela 4 –Particionamento da diversidade em Fernando de Noronha considerando um desenho amostral com quatro hierarquias, sendo α_1 a menor unidade amostral (que são as 56 amostras individuais), β_1 a variação entre as 56 amostras, β_2 a variação entre os 14 pontos, β_3 a variação entre as duas regiões (encosta e floresta). Os valores de <i>P</i> foram obtidos através de 10000 randomizações com o <i>PARTITION V3</i>	43
Tabela 5 – Matriz de dados ambientais por amostras das regiões E e F para o Arquipélago Fernando de Noronha nos sete pontos amostrados com os valores de PH em H ₂ O, PH em KCL, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (CA), Magnésio (MG), Alumínio (AL), Hidrogênio + Alumínio (H + AL), Soma de bases trocáveis (SB), Capacidade de troca de cátions (CTC), Saturação da CTC por bases (V), Saturação por Alumínio (M), Carbono Orgânico (CO), Matéria Orgânica (MO), Número de Árvores (NV), Diâmetro do Caule (DC), Serrapilheira (AS), Umidade do Solo (U).....	44

CAPÍTULO 3 - A NEW SPECIES OF ISOTOGASTRURA (COLLEMBOLA: ISOTOGASTRURIDAE) FROM NORTHEASTERN BRAZIL

Table 1. Comparison of chaetotaxy among the species of <i>Isotogastrura</i> (by demi-tergite).....	63
Table 2. Comparison of traits of <i>Isotogastrura</i> species.....	63

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO	14
<i>Ihas Oceânicas</i>	14
<i>Collembola</i>	16
<i>Diversidade biológica</i>	18
<i>Partição da diversidade</i>	20
2. OBJETIVOS (GERAL E ESPECÍFICOS)	23
3. PERGUNTA E HIPÓTESE	23
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - O ARQUIPÉLAGO FERNANDO DE NORONHA	24
5. CONCLUSÕES GERAIS DO TRABALHO	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – CAPÍTULO 1	66

CAPÍTULO 2 – PARTIÇÃO DA DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA EM ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS

RESUMO	28
INTRODUÇÃO	29
MATERIAL E MÉTODO	30
<i>Caracterização da área de estudo</i>	30
<i>Desenho amostral</i>	31
<i>Collembola</i>	33
<i>Dados ambientais</i>	33
<i>Solo</i>	33
<i>Fertilidade do Solo</i>	33
<i>Umidade do solo</i>	34
<i>Vegetação</i>	35
ANÁLISES ESTATÍSTICAS	35
<i>Índices de diversidade</i>	35

<i>Partição da diversidade</i>	36
<i>Dados ambientais</i>	37
<i>Dados ambientais x Composição das comunidades de Collembola</i>	37
RESULTADOS	37
<i>Diversidade de Collembola</i>	37
<i>Dados ambientais</i>	44
<i>Dados ambientais x Fauna de Collembola</i>	45
DISCUSSÃO	46
CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

CAPÍTULO 3 - A NEW SPECIES OF ISOTOGASTRURA (COLLEMBOLA: ISOTOGASTRURIDAE) FROM NORTHEASTERN BRAZIL

Abstract.....	56
Resumen.....	56
Resumo.....	56
Material and Methods.....	57
Results.....	57
Description.....	57
Etymology.....	59
Habitat and Distribution.....	59
Discussion.....	59
Systematic Position of <i>Isotogastruridae</i>	62
Key for the species of <i>Isotogastrura</i>	63
Acknowledgments.....	64
References Cited.....	64

1. INTRODUÇÃO

Ilhas Oceânicas

A biodiversidade de ilhas oceânicas tem fornecido material ideal para estudar os processos ecológicos e evolutivos. Sua análise tem influenciado profundamente o desenvolvimento de temas, variando da origem das espécies à biogeografia (WHITTAKER e FERNÁNDEZ-PALACIOS, 2007).

A relação entre o número de espécie e a área de um habitat é estudada desde o século XIX (MARGULES *et al.*, 1982). Entre as teorias que explicam esta relação, a do Equilíbrio da Biogeografia de Ilhas, de MacArthur e Wilson (1967), propõe que o número de espécies em uma determinada ilha é resultado do equilíbrio entre os processos de colonização e extinção e sugere um rápido *turnover* durante este processo (HEANEY, 2007). Esta teoria tem encontrado aplicação em todos os tipos de sistemas insulares (de microcosmos para ilhas oceânicas, de lagoas para as ilhas de habitats e assim por diante) e provavelmente tem sido a mais influente teoria dentro da biogeografia. A teoria encontra apoio em autores como Rosenzweig (1995), que apresenta uma ampla revisão sobre a aplicação do conceito espécie/área, mas também recebe críticas como Lomolino (2000) que expõe falhas conceituais da teoria, tais como o negligenciamento do processo de especiação e a ampla abrangência das diferentes escalas espaciais utilizadas nos estudos ecológicos modernos e sugere mudança de paradigma para estudos biogeográficos.

Outro conceito amplamente difundido com aplicação em estudos voltados à biota de ilhas oceânicas é a Vicariância ou efeito vicariante (ROSEN, 1978; NELSON e PLATNICK, 1981) que corresponde a um mecanismo evolutivo que implicitamente requer uma grande estabilidade das biotas insulares durante longo período devido ao isolamento geográfico, com pouca ou nenhuma colonização/dispersão e composição biótica estática, favorecendo o processo de especiação.

Embora nem o modelo de equilíbrio de ilhas nem o efeito vicariante enfatize radiação adaptativa, esta foi classicamente a fonte de muita atenção (DARWIN, 1859; WALLACE, 1880; LACK, 1947) e estudos recentes estão novamente focando este processo (SCHLUTER, 2000; HEANEY, 2007). Grupos monofiléticos dentro de arquipélagos oceânicos muitas vezes mostram alta riqueza de espécies alopátricas

e grande parte da diversidade dentro de um arquipélago pode ser gerada desta forma (HEANEY, 2007; LOSOS *et al.*, 1998; GLOR *et al.*, 2005; JORDÂNIA *et al.*, 2003; GILLESPIE, 2004; FILARDI e MOYLE, 2005; LECROY e BARKER, 2006).

Em 2008 Whittaker e colaboradores propuseram o modelo dinâmico geral (*General Dynamic Model* - GDM), baseado nos processos biológicos dinâmicos (migração, especiação, extinção) de ilhas oceânicas, proporcionando um modelo para explicar os padrões de biodiversidade e endemismo, levando em consideração a Teoria do Equilíbrio da Biogeografia de Ilhas de MacArthur e Wilson (1967) no contexto geológico e evolutivo de arquipélagos oceânicos. No mesmo trabalho Whittaker afirma que nenhuma consideração em biogeografia de ilhas oceânicas é completa sem alguma referência ao impacto dos humanos na biodiversidade nestes ambientes.

Embora ainda exista uma ampla discussão teórica sobre os modelos biogeográficos, o padrão de distribuição das espécies em ilhas oceânicas sempre esteve em pauta (DARWIN, 1859; WALLACE, 1880; MACARTUR e WILSON, 1967; ROSEN, 1978; NELSON e PLATNICK, 1981, WHITTAKER *et al.*, 2008).

A biota em Ilhas oceânicas apresenta alto percentual de espécies endêmicas e a vulnerabilidade destas espécies é maior em relação às dos continentes devido ao espaço geográfico restrito e único, à especificidade de suas interações com o ambiente biótico e abiótico específico, à baixa resistência à invasão de espécies e patógenos exóticos e à menor variabilidade genética (FRANKHAM, 1997; LAURANCE, 1998; WALTER, 2004; FONSECA *et al.*, 2006). Estas particularidades da biota insular fornecem uma configuração ideal para o estudo da distribuição e diversidade de espécies (PARENT *et al.*, 2008).

O crescente impacto humano sobre a biodiversidade exige grandes esforços voltados ao desenvolvimento de estratégias de conservação (MYERS *et al.*, 2000). Em ambientes insulares estes esforços devem ser prioritários, pois estas regiões oferecem grandes barreiras à dispersão e colonização, principalmente à fauna terrestre que geralmente apresentam uma diversidade bem particular e restrita nestes ambientes. Analisar a distribuição de espécies terrestres pode ser útil para avaliar a qualidade ambiental (RUSEK 1998; KUMSAS *et al.*, 2004), podendo ser uma forte aliada nas estratégias de conservação. Sendo assim, acreditamos que estudar a mesofauna de solo pode ser útil para determinar áreas prioritárias para conservação em ilhas oceânicas.

Este estudo visa compreender a distribuição da diversidade de Collembola ao longo de habitats terrestres disponíveis no Arquipélago Fernando de Noronha e, através do entendimento da distribuição do grupo, contribuir definindo a escala espacial adequada para um correto plano de conservação do arquipélago.

Collembola

Collembola (Arthropoda: Hexapoda) é uma Classe de pequenos animais proposta por Lubbock (1873), com tamanho que pode variar de 0,12 a 17 mm (BELLINGER *et al.*, 1996-2014). São semelhantes aos insetos devido a sua tagmose, mas não possuem asas. O corpo é dividido em três partes: cabeça, tórax (geralmente com três segmentos) e abdômen (com no máximo seis segmentos). A cabeça apresenta um par de antenas com quatro artículos. São considerados entognatas devido o posicionamento das mandíbulas e maxilas. Possuem três pares de pernas (uma em cada segmento torácico). Na superfície ventral apresentam o colóforo, retináculo e fúcula, essas estruturas estão localizadas respectivamente no primeiro, terceiro e quarto segmentos abdominais. A abertura genital está localizada no quinto segmento abdominal e o ânus no sexto.

O nome Collembola deriva de colla e embolon (do Latim), estes animais possuem duas estruturas marcantes que são justamente as que dão origem ao nome, o colóforo onde fica a “cola” que possibilita o animal fixar-se ao substrato e a fúcula que serve como um “êmbolo ou alavanca” que possibilita o animal saltar. (HOPKIN, 1997; RAFAEL *et al.*, 2012).

Os representantes da classe Collembola são encontrados em todos os habitats, entretanto sua ocorrência em ambientes aquáticos abaixo da película de tensão superficial é rara ou acidental. A maior diversidade e abundância desses animais é encontrada no solo e em microhabitats adjacentes, principalmente onde há abundância de matéria orgânica (ZEPPELINI e BELLINI, 2004).

As espécies de Collembola terrestres podem ser classificadas como epiedáficas (encontradas na superfície do solo ou na serrapilheira), hemiedáficas (em profundidades de até 5 cm) e euedáfica, em profundidades abaixo de 5 cm (GISIN, 1943; HOPKIN, 1997; PETERSEN, 2002).

Embora sejam pequenos animais e facilmente despercebidos, são amplamente distribuídos e abundantes no solo de todo o mundo. Sua distribuição

em geral, vai do círculo polar ártico à latitude 83° Sul, na Antártida (WALLWORK, 1976; HOPKIN, 1997; ZEPPELINI e BELLINI, 2004). Apesar de apresentarem uma biomassa pouco representativa, variando de 1 a 5% nos ecossistemas temperados e até 10% nas regiões árticas (PETERSEN 1994), os collembolos desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes, decomposição de matéria orgânica e formação do solo; características básicas do funcionamento dos ecossistemas terrestres (FABER 1992; BARDGETT *et al.*, 1998; CASSAGNE *et al.*, 2003; KUMSSA *et al.*, 2004, ZEPPELINI *et al.*, 2008). A decomposição de suas fezes pode alterar a composição física e a estrutura do solo, exercendo, desta forma, um papel importante para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas.

Colêmbolos são bons representantes da diversidade da fauna de solo (CASSAGNE *et al.*, 2003; ZEPPELINI *et al.*, 2008)

Os colêmbolos juntamente com o grupo de ácaros Oribatida são os grupos mais diversificados e abundantes de artrópodes terrestres em ambientes florestais (DEHARVENG, 1996; HOPKIN, 1997, CASSAGNE *et al.*, 2003). Em todo o mundo já foram descritas mais de 8.000 espécies de Collembola, incluídas em mais de 710 gêneros de 33 famílias (BELLINGER *et al.*, 2013)

A diversidade de espécies de Collembola e a densidade das populações são influenciadas por muitos aspectos do solo, como PH, aeração, composição da matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, tipo de húmus, vegetação e estrutura física (OLIVEIRA, 1993; SALOMON *et al.*, 2004; COLE *et al.*, 2005; ZEPPELINI *et al.*, 2008).

A riqueza de espécies endêmicas é particularmente sensível às perturbações ambientais (DEHARVENG, 1996; ZEPPELINI *et al.*, 2008). Essas características enfatizam a importância de Collembola como bioindicadores de qualidade ambiental (HUHTA *et al.*, 1967; HOLE 1981; FABER, 1991; OLIVEIRA 1993; DETSIS *et al.*, 2000; CASSAGNE *et al.*, 2003; ZEPPELINI *et al.*, 2008).

O valor potencial dos colêmbolos como indicadores biológicos da saúde do solo e da qualidade do ecossistema é cada vez mais reconhecido e, portanto, o conhecimento da diversidade de Collembola torna-se útil no desenvolvimento de estratégias de conservação e monitoramento ambiental (STORK e EGGLETON, 1992; ZEPPELINI *et al.*, 2008).

Apesar de sua importância nos ecossistemas, informações sobre a ocorrência e ecologia dos Colêmbolos são insuficientes e esparsas, especialmente na Região Neotropical (MARI MUTT e BELLINGER, 1990; CULIK e ZEPPELINI, 2003; BELLINI e ZEPPELINI, 2009).

O primeiro registro de Collembola do Brasil ocorreu em Fernando de Noronha e foi feito por Ridley (1890) que descreve a *Seira musarum* em seu amplo estudo sobre a fauna do arquipélago.

Atualmente são apenas 312 espécies de Collembola que ocorrem no território brasileiro. É evidente que existe uma grande necessidade e muitas oportunidades para pesquisas adicionais sobre estes organismos ecologicamente importantes. A diversidade de espécies de Collembola no Brasil é em grande parte desconhecida e só através de pesquisa continuada, a diversidade biológica será documentada e teremos uma melhor compreensão da fauna Collembola neotropical e mundial.

Diversidade biológica

Os termos “*diversidade biológica*¹” ou “*biodiversidade*²” aparecem com frequência tanto nos meios de comunicação populares como na literatura científica, mas sua definição muitas vezes é ambígua. (BEGON *et al.*, 2007). Estes termos são utilizados para expressar várias situações ecológicas que dificilmente temos condições claras para definir.

O termo geral refere-se à variação entre os organismos e os sistemas ecológicos em todos os níveis, incluído a variação genética nas populações, as diferenças morfológicas e funcionais entre espécies e a variação na estrutura do bioma e nos processos ecossistêmicos, tanto nos sistemas terrestres quanto aquáticos (RICKLEFS, 2010).

¹ Acredita-se que termo “*diversidade biológica*” tenha sido utilizado primeiramente por Dasmann em seu livro “*A Different Kind of Country*” em 1968. O termo foi popularizado em 1980 por Lovejoy, no prefácio do livro *Conservation Biology* (Soulé e Wilcox 1980) referindo-se ao número de espécie presente em um determinado ambiente (Izsák e Papp, 2000). Desde então o termo tem sido frequentemente empregado por cidadãos, políticos, biólogos e ambientalistas, que atribuem os mais variados significados para a palavra.

² A forma contraída do termo, “*biodiversidade*” apareceu pela primeira vez em uma publicação de Wilson em 1988.

O primeiro passo para medir a biodiversidade de uma área de interesse seria construir um inventário completo incluindo gene, espécies e ecossistemas. Na prática, amostrar uma única espécie de um determinado habitat e chegar a um número exato é praticamente improvável (HUNTER e GIBBS, 2007). Imagine contabilizar todos colêmbolos em um 1 hectare de mata atlântica, levaria anos de esforços em pesquisas e certamente não chegaríamos a um número exato. Se considerarmos todas as variáveis que compõe o termo diversidade, essa tarefa se torna impossível.

Devido à grande abrangência dos termos, os ecólogos normalmente estudam os índices mais simples e gerais da biodiversidade para poder estimá-la (RICKCLEFS, 2010). Dentre eles destacamos os índices de diversidade como Shannon-Wiener, Simpson e Equitabilidade de Pielou, todos com a finalidade de estimar a diversidade observada e os índices de similaridade, como os de Jaccard, Sorensen, Bray Curtis, Morisita Horn para comparar a composição de espécies entre diferentes amostras (MAGURRAM, 2004). Estes índices possibilitam estimar estatisticamente a diversidade a partir da parcela que foi observada pelo pesquisador.

Os índices são empregados em diferentes trabalhos com vários fins, a exemplo de Zeppelini e colaboradores (2008), que analisaram áreas impactadas pela mineração, usando a diversidade de Collembola para avaliar as condições de áreas de reflorestamento. Em outro caso Cutz-Pool e colaboradores (2007) compararam duas comunidades de Collembola com a mesma classificação edáfica, sendo uma irrigada com águas residuais, e a outra irrigada com água potável, para avaliar o efeito dos diferentes tipos de irrigação sobre as comunidades de collembola.

Novas métricas que utilizam conceitos ecológicos tradicionais e visam elucidar a distribuição da diversidade estão sendo desenvolvidas, a exemplo de Lande (1996), Veech (*et al.*, 2002) e Crist (*et al.*, 2003) que propuseram o particionamento aditivo da diversidade; Chao e colaboradores (2005 e 2006) propuseram índices de similaridades baseados na abundância e Jost (2007) propôs o particionamento multiplicativo.

Porém, qualquer critério que se escolha na tentativa de compreender a distribuição de um determinado táxon precisa levar em consideração, que as espécies numa determinada área não estão distribuídas da mesma forma. Algumas

são mais abundantes, outras raras. Algumas têm efeitos importantes sobre a dinâmica populacional na comunidade e outras raramente são notadas (MAGURRAN, 2004, RICKCLEFS, 2010).

Segundo pesquisadores como Veech (*et al*, 2002), Crist (*et al.*, 2003) e Jost (2007), o particionamento da diversidade em componentes é uma forma eficaz de compreender a distribuição das espécies, além de possibilitar a realização de estudos hierárquicos e apontar áreas prioritárias para conservação.

Partição da diversidade

A partição da diversidade biológica em alfa, beta e gama, foi proposta inicialmente por Whittaker (1960) para caracterizar diferentes níveis de diversidade. Em sua proposta, Whittaker considerou que diversidade total em uma região (gama, γ) pode ser dividida entre a diversidade que ocorre dentro da comunidade (alfa, α) e a variação na composição entre comunidades (beta, β) (WILSEY, 2010). A diversidade Beta pode ser vista como uma medida que compara inventários da diversidade entre a diversidade alfa e a gama (BASELGA, 2010). Esta comparação pode ser feita usando a clássica abordagem de partição multiplicativa de Whittaker, onde:

$$\beta = \gamma / \alpha$$

ou

$$\gamma = \alpha \times \beta$$

MacArthur (1966) equiparou a diversidade dentro do habitat com a diversidade alfa proposta por Whittaker e a diversidade entre habitats com a diversidade beta. A proposta de particionamento da diversidade em diferentes componentes foi reforçada por Whittaker (1972) e Allan (1975), que levaram em consideração as colocações de MacArthur.

Posteriormente, Lande (1996) demonstrou outra forma analítica para a partição da diversidade dentro e entre a comunidade. O método proposto estabelece que a diversidade total de uma região (gama) pode ser particionada em componentes aditivos, representando a diversidade local (alfa) e a variação da

diversidade entre as comunidades (beta). Sendo assim, Lande propôs a seguinte equação:

$$\gamma = \alpha + \beta$$

Desde então, o particionamento aditivo da diversidade tem sido uma abordagem promissora para analisar padrões de diversidade em diferentes escalas espaciais, pois identifica as fontes mais importantes de diversidade em um desenho amostral que possui diferentes escalas espaciais (LANDE, 1996; LOREAU, 2000; GODFRAY e LAWTON, 2001; VEECH *et al.*, 2002; CRIST *et al.*, 2003; LEGENDRE *et al.*, 2005; RICOTTA e BURRASCANO, 2008; TERLIZZI *et al.*, 2008; WILSEY, 2010).

Jost (2006) sugeriu que a diversidade pode ser analisada em relação ao grau de influência da abundância relativa das espécies que compõem a comunidade.

Jost (2007) mostrou que diferentes medidas da diversidade (como riqueza e entropia) requerem diferentes particionamentos (aditivo ou multiplicativo) para produzir componentes alfa e beta independentes, e que as partições corretas dependem dos estimadores utilizados. No mesmo trabalho Jost apresenta uma ampla discussão sobre a importância da independência de beta e propõe um modelo geral de particionamento com base na medida ponderada das abundâncias relativas das espécies (q), conforme proposto inicialmente por Hill (1973), e amplamente discutido por Magurran (2004). Veech e Crist (2009) desenvolveram o programa PARTITION V3 capaz de particionar a diversidade observada e estimar o componente beta através de diferentes técnicas de randomização (que podem levar em conta os indivíduos ou as amostras aleatoriamente), ponderando a abundância relativa das amostras, dando diferentes pesos para as espécies raras ou dominantes, alterando apenas o parâmetro q das equações, que podem ser calculadas atribuindo os seguintes pesos para as amostras:

- $q = 0$ indica que o estimador da diversidade é a riqueza de espécies (maior peso para as espécies raras).
- $q = 1$ indica que o estimador da diversidade é o índice de Shannon-Weaver (equilibra as contribuições das espécies raras e abundantes).

- $q = 2$ o estimador é o índice de Simpson. (maior peso para espécies dominantes)

Para o cálculo da “*diversidade α* ” Veech e Crist (2009) propulseram a seguinte equação:

$${}^q D_{\alpha} = [\sum_{j=1}^N \sum p_i^q w_j]^{1/(1-q)}$$

Onde:

N = Número de amostras

j = amostra

p_i = abundância proporcional das espécies

i = cada uma das espécies da amostra

w_j = peso da amostra

Para o cálculo da “*diversidade γ* ”:

$${}^q D_{\gamma} = [\sum_{i=1}^S \sum p_{ij} w_j^q]^{1/(1-q)}$$

E para o cálculo da “*diversidade β* ”:

$${}^q D_{\gamma} / {}^q D_{\alpha}$$

Jost e colaboradores (2010) propulseram o uso da partição multiplicativa (com ponderação de q) para estudos de conservação da diversidade como uma abordagem vantajosa para identificar áreas prioritárias para conservação. Esta abordagem tem sido uma ferramenta importante para estudos voltados à conservação, pois assegura a independência entre componentes da diversidade

(WILSON e SHMIDA, 1984; CHAO *et.al.*, 2005, CHAO *et.al.*, 2006; JOST, 2007, BASELGA *et.al.*, 2007, JOST, 2008; BASELGA 2010, JOST 2010).

Compreender padrões de distribuição da diversidade é um dos objetivos fundamentais da Ecologia (STIREMAN, 2008). Estes padrões estão relacionados a fatores ambientais (CRIST *et al.*, 2003) e a interações inter e intra específicas (HARMS *et.al.*, 2000), que podem influenciar tanto a riqueza de uma determinada área como a distribuição espacial dos indivíduos (STIREMAN, 2008).

Diante exposto, o presente trabalho utilizou os conceitos tradicionais de Whittaker (1960) e Lande (1996) (particionamento aditivo e multiplicativo), e a moderna abordagem de Jost (2007) com $q = 1$ conforme proposto por Veech e Crist (2009).

2. OBJETIVOS (GERAL E ESPECÍFICOS)

O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial das comunidades de Collembola das duas maiores ilhas oceânicas do arquipélago Fernando de Noronha, estudando a partição dos componentes alfa, beta e gama na estruturação das comunidades desses animais. Para alcançar este objetivo analisamos:

- Em quais escalas espaciais há maior variação da abundância e riqueza de espécies de Collembola.
- Se os três habitats estudados apresentam comunidades distintas de Collembola.
- Se existe heterogeneidade ambiental entre as regiões estudadas.
- Os efeitos da heterogeneidade ambiental sobre as comunidades de Collembola.
- A existência de espécies novas de Collembola.

3. PERGUNTA E HIPÓTESE

Pretendemos responder com este trabalho quais são os padrões da distribuição da diversidade de Collembola de solo no arquipélago, testando a hipótese de que as faixas do gradiente ambiental costeiro (cordão arenoso, encostas

inclinadas e planícies florestais) em Fernando de Noronha definem diferentes habitats e o padrão de distribuição da diversidade de Collembola responde a esse gradiente de disponibilidade de habitat.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - O ARQUIPÉLAGO FERNANDO DE NORONHA

O Arquipélago Fernando de Noronha (Figura 1), Atol das Rocas, Ilha da Trindade, Arquipélago Martin Vaz e o Arquipélago de São Pedro e São Paulo são as ilhas oceânicas brasileiras (SOARES 1944, BATISTELLA 1993, FREITAS e VASCONCELOS, 2007).

O Arquipélago Fernando de Noronha ($03^{\circ}50'24''S$ e $32^{\circ}25'48''W$), que pertence ao Estado de Pernambuco é um pequeno arquipélago vulcânico situado no Atlântico Sul equatorial, localizado a 345 km do Cabo de São Roque no Rio Grande do Norte, seu ponto mais próximo da costa. Sua menor distância da costa africana (Libéria) é de aproximadamente 2600 Km (ALMEIDA, 1958; BATISTELLA, 2006; SERAFINI *et.al.*, 2010).

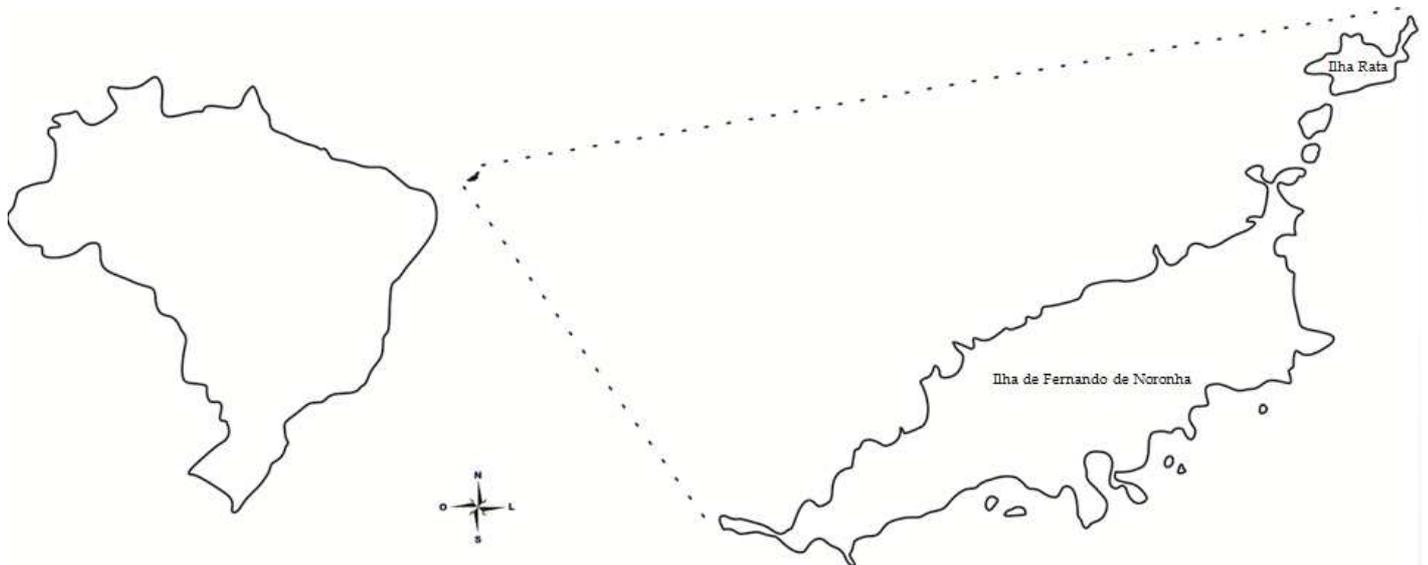


Figura 1 – Mapa de Fernando de Noronha evidenciando as duas maiores Ilhas do Arquipélago. A Ilha de Fernando de Noronha e a Ilha Rata

Compreende um total de 21 ilhas e ilhotas, sendo as principais a de Fernando de Noronha e Rata com total aproximado de 1926 ha de extensão. O arquipélago é o que restou do topo emerso de um edifício vulcânico localizado a cerca de 4000 m

de profundidade, parte de uma ramificação da Dorsal Médio Atlântica em direção à Costa Brasileira (ALMEIDA, 1958)



Figura 2 – Foto do arquipélago Fernando de Noronha tirada a partir da Ilha Rata mostrando algumas Ilhas secundárias e ao fundo a Ilha Principal.

Dos conjuntos insulares brasileiros, Fernando de Noronha destaca-se pela longa história de ocupação humana, responsável pela degradação ecológica e relativa alteração dos ecossistemas primitivos (BATISTELLA, 1993; MARQUES *et al.*, 2007) e por consequência a perda da diversidade.

O primeiro trabalho que apresenta um inventário sobre a fauna do arquipélago foi o de Ridley (1890), neste trabalho o autor registra novas espécies da fauna e flora de Fernando de Noronha e também relata uma grande quantidade de espécies invasoras.

Além do estudo de Ridley (1890), são poucos os trabalhos sobre a diversidade de invertebrados em Fernando de Noronha. Existem trabalhos publicados com alguns grupos específicos, tais como ácaros (GALVÃO e GUITTON,

1986), *Drosophila* (VILELA e DESSEN, 1985), gafanhoto - *Orphulella punctata* (BALBINO, 1997), além de dois trabalhos sobre a introdução de abelhas *Apis mellifera* (DEJONG e SOARES, 1997; GUERRA *et al.*, 2000) e Collembola (PALACIOS-VARGAS *et al.*, 2013) que faz parte do presente trabalho (capítulo 3). Segundo o Plano de Manejo de Fernando de Noronha (BRASIL, 2011) “*é de suma importância a realização de inventários e levantamentos faunísticos de invertebrados terrestres no arquipélago e de investigações sobre a origem dos animais encontrados, classificando as espécies como nativas, endêmicas, raras ou invasoras*”. Sendo assim, fica evidente a relevância de estudos sobre a fauna de invertebrados terrestres do arquipélago.

O presente trabalho apresenta uma grande quantidade de informações sobre a fauna de Collembola de solo do arquipélago Fernando de Noronha. As informações levantadas neste estudo revelam o padrão de distribuição da diversidade destes artrópodes no arquipélago (capítulos 2 e 3).

CAPÍTULO 2 – Manuscrito que será submetido à revista *Diversity and Distributions*

PARTIÇÃO DA DIVERSIDADE DE COLLEMBOLA (ARTHROPODA, HEXAPODA)
EM ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS

ESTEVAM C. ARAUJO DE LIMA¹
DOUGLAS ZEPPELINI¹

¹ Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação. Depto. Biologia, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas. Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba Campus V, João Pessoa, PB (Brasil)

Resumo

Objetivo: Avaliar a distribuição espacial da diversidade para determinar as escalas apropriadas para conservação em ilhas oceânicas, estudando a partição dos componentes alfa, beta e gama na estruturação das comunidades de Collembola. Investigamos: (1) em quais escalas espaciais há maior variação da abundância e riqueza de espécies, (2) se os dois habitats estudados apresentam comunidades distintas de Collembola, (3) se existe heterogeneidade ambiental entre as regiões estudadas e (4) os efeitos da heterogeneidade ambiental sobre as comunidades de Collembola.

Local: Em duas ilhas oceânicas do Arquipélago Fernando de Noronha, Pernambuco, Brasil.

Métodos: A diversidade de Collembola foi particionada em 4 hierarquias, “amostra” (diversidade local - α e entre amostras β_1), “pontos” (β_2), “regiões” (β_3) e “todas as regiões” (γ) e correlacionada com as variáveis ambientais.

Resultados: As informações levantadas neste estudo revelam o padrão de distribuição da diversidade de Collembola no arquipélago, demonstram que variáveis como umidade e o diâmetro do caule das árvores influenciaram a diversidade de Collembola e as diferentes faixas do gradiente ambiental costeiro (ou “regiões”) em Fernando de Noronha definem diferentes habitats e o padrão de distribuição da diversidade de Collembola responde a esse gradiente de disponibilidade de habitat.

Conclusões: As escalas espaciais usadas neste trabalho devem ser levadas em consideração para um adequado plano de conservação de Fernando de Noronha.

Palavras-chaves: conservação biogeográfica, ilhas oceânicas, Collembola.

INTRODUÇÃO

A manutenção dos recursos naturais em longo prazo requer a proteção das áreas naturais por meio de Unidades de Conservação. Entretanto, as escalas espaciais apropriadas para determinar áreas prioritárias para conservação podem estar sendo negligenciadas nos planos de conservação brasileiros.

Os padrões de distribuição da diversidade de espécies sofrem mudanças ao longo das diferentes escalas espaciais (CRIST *et al.*, 2003, JOST, 2007). Estes padrões de distribuição são importantes para detectar a variação espacial das assembleias biológicas, que devem ser levadas em consideração para um plano adequado de conservação biogeográfica. (PAKNIA e PFEIFFER, 2011). Conservar a biodiversidade a partir do reconhecimento dos padrões de distribuição das espécies tem sido o objetivo dos estudos biogeográficos voltados à conservação ambiental (WHITTAKER, *et al.*, 2005).

A ênfase das estratégias de conservação recentemente tem mudado de escala, da conservação de espécies únicas dentro de um habitat para a conservação de comunidades inteiras dentro de paisagens, ecorregiões ou biomas (DEVICTOR e ROBERT, 2009).

Em ambiente insulares os critérios adotados para manutenção dos recursos naturais devem ser poderados, levando em consideração a vulnerabilidade das espécies, que é maior em relação às dos continentes devido ao isolamento geográfico e espaço restrito das ilhas oceânicas (WALTER, 2004), principalmente para a fauna terrestre.

Estudos recentes encontraram escalas apropriadas para conservação, utilizando o particionamento da mesofauna terrestre (PAKNIA e PFEIFFER, 2011; RODGERS e KITCHING, 2011) e estão contribuindo cada vez mais para elucidar as estratégias para conservação das respectivas áreas de estudo.

A mesofauna terrestre tem sido útil para avaliar a qualidade ambiental em diferentes escalas espaciais, uma vez que são sensíveis as perturbações humanas (RUSEK 1998; KUMSSA *et al.*, 2004; ZEPPELINI *et al.*, 2008). Collembola são representantes abundantes da fauna do solo (CASSAGNE *et al.*, 2003) e desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes, decomposição de matéria orgânica e formação do solo (HOPKIN, 1997), características básicas do

funcionamento dos ecossistemas terrestres (FABER 1992; BARDGETT *et al.*, 1998; CASSAGNE *et al.*, 2003; KUMSSA *et al.*, 2004, ZEPPELINI *et al.*, 2008).

O presente estudo analisou a distribuição espacial das comunidades de Collembola através do particionamento da diversidade, usando os conceitos tradicionais de Whittaker (1960) e Lande (1996) (particionamento aditivo e multiplicativo), e a moderna abordagem de Jost (2007) para identificar qual a escala apropriada para conservação ambiental de Ilhas oceânicas.

MATERIAL E MÉTODO

Caracterização da área de estudo

O arquipélago Fernando de Noronha está localizado a 3°50'24"S32°24'48"O (Figura 1), possui 21 ilhas e ilhotas, em um total aproximado de 1926ha de extensão. Embora atualmente seja internacionalmente reconhecido como uma Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e protegido por duas Unidades de Conservação distintas (Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha e o Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha) o arquipélago é o único ambiente insular oceânico brasileiro constantemente habitado há mais de quatro séculos (BATISTELLA, 1996).

O arquipélago Fernando de Noronha é o que restou do topo emerso de um edifício vulcânico localizado a cerca de 4000 m de profundidade no oceano Atlântico, seu ponto mais próximo do continente está localizado a de cerca 345 Km do Cabo de São Roque no Rio Grande do Norte, Brasil (ALMEIDA 1958, BATISTELLA, 1996).

Fernando de Noronha possui clima tropical quente oceânico, de estações bem definidas. A pluviometria média anual é de 1.300 mm, com maiores índices entre março e maio e estiagem entre agosto e janeiro. A temperatura média é de 25,4°C. Os ventos constantes têm direção predominante SE, velocidade média 6,6m/seg., com maiores intensidades entre julho e agosto. A umidade relativa tem média anual de 81% (BRASIL, 2008).

Desenho amostral

As coletas ocorreram nas duas maiores ilhas do Arquipélago (Ilha Fernando de Noronha e Ilha Rata), entre 15 de julho e 15 de agosto de 2012. Este período do ano marca o início do período de estiagem na região. Todos os pontos foram amostrados no período da manhã, com temperatura média de 28°C, em dias ensolarados, sem chuva.

Neste estudo foram definidas duas faixas do gradiente ambiental costeiro (figura 1). A faixa mais próxima da zona intertidal, com terreno inclinado, denominado *Região de Encosta* (E) e a faixa caracterizada pela planície florestal mais distante da praia, denominado *Região de Floresta* (F).

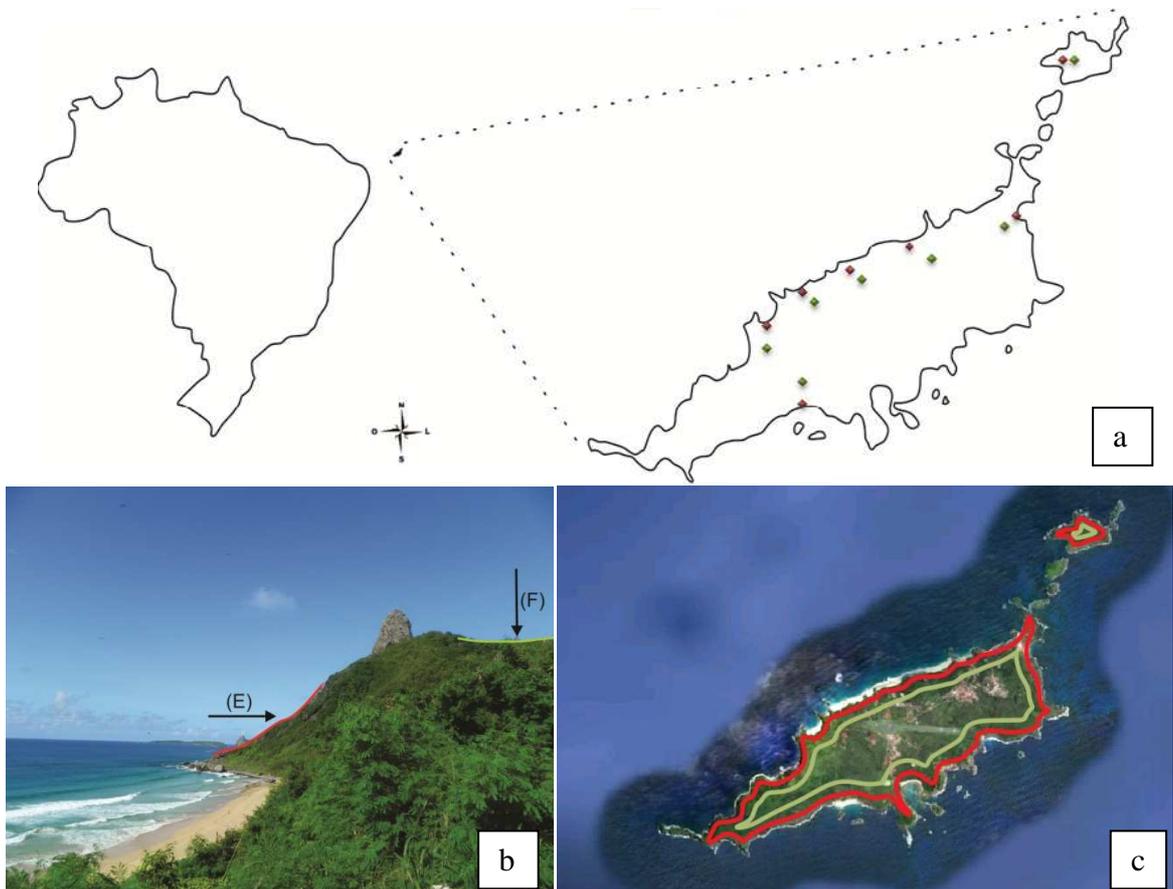


Figura 1 – a) Mapa do Brasil e mapa de Fernando de Noronha ampliado evidenciando os 14 pontos de coleta; b) Perfil das faixas do ambiente do gradiente ambiental costeiro selecionadas no estudo; c) Foto do satélite (Google Earth) evidenciando as faixas do gradiente ambiental costeiro.

Em cada *região* (E e F) foram distribuídos 7 *pontos*. Deste total de 14 pontos, 12 foram distribuídos na Ilha Principal e dois na Ilha Rata. Em de cada região (E e F) os respectivos pontos foram distribuídos em distâncias superiores a 1 quilômetro.

A distância entre os pontos das diferentes regiões (E e F) foi de aproximadamente 400 metros.

Em cada ponto foram coletadas 4 amostras distando 12,5 metros uma da outra (figura 2).

E1 - Encosta da Conceição - 03°50'33.33"S, 32°25'13.1"O

E2 - Encosta do Boldró - 03°51'20.5"S, 32°26'39.4"O

E3 - Encosta da Cacimba - 03°50'59.4"S, 32°26'16.2"O

E4 - Encosta do Sacho - 03°51'20.5"S, 32°26'39.4"O

E5 - Encosta do Leão - 03°52'10"S, 32°26'06.9"O

E6 - Encosta da Caieiras - 03°50'18"S, 32°24'00.7"O

E7 - Encosta da Ilha Rata - 03°48'45.7"S, 32°23'26.6"O

F1 - Floresta da Conceição - 03°50'52.6"S, 32°25'12"O

F2 - Floresta do Boldró - 03°51'51.1"S, 32°25'45.7"O

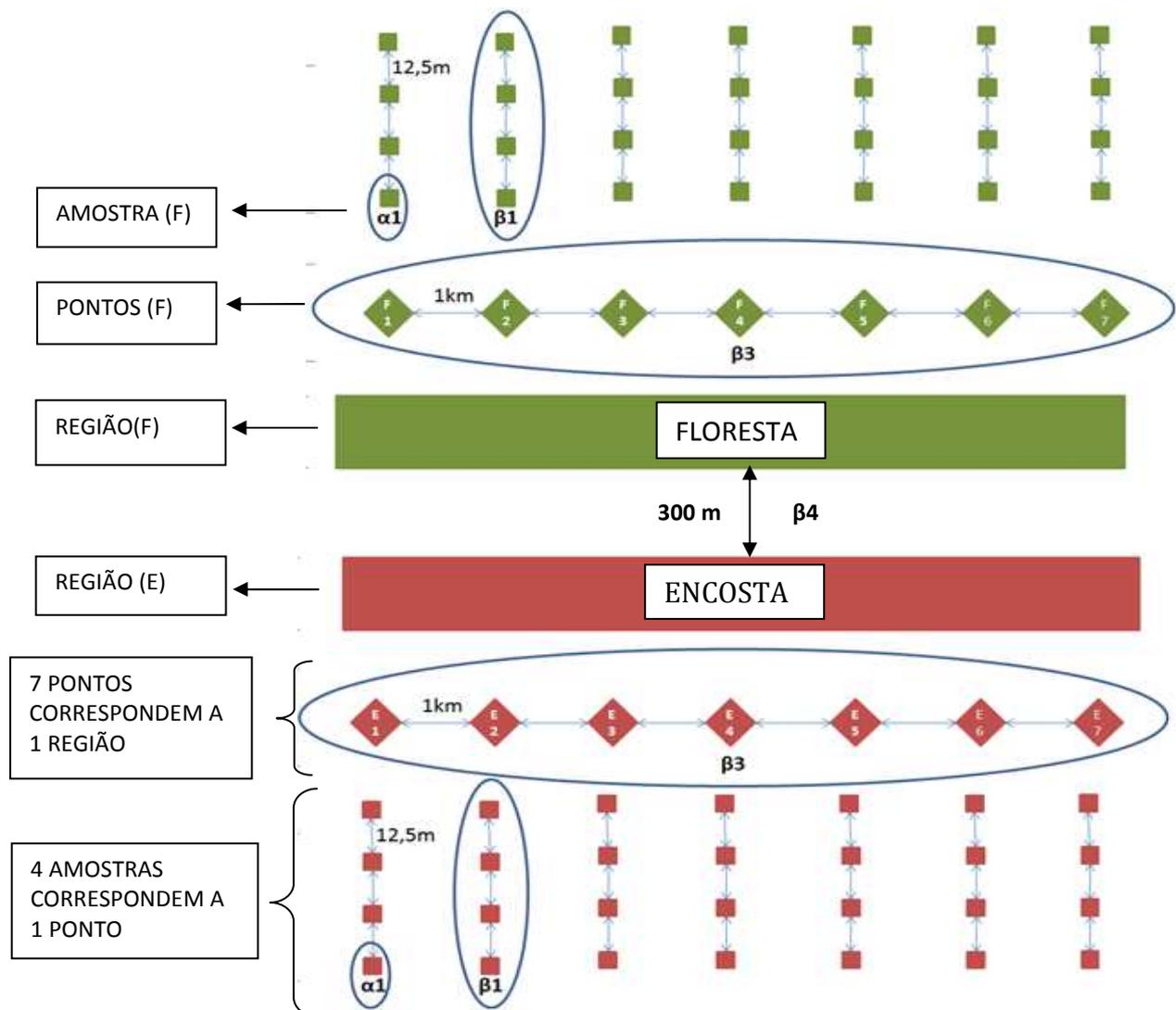
F3 - Floresta da Cacimba - 03°51'07.3"S, 32°26'03.1"O

F4 - Floresta do Sancho - 03°51'16.7"S, 32°26'30"O

F5 - Floresta do Leão - 03°52'11"S, 32°25'58"O

F6 - Floresta da Caieiras - 03°50'22.2"S, 32°24'18.2"O

F7 - Floresta da Ilha Rata - 03°48'46"S, 32°23'11"O



Figuras 2 – Coordenadas geográficas e esquematização gráfica do desenho amostral, componentes da diversidade (α_1 , β_1 , β_2 e β_3) e distâncias da amostragem.

Cada amostra foi constituída por uma porção do solo superficial, onde foi retirado aproximadamente 1 dm³ (10 cm x 10 cm x 10 cm) de solo (terra e serrapilheira) e uma porção exclusiva de solo com 200 gramas.

A porção de 1 dm³ de solo foi utilizada para extração dos colêmbolos e a porção de 200 gramas foi utilizada para analisar as características do físico-química do solo.

Collembola

Os colêmbolos foram capturados através do processamento da porção de solo e serrapilheira de 1 dm³ através do Funil de Berlese-Tullgren. Com auxílio de estereomicroscópio os colêmbolos capturados foram triados, separados por morfo-espécie, contados, diafanizados (em KOH a 5% e lactofenol), fixados em lâminas semi-permanentes em líquido de Hoyer e posteriormente submetidos à identificação taxonômica até o nível de espécie.

Dados ambientais

Solo

As 4 porções de 200g de solo de cada ponto foram homogeneizadas e divididas em dois grupos de análises (Fertilidade e Umidade). Do total aproximado, 800 gramas de terra, 500g foram utilizadas para medir a fertilidade do solo e 300g a umidade.

Fertilidade do Solo

Na análise de fertilidade de solo foram determinados os valores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), fósforo (P), pH, Soma de bases trocáveis (SB); Capacidade de trocas catiônicas (CTC), Saturação da CTC por bases (V); Saturação por Alumínio(m), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO) para cada ponto. Todas estas determinações foram feitas

utilizando o “Manual de métodos de análise de solo” (EMBRAPA, 1997) respeitando as seguintes metodologias:

- Ca e Mg - espectrofotômetro de absorção atômica extraído com acetato de amônio;
- K - espectrofotômetro de emissão atômica extraído com acetato de amônio;
- (H+Al) - titulometria extraída com acetato de cálcio;
- Al - titulometria extraído com cloreto de potássio,
- P - colorimetria extraído com mehlich 1.
- pH - em água e em KCl.

A determinação dos valores referentes ao CO foi feita por titulação através dos Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas (Boletim técnico 106, IAC, 2009).

Os valores da SB, CTC, V, m% e MO foram obtidos através dos seguintes cálculos:

- $SB = Ca^2 + Mg^2 + K + Na$.
- $CTC = S + Al^3$
- $V = (m \%) - 100$
- $m \% = (100 \times Al^3) / t = (100 \times Al^3) / Ca^2 + Mg^2 + K^1 + Na^1 + Al^3$
- $MO = CO \times 1,725$

Umidade do solo

As porções de 300g terra foram pesadas em balança de precisão para determinar o valor exato do Peso Úmido (PU). Após esta pesagem, as 14 porções de terra foram acondicionadas em uma estufa a temperatura de 50°C por um período de 15 dias. Após este período as amostras foram submetidas a uma nova pesagem para determinar o Peso Seco (PS).

Para determinar a umidade (U) de cada ponto foi utilizada a seguinte equação:

$$U = [(PU - PS) / PS] \times 100$$

Vegetação

Em campo foram coletados os seguintes dados:

- Número de árvores (NV) - Foram contabilizadas todas árvores ou arbustos com altura superior a 1,5m em um raio de 2,5m de cada amostra;
- Diâmetro dos caules (DC) – Foram medidas todas as árvores ou arbustos com altura superior a 1,5m a 30cm do solo em um raio de 2,5m de cada amostra;
- Altura da Serapilheira (AS) – Em todas as amostras foi verificada a altura da serrapilheira com o auxílio de uma régua.

Todos os pontos tiveram quatro medições (quatro amostras por ponto = quatro medições), onde foram extraídas as respectivas médias para utilização nas análises estatísticas.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Índices de diversidade

Os componentes da diversidade de Collembola foram estimados através dos índices de Shannon (H') e Simpson (D), de equitabilidade de Pielou's (J') e para a construção da curva de acumulação de espécies foi usada a estimativa teórica de Jackknife para 56 amostras, utilizado o Primer 6 (versão 6.1.13) e Permanova+ (versão 1.0.3) (Anderson et al., 2008).

A análise de similaridade da composição das assembléias de Collembola entre as duas regiões (E e F) foi feita através do software SPADE (Chao e Shen, 2009), onde foram observados os índices baseados na incidência de espécies (Jaccard, Sorensen e Lennon et. al, 2001) e na abundância (Morisita-Horn, Morisita e Bray Curtis) conforme metodologia proposta por Chao e colaboradores (2005 e 2006). As informações obtidas através dos índices e do particionamento da diversidade foram usadas neste trabalho para determinar em quais escalas

espaciais há uma maior variação da abundância e riqueza de espécies de Collembola.

Partição da diversidade

A riqueza de espécies pode ser particionada em escalas hierárquicas (CRIST *et al.*, 2003). O programa de computação *PARTITION*, possibilita testar a significância de cada componente da diversidade através de um modelo nulo. Este modelo é baseado na aleatorização dos indivíduos entre as amostras. Em linhas gerais, este modelo consiste em:

- Calcular os componentes da diversidade observados na amostra;
- Aleatorizar os indivíduos entre as unidades amostrais, preservando a abundância total das espécies e o tamanho das amostras;
- Realizar novamente o cálculo com diferentes componentes da diversidade aleatorizados.
- Repetir os cálculos (mantendo o tamanho das amostras originais e os diferentes valores obtidos através da aleatorização) por até 100.000 vezes.
- Estimar a proporção dos valores da diversidade aleatorizada maiores que os valores correspondentes observados na amostra original.

Neste trabalho o *PARTITION 3.0* foi usado levando em consideração um desenho amostral de 4 níveis (α_1 , β_1 , β_2 , β_3) hierárquicos, sendo o nível 1 (α_1) o menor nível de análise (figura 2).

Como as amostras foram distribuídas de forma balanceada (entre as Regiões E e F) utilizamos o método de aleatorização individual.

Resumidamente este método atribui a cada nível de amostra individual um determinado valor (j) e para qualquer outra amostra dentro do mesmo nível $j+1$ (CRIST *et al.*, 2003; VEECH E CRIST, 2009).

Usamos a opção de ponderação de amostras pelos números relativos de indivíduos em cada amostra, consideramos assim o peso individual de cada amostra, ou seja, o peso de cada amostra é o número total de indivíduos (de todas

as espécies) que ela possui com a proporção do número total de indivíduos de todo o conjunto de dados, portanto amostras maiores resultam em um maior peso na determinação de alfa e beta diversidade (VEECH E CRIST, 2009).

Além disso, quando a ponderação da amostra é usada, o PARTITION 3.0 calcula riqueza aditiva, riqueza multiplicativa, e métrica q-diversidade, onde $q = 1,001$ (ou q-Shannon). Estes são os únicos indicadores que sempre preservam a concavidade, uma propriedade necessária em que $\text{gama} > \text{alfa}$ (JOST, 2007). Usamos o particionamento em modo multiplicativo e a riqueza de Shannon (q-Shannon), que são apropriados para estudos de conservação (JOST *et al.*, 2010) e o particionamento aditivo que é o método utilizado para estudos hierárquicos (CRIST *et al.*, 2003; JOST, 2006; JOST *et al.*, 2010). A significância (valores de p) foi mensurada a partir de 10.000 aleatorizações.

Dados ambientais

Foi construída uma matriz de similaridade (Distância Euclidiana) usando o fator Região (E e F) para construir um Cluster através do Primer 6 + Permanova. Foi observada a significância estatística com Análise de Similaridades (ANOSIM).

Dados ambientais x Composição das comunidades de Collembola

Foi feita uma Análise Canônica de Coordenadas Principais–CAP (ANDERSON e WILLIS, 2003), correlacionando os dados ambientais do solo (PH, capacidade de troca de cátions, umidade, matéria orgânica, altura da serrapilheira) e vegetação (diâmetro do caule e número de árvores) com a diversidade de collembola.

RESULTADOS

Diversidade de Collembola

Foram coletados 20.308 colêmbolos representantes das quatro ordens existentes (Entomobryomorpha Börner, 1913; Poduromorpha Börner, 1913; Symphypleona, 1901 e Neelipleona Massoud, 1971), distribuídos em 11 famílias, 30

gêneros e 38 espécies (tabela 1). Deste total, 17.380 indivíduos foram encontrados na região de encosta e 2.928 na região de floresta. As duas regiões estudadas compartilham 23 espécies, sendo que 7 espécies são exclusivas da região de encosta e 8 da floresta (tabela 2).

A região de encosta apresentou maior abundância ($N = 17.380$), menor riqueza ($S = 30$) e equitabilidade ($0,294 < J' < 6,36$). A região de floresta apresentou menor abundância ($N = 2.928$), maior riqueza ($S = 31$) equitabilidade ($0,6266 < J' < 0,8409$) (tabela 3). As duas regiões apresentaram baixa similaridade entre si (Morisita-Horn = 0,0133; Jaccard = 0,0304 e Sorensen = 0,0273).

Quando analisamos a diversidade gama através do particionamento da diversidade observamos que a maior variação ocorreu entre os pontos (β_2 : RA = 19.31, RM = 2.78 e Q.SHAN = 1.33) (tabela 4).

A curva de acumulação de espécies (figura 3) indica que a riqueza esperada (Jackknife com 999 permutações) é de 46,571 espécies.

TABELA 1 – Espécies de Collembola coletados nas regiões de encosta (E) e floresta (F) do arquipélago Fernando de Noronha. Abundância individual (ABD. IND) e relativa (ABD. REL.) das espécies considerando os 14 pontos estudados. Número total de indivíduos por amostra.

TAXOCENOSE	AMOSTRAS														ABD. REL
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	
Ordem - Entomobryomorpha Börner, 1913															
Família - Entomobryidae Schäffer, 1896															
Subfamília - Lepidocyrtinae Wahlgren E, 1906															
<i>Cinctocyrtus sp1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,005%
<i>Setogaster sp1</i>	77	12	40	69	55	528	56	23	22	42	224	11	56	28	6,121%
<i>Lepidocyrtus sp1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,005%
<i>Pseudosinella sp1</i>	0	0	4	0	0	0	0	13	1	25	53	2	0	0	0,483%
<i>Pseudosinella sp2</i>	2	2	15	0	35	0	0	0	2	0	0	35	3	0	0,463%
<i>Lanocyrtus sp3</i>	0	0	0	0	23	0	2	0	0	0	0	0	54	0	0,389%
Subfamília Entomobryinae Schäffer, 1896															
<i>Entomobrya sp1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,005%
<i>Mesentotoma sp1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0,015%
Subfamília Seirinae Yosii R, 1961															
<i>Seira sp1</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0,015%
Família - Isotomidae Schäffer, 1896															
Subfamília Anurophorinae Börner C, 1901															
<i>Cryptopygus sp1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	5	0,039%
<i>Cryptopygus sp2</i>	0	0	0	3	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,030%
<i>Hemisotoma thermophylus</i>	130	0	0	8	32	48	3	28	0	30	51	0	20	18	1,812%
<i>Isotomiella sp1</i>	0	0	0	0	12	0	0	5	3	0	25	0	1	0	0,227%
<i>Isotomodes sp1</i>	0	10	14	54	0	0	4	27	28	3	49	0	1	0	0,936%
Subfamília Isotominae Schäffer, 1896															
<i>Desoria sp1</i>	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,098%
Subfamília Proisotominae Stach, 1947															
<i>Folsomides sp1</i>	0	4	2	0	0	0	4	11	0	0	0	0	0	0	0,103%
<i>Folsomina sp1</i>	0	0	20	37	2	0	0	0	0	26	3	5	0	0	0,458%
<i>Proisotoma sp1</i>	18	17	5	1	21	0	6	12	0	46	6	0	2	21	0,763%
<i>Proisotoma sp2</i>	0	4	0	9	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0,094%
<i>Proisotoma sp3</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	6	0	7	0	0	0,074%
<i>Proisotoma sp4</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	0	0	0	0,054%
Família Paronellidae Börner, 1913															
Subfamília Cyphoderinae Börner, 1913															
<i>Cyphoderus agnotus</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,015%
<i>Cyphoderus inominatus</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	109	12	0	0,616%
<i>Cyphoderus javanus</i>	7	0	0	14	2	0	20	0	0	0	17	0	3	0	0,310%
<i>Cyphoderus sp1</i>	0	1	2	0	0	0	0	0	6	0	4	0	5	0	0,089%

Subfamilia Paronellinae Börner, 1913															
<i>Lepidonella sp1</i>	0	5	3	0	4	0	0	0	5	0	0	0	1	0	0,089%
															13,305%
Ordem - Poduromopha Börner, 1913															
Familia Brachystomellidae Stach, 1949															
<i>Brachystomella sp1</i>	8	0	11	33	17	1	0	257	30	43	43	9	0	4	2,245%
Familia Hypogastruridae Börner, 1906															
<i>Acherontiella sp1</i>	9	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,074%
<i>Xenylla sp1</i>	12624	321	9	15	33	2669	3	3	116	0	0	417	39	0	80,013%
Familia Neanuridae Börner, 1901															
Subfamilia Pseudachorutinae Börner, 1906															
<i>Arlesia sp1</i>	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,049%
Subfamilia Frieseinae Massoud, 1967															
<i>Friesea cubensis</i>	0	6	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0,108%
															82,490%
Ordem - Symphypleona, 1901															
Familia Dicyrtomidae Börner, 1906,															
Subfamilia Dicyrtominae Richards, 1968															
<i>Calvatomina sp1</i>	0	0	0	2	0	0	0	5	5	0	4	0	0	0	0,079%
Subfamilia Ptenothricinae Richards, 1968															
<i>Ptenotrix sp1</i>	0	1	0	0	0	0	0	8	13	0	0	0	0	0	0,108%
Familia Collophoridae Bretfeld G, 1999															
<i>Collophora brasilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0,010%
Familia Bourletiellidae Börner, 1912															
<i>Prorastriopes sp1</i>	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,020%
															0,000%
Familia Sminthurididae Börner, 1906															
<i>Sminthurides sp1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0,020%
<i>Sphaeridae sp1</i>	3	0	3	3	3	24	2	225	50	7	3	0	1	3	1,610%
															1,847%
Neelipleona Massoud, 1971															
Familia Neelidae Folsom JW, 1896															
<i>Megalothorax minimus</i>	35	2	16	0	8	0	2	338	3	20	55	0	0	0	2,359%
															2,359%
NÚMERO TOTAL DE INDIVIDUOS COLETADOS				20.308											

Tabela 2 – Número de indivíduos por região (encosta e floresta) e região de ocorrência das espécies de Collembola do Arquipélago Fernando de Noronha.

	NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR REGIÃO		REGIÃO DE OCORRÊNCIA
	ENCOSTA (E)	FLORESTA (F)	
<i>Acherontiella sp1</i>	15	0	E
<i>Arlesia sp1</i>	10	0	E
<i>Brachystomella sp1</i>	70	386	E, F
<i>Calvatomina sp1</i>	2	14	E, F
<i>Cinctocyrtus sp1</i>	0	1	F
<i>Collophora</i>	0	2	F
<i>Cryptopygus sp1</i>	0	8	F
<i>Cryptopygus sp2</i>	5	1	E, F
<i>Cyphoderus agnotus</i>	3	0	E
<i>Cyphoderus inominatus</i>	3	122	E, F
<i>Cyphoderus javanus</i>	43	20	E, F
<i>Cyphoderus sp1</i>	3	15	E, F
<i>Desoria sp1</i>	20	0	E
<i>Entomobrya sp1</i>	0	1	F
<i>Folsomides sp1</i>	10	11	E, F
<i>Folsomina sp1</i>	59	34	E, F
<i>Friesea cubensis</i>	22	0	E
<i>Hemisotoma thermophylus</i>	221	147	E, F
<i>Isotomiella sp1</i>	12	34	E, F
<i>Isotomodes sp1</i>	82	108	E, F
<i>Lanocyrtus sp3</i>	25	54	E, F
<i>Lepidocyrtus sp1</i>	0	1	F
<i>Lepidonella sp1</i>	12	6	E, F
<i>Megalothorax minimus</i>	63	416	E, F
<i>Mesentotoma sp1</i>	0	3	F
<i>Proisotoma sp1</i>	68	87	E, F
<i>Proisotoma sp2</i>	15	4	E, F
<i>Proisotoma sp3</i>	2	13	E, F
<i>Proisotoma sp4</i>	0	11	F
<i>Prorastriopes sp1</i>	4	0	E
<i>Pseudosinella sp1</i>	4	94	E, F
<i>Pseudosinella sp2</i>	54	40	E, F
<i>Ptenotrix sp1</i>	1	21	E, F
<i>Seira sp1</i>	3	0	E
<i>Setogaster sp1</i>	837	406	E, F
<i>Sminthurides sp1</i>	0	4	F
<i>Sphaeridae sp1</i>	38	289	E, F
<i>Xenylla sp1</i>	15674	575	E, F
	17380	2928	

Tabela 3 – Índices de diversidade por ponto – Riqueza de espécie(S), Número de indivíduos (N), Equitabilidade de Pielou's (J'), diversidade de Shannon e Simpson de todos os pontos das Regiões E e F.

	(S)	(N)	Pielou's (J')	Shannon H'(loge)	Simpson 1-Lambda'
E1	11	12933	6,36E-02	0,1525	4,71E-02
E2	12	385	0,3195	0,794	0,3013
E3	16	154	0,8505	2,358	0,8796
E4	13	249	0,7756	1,989	0,8304
E5	16	260	0,8434	2,338	0,8855
E6	7	3275	0,294	0,572	0,3097
E7	13	124	0,7195	1,845	0,7519
F1	14	959	0,6266	1,654	0,7469
F2	15	289	0,7073	1,915	0,7822
F3	15	258	0,8231	2,229	0,8765
F4	16	549	0,7142	1,98	0,7892
F5	9	596	0,4488	0,9862	0,4736
F6	13	198	0,7042	1,806	0,7957
F7	6	79	0,8409	1,507	0,7533

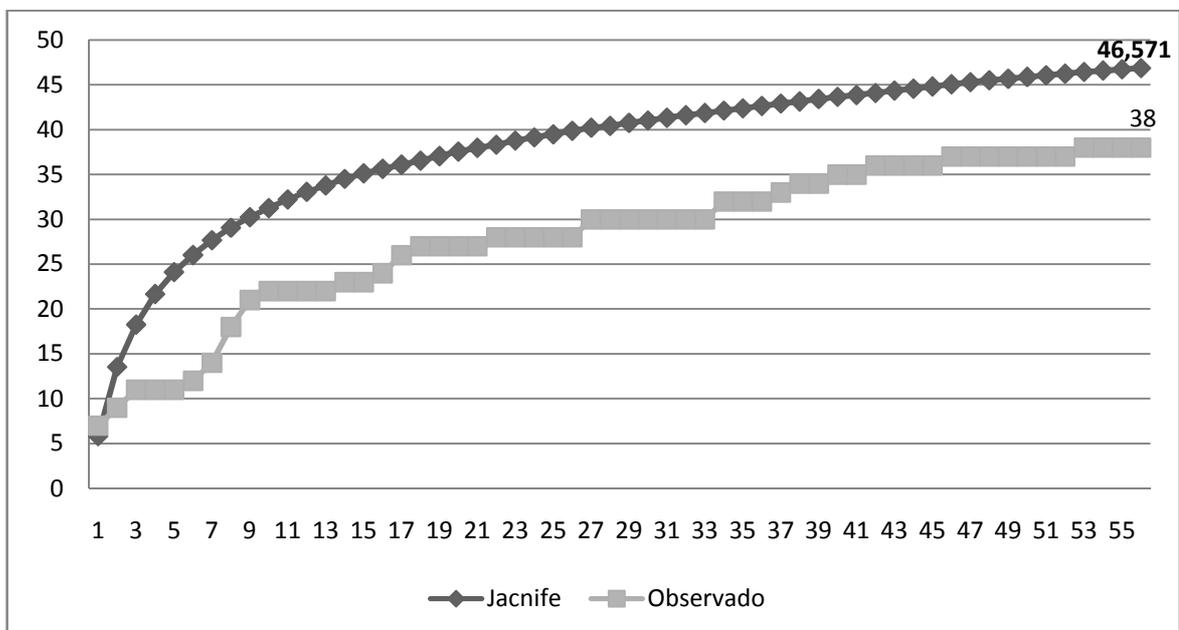


Figura 3 – Curva de acumulação de espécies com o número de espécies observadas e a estimativa teórica de Jackknife para 56 amostras com 999 randomizações.

Tabela 4 –Particionamento da diversidade em Fernando de Noronha considerando um desenho amostral com quatro hierarquias, sendo α_1 a menor unidades amostral (que são as 56 amostras individuais), β_1 a variação entre as 56 amostras, β_2 a variação entre os 14 pontos, β_3 a variação entre as duas regiões (encosta e floresta). Os valores de P foram obtidos através de 10000 randomizações com o *PARTITION V3*.

	Riqueza aditiva (RA)			Riqueza Multiplicativa (RM)			Diversidade de Shannon (Q.SHAN)		
	Observada	Esperada	P	Observada	Esperada	P	Observada	Esperada	P
GERAL									
ALFA1	6.55	28.36	< 0.00001	6.55	29.36	< 0.00001	1.47	2.64	< 0.00001
BETA 1	4.28	2.38	< 0.00001	1.65	1.08	< 0.00001	1.15	1.01	< 0.00001
BETA2	19.31	4.63	< 0.00001	2.78	1.15	< 0.00001	1.33	1.01	< 0.00001
BETA3	7.86	1.64	< 0.00001	1.26	1.05	< 0.00001	1.21	1	< 0.00001
GAMA	38			38			2.71		
CONCEIÇÃO									
ALFA1	7.23	17.05	< 0.00001	7.23	17.05	< 0.00001	1.23	1.61	< 0.00001
BETA1	3.98	0.45	< 0.00001	1.55	1.03	< 0.00001	1.05	1.01	< 0.00001
BETA2	6.79	0.5	< 0.00001	1.61	1.03	< 0.00001	1.26	1	< 0.00001
ALFA3	18			18			1.62		
BOLDRÓ									
ALFA1	6.28	14.43	< 0.00001	6.28	14.43	< 0.00001	2.01	4.09	< 0.00001
BETA1	7.01	3.11	< 0.00001	2.12	1.22	< 0.00001	1.77	1.06	< 0.00001
BETA2	5.71	1.46	< 0.00001	1.43	1.08	< 0.00001	1.24	1.01	< 0.00001
ALFA3	19			19			4.41		
CACIMBA									
ALFA1	8.06	14.41	< 0.00001	8.06	14.41	< 0.00001	5.3	10.18	< 0.00001
BETA1	7.31	5.3	$p = 0.0007$	1.91	1.37	< 0.00001	1.83	1.14	< 0.00001
BETA2	6.63	2.28	< 0.00001	1.43	1.12	< 0.00001	1.23	1.03	< 0.00001
ALFA3	22			22			11.99		
SANCHO									
ALFA1	7.13	14.79	< 0.00001	7.13	14.79	< 0.00001	4.23	8.02	< 0.00001
BETA1	7.94	3.61	< 0.00001	2.11	1.24	< 0.00001	1.71	1.07	< 0.00001
BETA2	4.93	1.6	< 0.00001	1.33	1.09	< 0.00001	1.2	1.01	< 0.00001
ALFA3	20			20			8.69		
LEÃO									
ALFA1	5.91	14.27	< 0.00001	5.91	14.27	< 0.00001	2.89	5.72	< 0.00001
BETA1	5.22	3.56	< 0.00001	1.88	1.25	< 0.00001	1.43	1.06	< 0.00001
BETA2	8.87	2.18	< 0.00001	1.8	1.12	< 0.00001	1.49	1.01	< 0.00001
ALFA3	20			20			6.12		
CAIERA									
ALFA1	3.87	11.46	< 0.00001	3.87	11.46	< 0.00001	1.54	2.07	< 0.00001
	3.47								
BETA1	(0.6458)	3.72	$p = 0.6458$	1.9	1.33	< 0.00001	1.23	1.01	< 0.00001
BETA2	8.66	0.82	< 0.00001	2.18	1.05	< 0.00001	1.1	1	< 0.00001
ALFA3	16			16			2.09		
RATA									
ALFA1	4.44	10.07	< 0.00001	4.44	10.07	< 0.00001	3.09	5.79	< 0.00001
	5.14								
BETA1	(0.0097)	3.81	$= 0.0097$	2.16	1.38	< 0.00001	1.7	1.19	< 0.00001
BETA2	5.42	1.12	< 0.00001	1.57	1.08	< 0.00001	1.36	1.04	< 0.00001
ALFA3	15			15			7.15		

Dados ambientais

Os dados ambientais levantados neste estudo estão apresentados na Tabela 5. Foi observado que há heterogeneidade na composição das variáveis ambientais entre as regiões (E e F). A análise de cluster (figura 4) mostrou a separação de dois grupos (E1, E2, E3, E4, E5, E6 E7 e F1, F2, F3, F4, F5).

Foi observada uma alta dissimilaridade entre as regiões de encosta e floresta (ANOSIN: $p = 0,002$).

Os pontos F6 e F7 apresentaram a maior dissimilaridade ($p > 0,076$) entre o grupo de amostras da floresta. Os pontos E5 e E7 apresentaram a maior ($p > 0,041$) dissimilaridade entre o grupo de amostras da encosta.

Tabela 5 – Matriz de dados ambientais por amostras das regiões E e F para o Arquipélago Fernando de Noronha nos sete pontos amostrados com os valores de PH em H₂O, PH em KCL, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (CA), Magnésio (MG), Alumínio (AL), Hidrogênio + Alumínio (H + AL), Soma de bases trocáveis (SB), Capacidade de troca de cátions (CTC), Saturação da CTC por bases (V), Saturação por Alumínio (M), Carbono Orgânico (CO), Matéria Orgânica (MO), Número de Árvores (NV), Diâmetro do Caule (DC), Serrapilheira (AS), Umidade do Solo (U).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
PH H2O	7	7.2	7.5	7.1	7.6	7.5	6.9	6.1	6.1	5.7	6.1	6.1	5.6	6.7
PH KCL	6.6	6.7	6.9	7.1	6.8	7.1	6.7	5.7	5.5	5.3	5.4	5.6	5.2	6.6
P	12	33	50	30	65	33	1,256	70	448	383	541	213	735	1,295
K	18.1	36.9	7.2	14.5	22.9	18	14.4	42.5	26.7	27.6	17.8	27.3	33.6	8
CA	279	276	311	269	242	251	227	158	196	166	161	116	278	457
MG	88	145	103	113	253	98	100	126	105	91	98	99	132	73
AL	2	2	1	2	2	0	2	2	2	1	2	2	7	2
H+AL	43	36	33	38	42	28	62	83	103	117	117	101	149	48
SB	385.1	458	421.1	396.9	518.4	367.5	341.6	326.3	328.2	285.2	277.4	242.8	443.6	538.2
CTC	428.5	494.4	454.1	435	560	395.3	404	409.5	431.3	402.2	394.4	344.2	592.6	585.9
V	90	93	93	91	93	93	85	80	76	71	70	71	75	92
M	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	2	0
CO	51	32	32	36	35	45	56	65	40	44	47	31	65	284
MO	87.975	55.2	55.2	62.1	60.375	77.625	96.6	112.125	69	75.9	81.075	53.475	112.125	489.9
NV	110.5	118	209	64.25	3	0	146.25	201.25	337.75	326.25	315.75	535	286.25	227.5
DC	6.5	1.75	4	3.5	1	0	3.75	7.5	7.75	8.25	10.5	4.25	14	4.5
AS	8	4.5	2	5.5	2.5	1	3.5	2.1	2.3	1.8	2.0	1.0	7.0	3.5
U	18.70	26.25	14.99	23.14	12.48	16.35	14.49	28.91	21.10	21.54	14.05	12.96	14.03	22.60

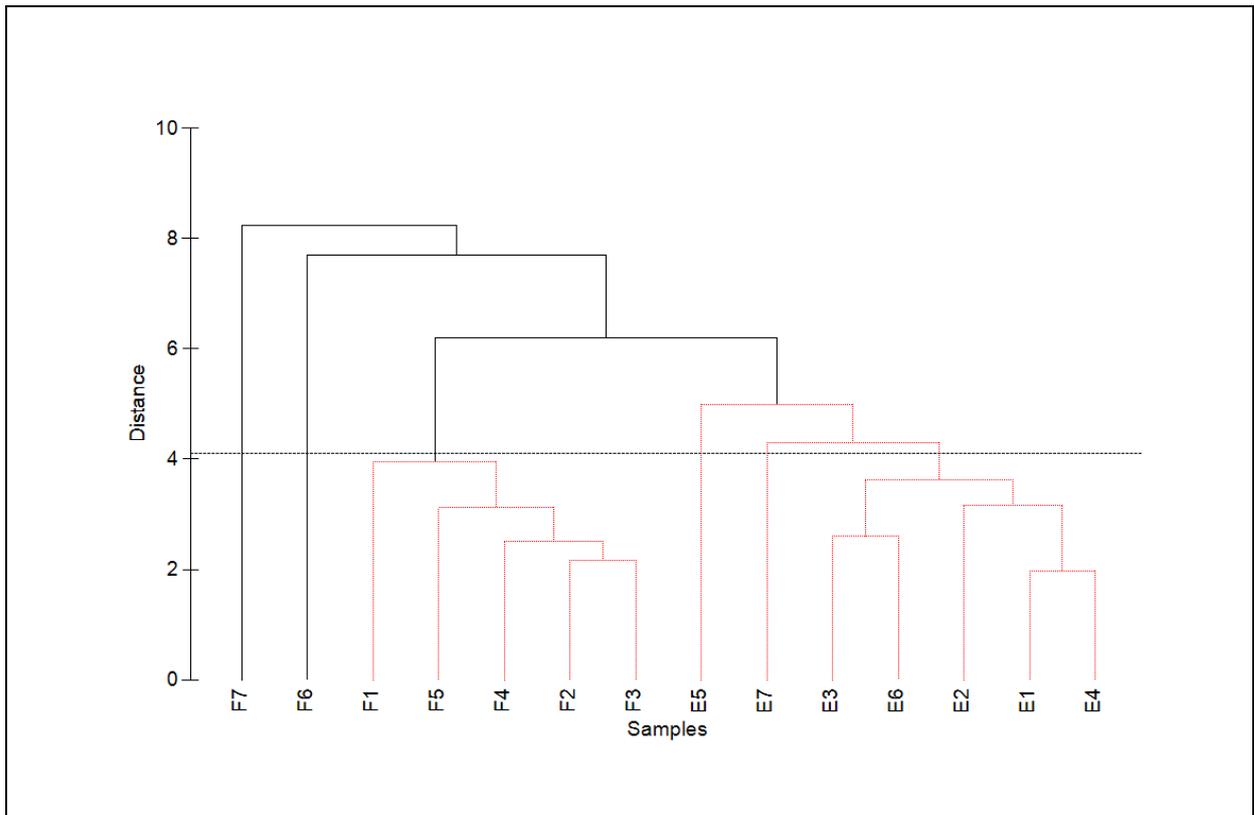


Figura 4 – Análise de Cluster a partir da matriz de Distância Euclidiana dos dados ambientais de todos os pontos das Regiões E e F do Arquipélago Fernando de Noronha.

Dados ambientais x Fauna de Collembola

A análise canônica de coordenadas principais indicou que o ponto com o maior índice de diversidade do estudo (**E3**: $H' = 2,358$) teve correlação positiva com a umidade (U). Os pontos com a maior diversidade da região de floresta (**F3**: $H' = 2,229$ e **F4**: $H' = 1,98$) e o ponto **E4**, tiveram correlação positiva com o diâmetro do caule de árvores e arbustos maiores que 1,5m (DC) (figura 5)

Os pontos que apresentaram menor equitabilidade, menor riqueza e maiores abundâncias (**E1**: $S = 11$, $N = 12933$, $J' = 0,09$ e **E6**: $S = 7$, $N = 3275$, $J' = 0,29$) apresentaram correlação negativa com a altura da serrapilheira. Os pontos **E5**, **E6** e **F6** apresentaram correlação negativa com a capacidade de troca catiônica (CTC).

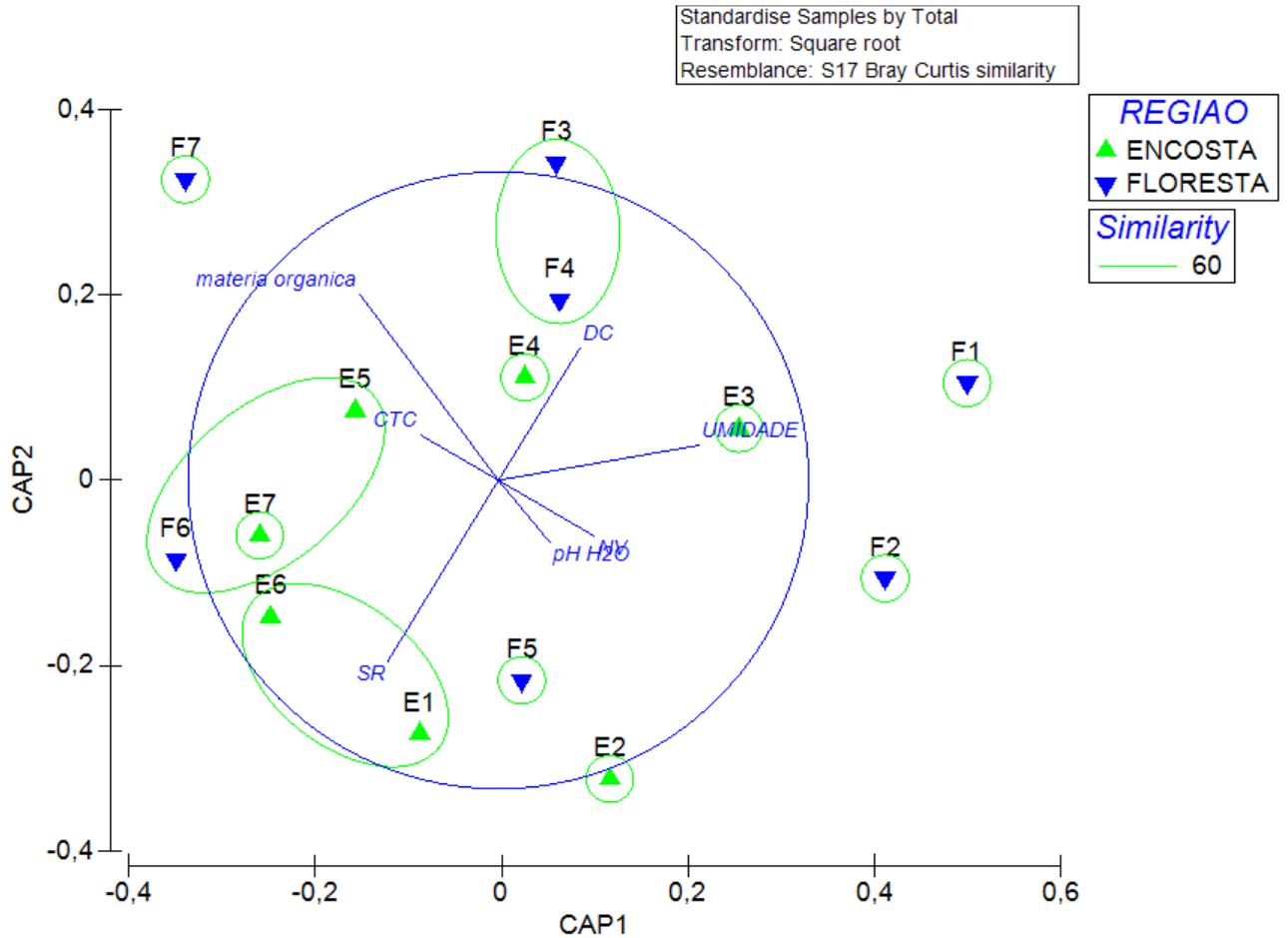


Figura 5 – Análise canônica de coordenadas principais demonstrando a correlação entre variáveis ambientais e as comunidades de Collembola do arquipélago Fernando de Noronha.

DISCUSSÃO

O desvio significativo da maioria dos componentes da diversidade em relação ao esperado mostra que os colêmbolos são distribuídos aleatoriamente entre as escalas hierárquicas deste estudo.

O particionamento multiplicativo da diversidade nos revelou que a escala apropriada para conservação de Collembola são os pontos de cada região, pois é nesta escala que ocorre a maior variação entre as espécies.

Nosso trabalho acrescenta-se a uma gama de literatura sobre ecologia de comunidades de artrópodes, sugerindo que a riqueza de artrópodes pode ser explicada em grande parte pelo “turnover” de espécies entre os diferentes níveis hierárquicos (CRIST *et. al.*, 2003; SUMEMERVILLE *et al.*, 2003; PAKNIA e

PFEIFFER, 2011). O particionamento aditivo da diversidade fortaleceu esta conclusão evidenciando que os pontos (ou transectos) de cada região são as principais escalas espaciais deste estudo hierárquico.

Analisando o particionamento realizado através da métrica q-Shannon verificamos que os pontos E3 e F3 apresentam a maior diversidade observada ($q\text{-Shan} = 11,99$) e a maior diversidade alfa esperada ($\alpha_1 = 10,18$) entre todos os pontos estudados. Esta informação associada aos demais índices de diversidade analisados neste estudo indicam que os pontos E3 e F3 possuem a maior diversidade quando comparados aos demais pontos de suas respectivas regiões.

Inicialmente esta informação pode parecer um bom resultado, porém quando levamos em consideração a taxocenose dos organismos capturados, essa informação passa a ser preocupante.

Identificamos através da base de dados de Bellinger (1996-2014) que as espécies de Collembola encontradas nestes pontos (E3 e F3) é composta por organismos com distribuição cosmopolita. Este fato torna-se mais relevante quando acrescentamos que neste ponto existe uma usina de compostagem para tratamento do lixo orgânico gerado por aproximadamente 2630 moradores e mais de 60 mil turistas que visitam o arquipélago todos os anos (IBGE, 2014).

Acreditamos que o cordão arenoso das ilhas tenha sofrido menos alteração e preserve melhor as características ambientais originais do que as regiões de Encosta e Floresta que durante aproximadamente cinco séculos sofreram com os efeitos decorrentes da ocupação humana. Obviamente o habitat de areia é mais restritivo para os colêmbolos do que os habitats de encosta e floresta quando levamos em consideração os fatores vegetação, umidade e matéria orgânica, que comprovadamente influenciam a distribuição de suas comunidades (OLIVEIRA, 1993; SALOMON et al. 2004; COLE et al. 2005; ZEPPELINI et al. 2008). Sendo assim, os altos índices de diversidade observados nos pontos E3 e F3 não representam a diversidade original de Collembola para o Arquipélago Fernando de Noronha, pois se espera que os ambientes insulares apresentem alto endemismo e relativamente baixa diversidade quando comparados aos ambientes continentais (WALTER, 2004; FONSECA et al., 2006).

Outra informação relevante obtida através dos particionamentos multiplicativos e $q\text{-Shan}$ é que a maior diversidade esperada entre as amostras das diferentes regiões é observada na Ilha Rata (E7 e F7: particionamento multiplicativo

$\beta_1 = 1.38$ e $q = \text{Shan } \beta_1 = 1.19$). Esta informação enfatiza a importância da conservação deste local e classifica este ambiente como uma área prioritária para conservação de Collembola, conforme proposto por JOST (2007 e 2010) e BASELGA (2010) que consideram a variação entre os componentes da diversidade particionada como uma poderosa ferramenta para identificar áreas prioritárias para a conservação.

Além disso, analisando as variáveis ambientais através do cluster de distância euclidiana dos pontos E7 e F7 observamos que estes pontos apresentam maiores distâncias entre os seus pares da mesma região. Isso reforça a particularidade e exclusividade das características ambientais da Ilha Rata.

A baixa similaridade das variáveis ambientais (ANOSIM: $P = 0.002$) e na composição das espécies entre as Regiões E e F (Morisita-Horn = 0,0133) corroboram a hipótese de que as faixas do gradiente ambiental costeiro definem diferentes habitats e o padrão de distribuição da diversidade de Collembola responde a esse gradiente de disponibilidade ambiental.

Observamos que embora exista uma grande quantidade de espécies compartilhadas entre as assembléias das diferentes regiões (do total de 38 espécies, 23 são compartilhadas), em geral os pontos da Região de floresta apresentam maiores índices de diversidades (**F**: $H' = 1,75$, $D = 0,75$ e **E**: $H' = 1,43$, $D = 0,57$) e equitabilidade (**F**: $J' = 0,69$ e **E**: $J' = 0,55$) enquanto a região de encosta apresenta maior abundância relativa (**E**: $N = 17380$ e **F**: $N = 2928$).

Entre as variáveis ambientais que mais contribuíram para o padrão de distribuição de Collembola em Fernando de Noronha, destacamos a umidade (U) e o diâmetro do caule (DC) que apresentaram correlação positiva com os pontos que apresentaram maiores índices de diversidade.

CONCLUSÕES

Nossos resultados demonstram que uma quantidade substancial da diversidade de espécies é gerada pela variação beta entre os transectos (ou “*pontos*”), independentemente das regiões (E ou F) em que estão inseridos. Esta diversidade de collembola observada é a direta consequência de uma distribuição que pode ser restrita aos pontos.

As faixas do gradiente ambiental costeiro (ou “*regiões*”) de Fernando de Noronha definem diferentes habitats para as comunidades destes artrópodes que respondem a essa gradiente de disponibilidade de habitats apresentando diferenças na composição das comunidades.

Desta forma, quaisquer estratégias voltadas à conservação ambiental do arquipélago, devem levar em consideração as escalas espaciais apresentadas neste estudo, respeitando as particularidades dos “*pontos*” e as diferentes “*regiões*” evidenciadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. Geologia e petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. **Ministério da Agricultura - Div. de Geologia e Mineralogia**, Rio de Janeiro. 181p. 1958.

ANDERSON, M.J.; WILLIS, T.J. canonical analysis of principal coordinates: a useful method of constrained ordination for ecology. **Ecology**, v. 84, p. 511-525, 2003.

ANDERSON, M.J.; GORLEY, R.N.; CLARKE, K.R. Permanova + Primer: **Guide to software and statistical methods**. Plymouth, uk: PRIMER-E, 2008.

BARDGETT, R.D.; KEILLER, S.; COOK, R.; GILBURN, A. S. Dynamic interpretations between soil animals and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment. **Soil Biol Biochem**, v. 30, p. 531–539, 1998.

BASELGA, A. Multiplicative partition of true diversity yields independent alpha and beta components, additive partition does not. **Ecology**, v. 91, p. 1974–1981, 2010.

BATISTELLA, M. Espécies vegetais dominantes do arquipélago de Fernando de Noronha: grupos ecológicos e repartição espacial. **Acta bot. bras.** v. 10, p. 223-235, 1996.

BELLINGER, P. F; CHRISTIANSEN, K .A.; JANSSENS, F. 1996-2014. **Checklist of the Collembola of the World**. Disponível em: <http://www.collembola.org>. Acesso em: 19 jan. 2014.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Plano de manejo do Arquipelago de Fernando de Noronha**. 2008

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. EMBRAPA. 2ª edição, 1997.

CASSAGNE, N., GERS, C., GAUQUELIN, T. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). **BioFertil Soils**, v. 37, p. 355–361, 2003

CHAO, A.; CHAZDON, R. L.; COLWELL, R. K.; SHEN, T. J. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. **Ecology Letters**, v. 8, p. 148-159, 2005.

CHAO, A.; CHAZDON, R. L.; COLWELL, R. K.; SHEN, T. J. Abundance-based similarity indices and their estimation when there are unseen species in samples. **Biometrics**, v. 62, p. 361-371, 2006.

CHAO, A.; SHEN, T. J. 2009. **SPADE (species prediction and diversity estimation)**. Disponível em: <http://chao.stat.nthu.edu.tw/softwareCE.html>. Acesso em: 19 jan. 2014.

COLE, L.; BUCKLAND, S. M.; BARDGETT, R. D. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland. **Soil Biol Biochem**, v. 37, p. 1707–1717, 2005.

CRIST, T. O.; VEECH, J. A.; GERING, J. C.; SUMMERVILLE, K. S. Partitioning species diversity across landscapes and regions: a hierarchical analysis of alpha, beta, and gamma diversity. **American Naturalist**, v. 162, p. 734–743, 2003.

DENIS J. RODGERS and ROGER L. KITCHING. Rainforest Collembola (Hexapoda: Collembola) and the insularity of epiphyte microhabitats. **Insect Conservation and Diversity**, v. 4, p. 99–106, 2011.

DEVICTOR, V.; ROBERT, A. Measuring community responses to large-scale disturbance in conservation biogeography. **Diversity and Distributions**, v. 15, p. 122–130, 2009.

FABER, J. H. Functional classification of soil fauna: a new approach. **Oikos**, v 62, p. 110-117, 1991.

FONSECA, G. A.; DA, MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G. **Conservation of island biodiversity – importance, challenges and opportunities**. Washington, DC: Center for Applied Biodiversity Sciences, Conservation International, 16 p. 2006.

HOPKIN, S. P. **Biology of Springtails: Collembola (Insecta)**. Oxford: Oxford University Press, 1997

IBGE. **CENSO – 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 19 jan. 2014.

IAC. **Boletim técnico 106**. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas, 2009.

JOST, L. Entropy and diversity. **Oikos**, v. 113, p. 363–375, 2006.

JOST, L. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. **Ecology**, v. 88, p. 2427–2439, 2007.

JOST, L. Independence of alpha and beta diversities. **Ecology**, v. 91, p. 1969–1974, 2010.

KUMSSA, D. B.; VAN AARDE, R. J.; WASSENAAR, T. D. (2004) The regeneration of soil micro-arthropod assemblages in a rehabilitating coastal dune forest at Richards Bay. **South Africa. Afr J Ecol**, v. 42, p. 346–354, 2010.

LANDE, R. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. **Oikos**, v. 76, p. 5–13, 1996.

LENNON, J.J.; KOLEFF, P.; GREENWOOD, J.J.D.; GASTON, K.J. The geographical structure of British bird distributions: diversity, spatial turnover and

scale. **J. Anim. Ecol.**, v. 70, p. 966–979, 2001.

OLIVEIRA, E. P. Influência de diferentes sistemas de cultivos na densidade populacional de invertebrados terrestres em solo de várzea de Amazônia Central. **Amazoniana**, v. 12, p. 495–508, 1993

PAKNIA, O.; PFEIFFER, M. Hierarchical partitioning of ant diversity: implications for conservation of biogeographical diversity in arid and semi-arid areas. **Diversity and Distributions**, v. 17, p. 122–131, 2011.

RUSEK, J. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, p. 1207–1219, 1998.

SALOMON, J. A.; SCHAEFER, M.; ALPHEI, J.; SCHMID, B.; SCHEU, S. Effects of plant diversity on Collembola in an experimental grassland ecosystem. **Oikos** v. 106, p. 51–60, 2004.

SUMMERVILLE, K. S.; BOULWARE, M. J.; VEECH, J. A.; CRIST, T. O. Spatial variation in species diversity and composition of forest Lepidoptera in eastern deciduous forests of North America. **Conservation Biology**, v. 17, p. 1045–1057, 2003.

VEECH, J.A.; CRIST, T.O. **PARTITION 3.0 user's manual**, 2009.

VEECH, J. A.; CRIST, T.O. 2009. **PARTITION: software for hierarchical partitioning of species diversity, version 3.0**, disponível em: <<http://www.users.muohio.edu/cristto/partition>>.

WALTER, H. S. The mismeasure of islands: implications for biogeographical theory and the conservation of nature. **Journal of Biogeography**, v. 31, p. 177-197, 2004

Whittaker, R. H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. **Ecological Monographs**, v. 30, p. 279–338, 1966.

ZEPPELINI, D.; BELLINI, B. C.; DUARTE, A. J. C.; HERNANDEZ, M.I.M.
Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern
Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 18, p. 1161-1170, 2008.

CAPÍTULO 3 – Artigo publicado na revista *The Florida Entomologist*A NEW BRAZILIAN SPECIES OF *ISOTOGASTRURA* (COLLEMBOLA:
ISOTOGASTRURIDAE)

JOSÉ G. PALACIOS-VARGAS¹
ESTEVAM C. ARAUJO DE LIMA^{2,3}
DOUGLAS ZEPPELINI^{2,3}

¹Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 México, D. F.

²Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação. Depto. Biologia, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas. Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba campus V, João Pessoa, PB (Brasil)

³ Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba campus V, João Pessoa, PB (Brasil)

**A NEW SPECIES OF *ISOTOGASTRURA*
(COLLEMBOLA: ISOTOGASTRURIDAE) FROM NORTHEASTERN BRAZIL**

JOSÉ G. PALACIOS-VARGAS¹, ESTEVAM C. ARAÚJO DE LIMA² AND DOUGLAS ZEPPELINI^{2,3,*}

¹Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 México, D. F.

²Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação. Depto. Biologia, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas. Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba campus V, João Pessoa, PB, Brazil

³Associação Guajiru-Ciência-Educação-Meio Ambiente. Scientific Board, João Pessoa, PB, Brazil

*Corresponding Author; E-mail: zeppelini@daad-alumni.de

ABSTRACT

A new species of *Isotogastrura* from marine littoral sand of Fernando de Noronha Islands, Pernambuco State, Brazil is described and illustrated. It is characterized by the absence of prelabral setae, presence of a spatulate mucro, fusion of the dorsal part of Abd. IV and V and one pair of long circumgenital setae on males. It is similar to *I. veracruzana* from México. A key for the 9 species known in the genus is provided.

Key Words: pan tropical Collembola, interstitial fauna, Fernando de Noronha Islands, insular fauna

RESUMEN

Se describe e ilustra una nueva especie de *Isotogastrura* de arena del litoral marino de la Isla Fernando de Noronha, Estado de Pernambuco, Brazil. Esta nueva especie se caracteriza por la ausencia de sedas prelabrales, presencia de un mucrón en forma de espátula, fusión dorsal de los Abds. IV y V y un par de largas sedas circumgenitales en los machos. Es similar a *I. veracruzana* de México con la que es comparada más detalladamente. Se presenta una clave para las nueve especies que se conocen del género.

Palabras Clave: Collembola Pan-Tropical, fauna intersticial, Isla de Fernando de Noronha, fauna insular

RESUMO

Uma nova espécie de *Isotogastrura* de areia do litoral marinho do arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco, Brasil, é descrita e ilustrada. Essa nova espécie se caracteriza pela ausência das cerdas pré-labrais, presença de um mucro em forma de espátula, Abd. IV e V fundidos dorsalmente e um par de cerdas circumgenitais longas nos machos. Assemelha-se a *I. veracruzana* do México com a qual se compara detalhadamente. Apresentamos uma chave para identificação das nove espécies conhecidas do gênero é incluída.

Palavras Chave: Collembola Pan-Tropical, fauna intersticial, Ilha de Fernando de Noronha, fauna insular

The genus *Isotogastrura* is distributed in tropical coasts and comprises 8 known species, all described from sand in tropical littoral areas (Potapov et al. 2011).

We describe here a new species of *Isotogastrura* from Fernando de Noronha, a group of oceanic islands in equatorial Atlantic, Northeastern Brazil. This is the first record for the genus in South

America, extending its known distribution to the southern tropics, and reinforcing its pan tropical distribution pattern.

The phylogenetic position of the monotypic family *Isotogastruridae*—between the families *Isotomidae* and *Hypogastruridae*, which are representatives of Orders *Entomobryomorpha* and *Poduromorpha* respectively—is controversial and poses taxonomic uncertainties (Fjellberg 1995). The new species brings interesting new features that contribute to this discussion, i.e., dorsal fusion of Abd. IV and V; and this condition is seen also in the *Entomobryomorpha*, but not in the *Poduromorpha* in which the apical sensory organ of Ant. III has been displaced to the base of Ant. IV (Bonet 1946).

MATERIAL AND METHODS

The material studied comes from marine littoral sand of Fernando de Noronha Islands, Pernambuco State, Brazil. Collecting was done by a washing technique and the extraction of floating specimens manually with the aid of brushes. Specimens were fixed in 80% ethanol, cleared on KOH and lactophenol, and mounted under a cover in Hoyer's solution for subsequent analysis by phase contrast microscopy. Ten specimens, not included in type material, were dehydrated and metalized for observation by scanning electron microscopy.

The new species was compared with all available bibliographic information and the types of *I. ahuzotli* and *I. veracruzana* were checked. Abbreviations used in the text are: Ant. = antennal segment; Abd. = abdominal segment; Th. = thoracic segment.

RESULTS

Isotogastrura Thibaud & Najt 1992

Diagnosis

Members of this genus are very small, less than 0.5 mm long, with appearance intermediate between the families *Isotomidae* and *Hypogastruridae*. Body with short setae and sensorial setae. Antennae shorter than head. Ant. organ III partly displaced to Ant. IV, with 2 fanlike sensilla and 2 cuticular conic papillae. With square and prognathous head. Four eyes per side. No postantennal organ. Mandibles with apical teeth and molar surface, maxillae with fringed lamellae. Pronotum well developed with 4 cuticular vesicles but without setae. Dorsal chaetotaxy of second and third thoracic tergites and all abdominal tergites with 3 rows of setae. Most tergites subequal in size, some with a pair of posterior cuticular ves-

icles. No microsensilla on Th. II and III. Unguis with a big dorsal teeth and unguiculus filiform, longer than unguis. Abdomen segment V with a dorsal glandular opening and often with one median posterior cuticular tubercle. Tenaculum and furcula well developed. No anal spines.

Type species: *Isotogastrura arenicola* Thibaud & Najt 1992

Isotogastrura mucrospatulata sp. nov. Figs. 1-15

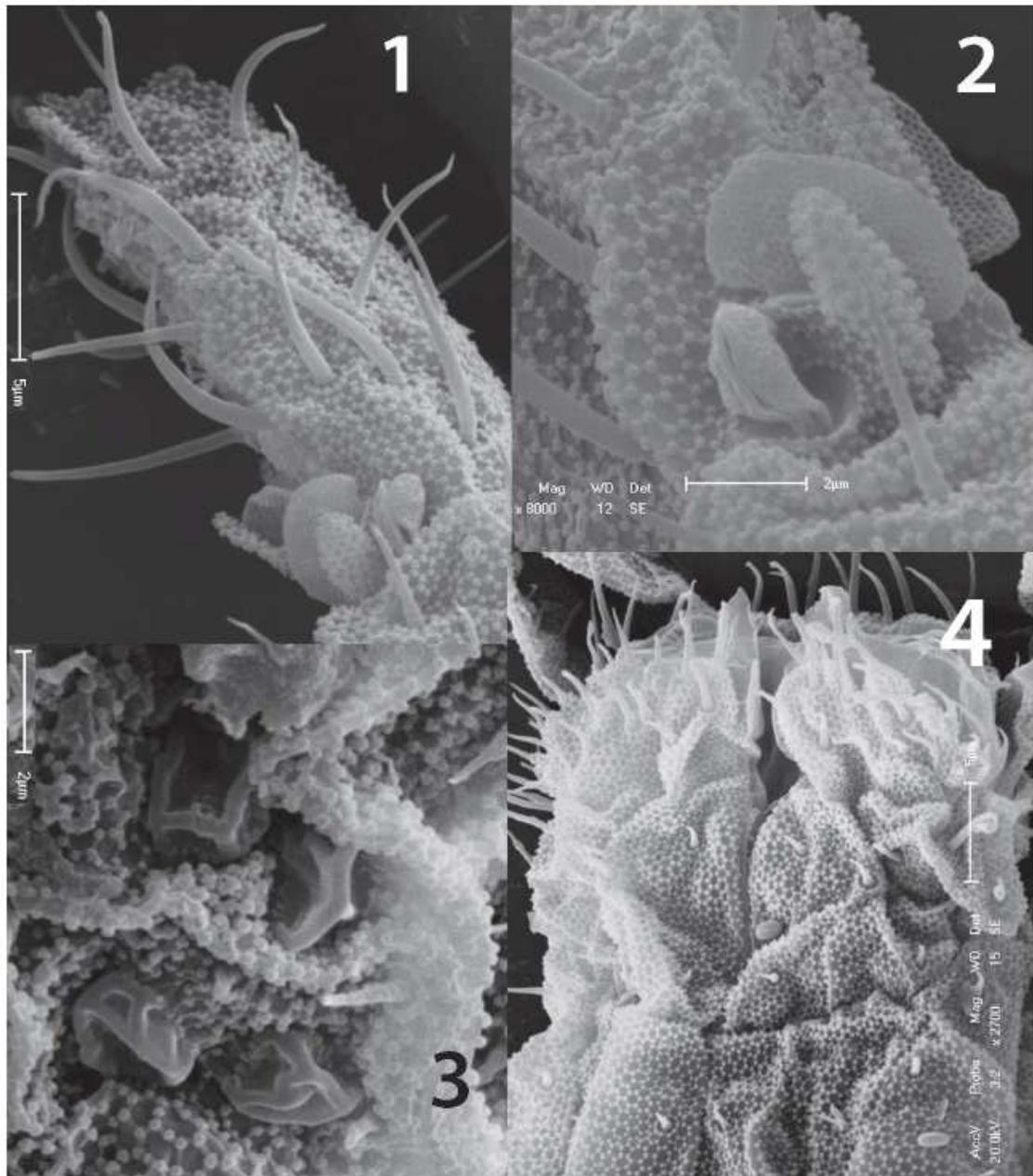
Holotype: male, BRAZIL: Pernambuco, Fernando de Noronha Islands, Boldró, from marine littoral sand, 20-VII-2012, coll. Lima and Zeppellini, deposited at Coleção de Referência em Fauna de Solo da Paraíba (LSCC-CRFS/UEPB) number 3680,

Paratypes: 6 males and 2 females, same data as holotype, deposited at LSCC-CRFS/UEPB number 3681-3688. Two male adults, same data as holotype, deposited at Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro number 2427 and 2428. One female and 1 male adult from the same locality will be deposited at senior author's institution (LESM/UNAM) number 2991 and 2992.

Description

Body length ($n = 10$): 0.35 mm (range 0.3-0.4 mm). White in alcohol, with grey pigmentation uniformly distributed over dorsal areas except for the darker eye patches. Body shape typical of genus, only with primary hexagonal granulation, ventral side of abdomen wrinkled with some smooth areas (Figs. 1, 2 and 5). Setae smooth and short about 5-8 μ m. Sensorial body setae about 10 μ m, thicker than setae with blunt tips. Head large, with exerted mouth parts as common for the genus. Th. I with 4 dorsal tubercles. Posterior edge of Abd. IV and anterior edge of Abd. V dorsally fused (Fig. 13), separation only noticeable by the lateral constrictions between them, ventrally well separated; with a dorsal glandular opening on Abd. V partly covered by cuticular fold. One pair of small tubercles present at middle posterior edge from Th. II to Abd. II (Figs. 11 and 13).

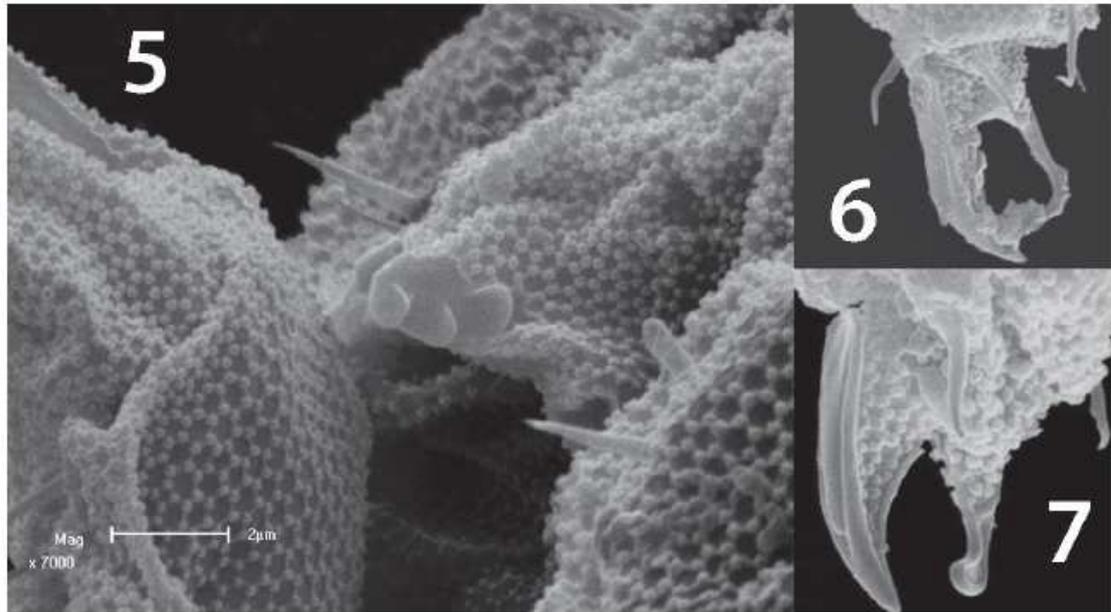
Ant. I and II with 7 and 11 setae, respectively. Sensorial organ of Ant. III with 2 conical cuticular papillae granulated, 2 fan-like inner sensilla, and 2 outer tubular bifid sensilla, 1 of which is grouped together with inner ones, another 1 more proximal and associated with lateral microsensillum, which is small and pointed (Figs. 1, 2 and 10). Ant. IV with 8 sensilla, 2 of which are thicker and longer (Figs. 1 and 10). Subapical organ small and strongly depressed. Labrum with 0/3,3,4 setae and 4 lobules. No prelabral microsetae. Maxillary outer lobe with apical palp



Figs. 1-4. *Isotogastrura mucrospatulata* sp. nov. 1, electro scanning microphotograph of apex of Ant. III and Ant. IV; 2, sensorial organ of Ant. III; 3, eyes from left side; and 4, labium.

and 2 sublobal hairs. Labium with 5 basolateral and 4 basomedian setae postlabial setae (Fig. 4). Some elements of labial palp difficult to interpret. Mandibles slender as typical for the genus, each with 4 apical teeth and molar surface well developed. Maxillary head with most lamellae strong and serrated. Head with 4+4 ocelli, 2 in-

ner smaller (Figs. 3 and 11). Postantennal organ absent. Dorsal chaetotaxy shown in Fig. 11 and 13. Th. II-Abd. III with 3+3 axial setae each. Number of sensilla 2,2/1,1,1,1,1, microsensilla absent. Sensilla longer than setae and distinguished from them by hyaline appearance and more blunt tips. Legs chaetotaxy from subcoxa 1,



Figs. 5-7. *Isotogastrura mucrospatulata* sp. nov. 5, electro scanning microphotographs of tenaculum; 6, apex of tibiotarsus III with unguis and unguiculus; and 7, foot complex showing bent apical filament of the unguiculus.

subcoxa 2, coxa, trochanter, femur and tibiotarsus is: 1,1,4, 6,11,12; 1,3,7, 6,11,12 and 2,3,9,5,10,11 from I to III, respectively. Ungues without inner teeth but a big dorsal tooth $\frac{3}{4}$ the length of unguis (Fig. 6). Unguiculus filiform, sinuous and longer than unguis (Fig. 6), easily bent (Fig. 7). Thorax without ventral setae. Ventral tube with 6+6 lateral paired setae (4+4 in distal and 2+2 in basal position) and 1 unpaired posterior seta (Fig. 14). Tenaculum with 3+3 teeth, setae absent (Fig. 5). Manubrium without anterior setae, posteriorly with 8+8 setae on main part and 5+5 on basolateral fields (Figs. 8 and 14). Anterior subcoxae furcalis with 5 setae, posterior with 2 setae. Dens with 3 posterior and 1 antero-medial setae (Figs. 8 and 9), 1 inner setae thicker than others, mucro spatulate (Fig. 9). Abdominal segment IV and V fused in the dorsal side (Fig. 13). Female genital plate with 4 pairs of pregenital setae, 2 circumgenital setae and 2 eugenital setae (Fig. 12). Male genital plate with 4 pairs of pregenital setae, 5 circumgenital setae, 2 of them longer than others, and 4 pairs of short eugenital setae (Fig. 15). Each lateral anal valve with 14 setae + 2 microsetae, posterior valve with only 2 setae (Fig. 14). No anal spines.

Etymology

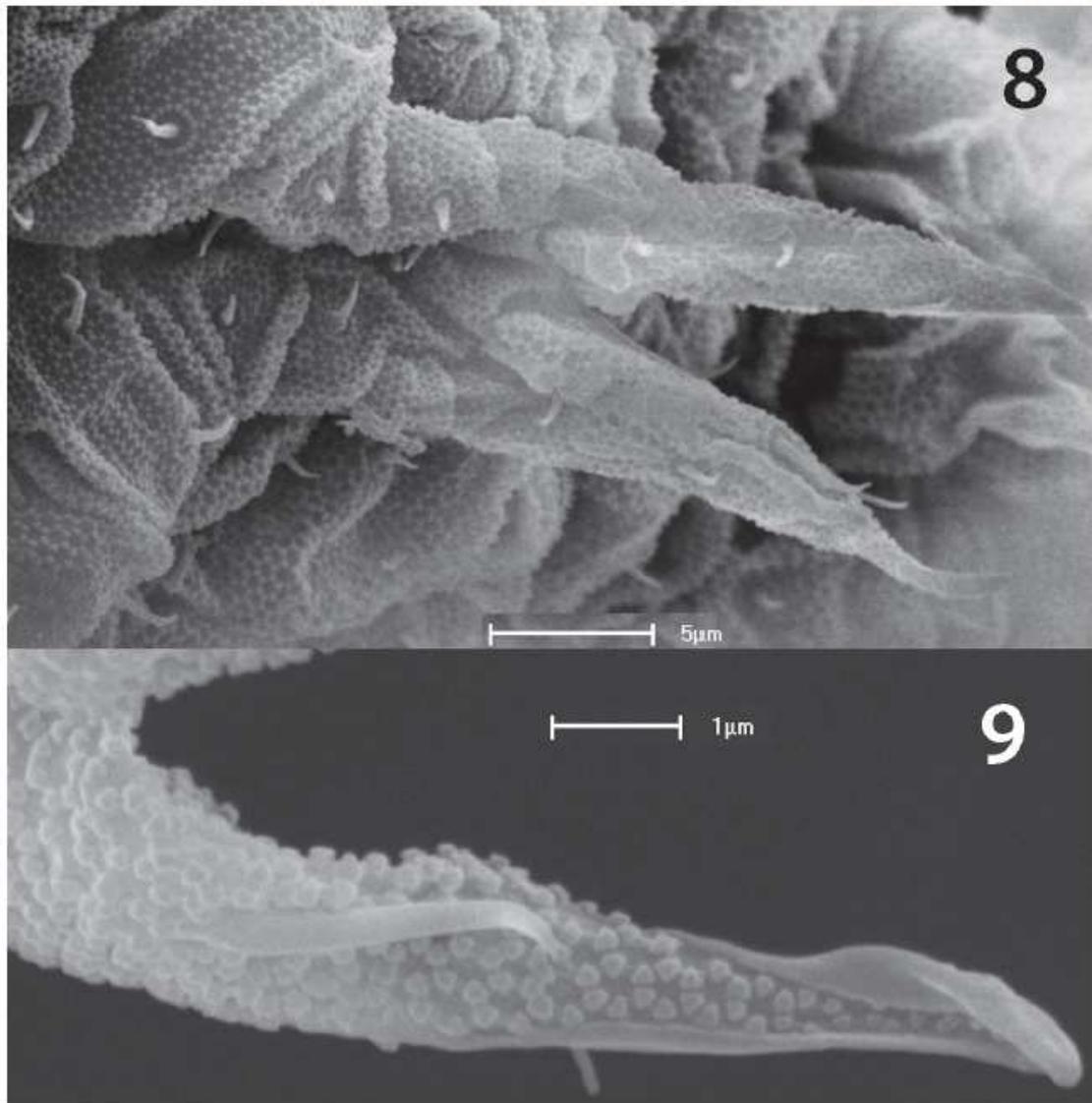
The new species is named *I. mucrospatulata* sp. nov. after the shape of the mucro.

Habitat and Distribution

The new species is known only in the sand beaches of Fernando de Noronha Islands. The type locality is located at Boldró, S 03 50' 44.5" W 32 25' 47.1". Small body size of *I. mucrospatulata* sp. nov. indicates that it inhabits narrow passages among the grains of sand (Potapov et al. 2011). Interstitial Collembola look like typical euedaphic species, but are flexible and slender enough to be able to move between sand grains of small size without changing the pore architecture (Thibaud 2007). All specimens in this study (total of 22) were found in sand at the intertidal zone. The species *I. mucrospatulata* sp. nov. was the only collembolan species found in sand samples from 6 different beaches in Fernando de Noronha and there are no records of it from elsewhere.

DISCUSSION

Isotogastrura mucrospatulata sp. nov. is characterized by the absence of prelabral setae, presence of one spatulate mucro, fusion of the dorsal part of Abd. IV and V and one pair of long circumgenital setae on males. It is similar to *I. veracruzana* from México in the absence of prelabral microsetae, but differs in the shape of mucro, dental setae shape, fusion of the dorsal part of Abd. IV and V (noticeable by the absence of thinner granulation in intersegmental areas) and setae of genital plate of male. When dorsal body chaeto-

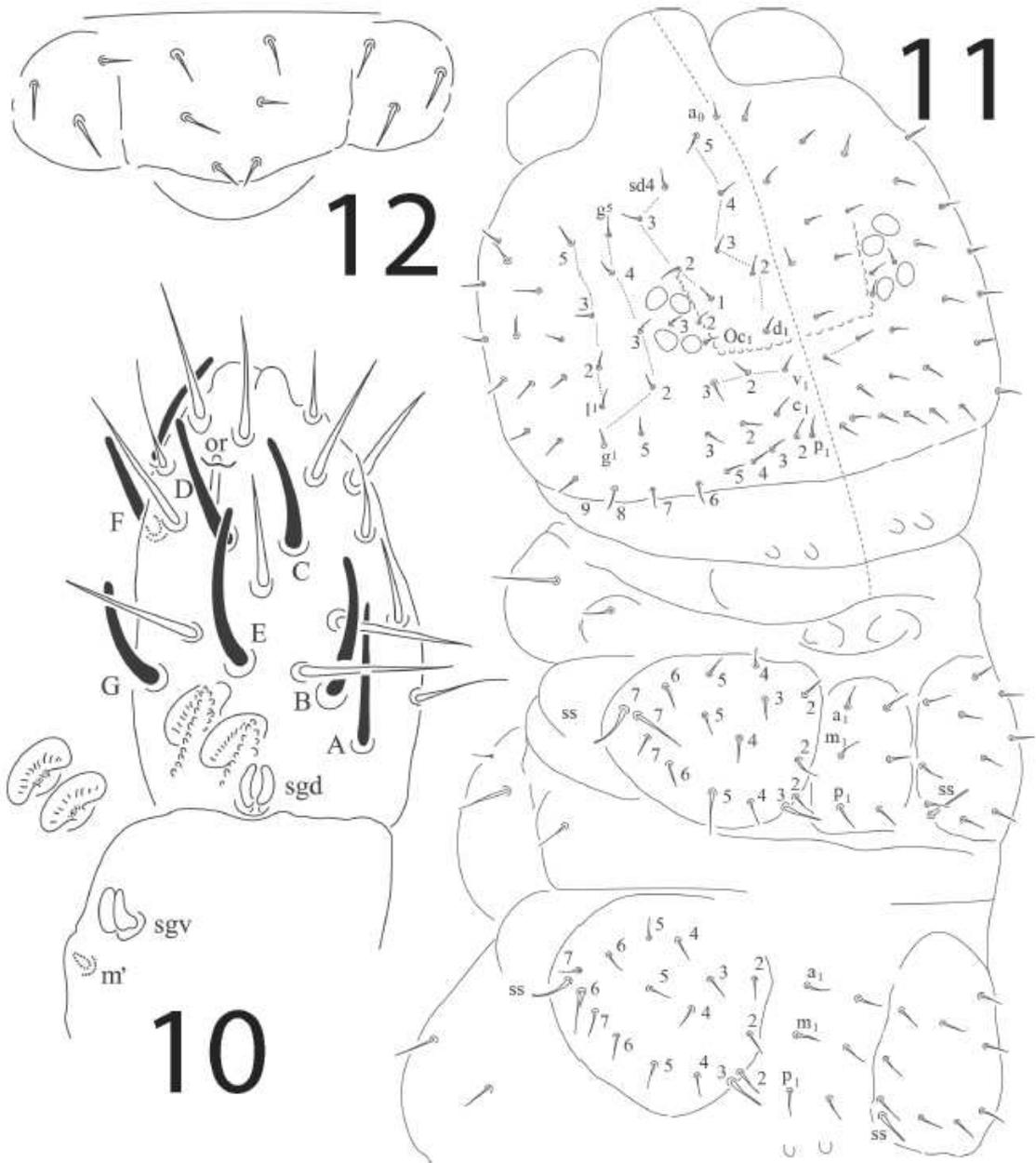


Figs. 8 and 9. *Isotogastrura mucrospatulata* sp. nov. 8, electro scanning microphotographs of furcula posterior view; and 9, mucro antero-medial view.

taxy is compared, the stability of the chaetotaxic pattern within the genus is remarkable. All the segments have the 3 rows of setae, anterior, median and posterior. We noticed that only *I. mucrospatulata* sp. nov. lacks 2 setae on the m row of Th. II and III (only 5 setae on m row versus 7 in *I. veracruzana*; see Table 1). The stronger setal reduction on row m of Abd. I occurs on *I. trichaetosa*. All the species have only one seta on row m of Abd. V (Table 1).

According to Potapov et al. (2011) *Isotogastrura trichaetosa* is the most primitive species of the genus, having more homonomic axial chaetotaxy

of abdomen (3,3,3,3) than is common in the genus (3,3,3,2), normal shape of body, (elongated in other species) and thin sensilla on Ant. IV (very variable in different species). Another primitive character, the simple (vs. bifurcate) dorsal and ventral guard sensilla of antennal organ III, is shared with *I. coronata* (Canary Islands) and *I. madagascariensis* (Madagascar). It is interesting the fact that species from Canary Islands, Madagascar and China have the dorsal and ventral guard sensilla of the sensorial organ of Ant. III simple while all the species from America have bifid guard sensilla (Table 2). Other characters

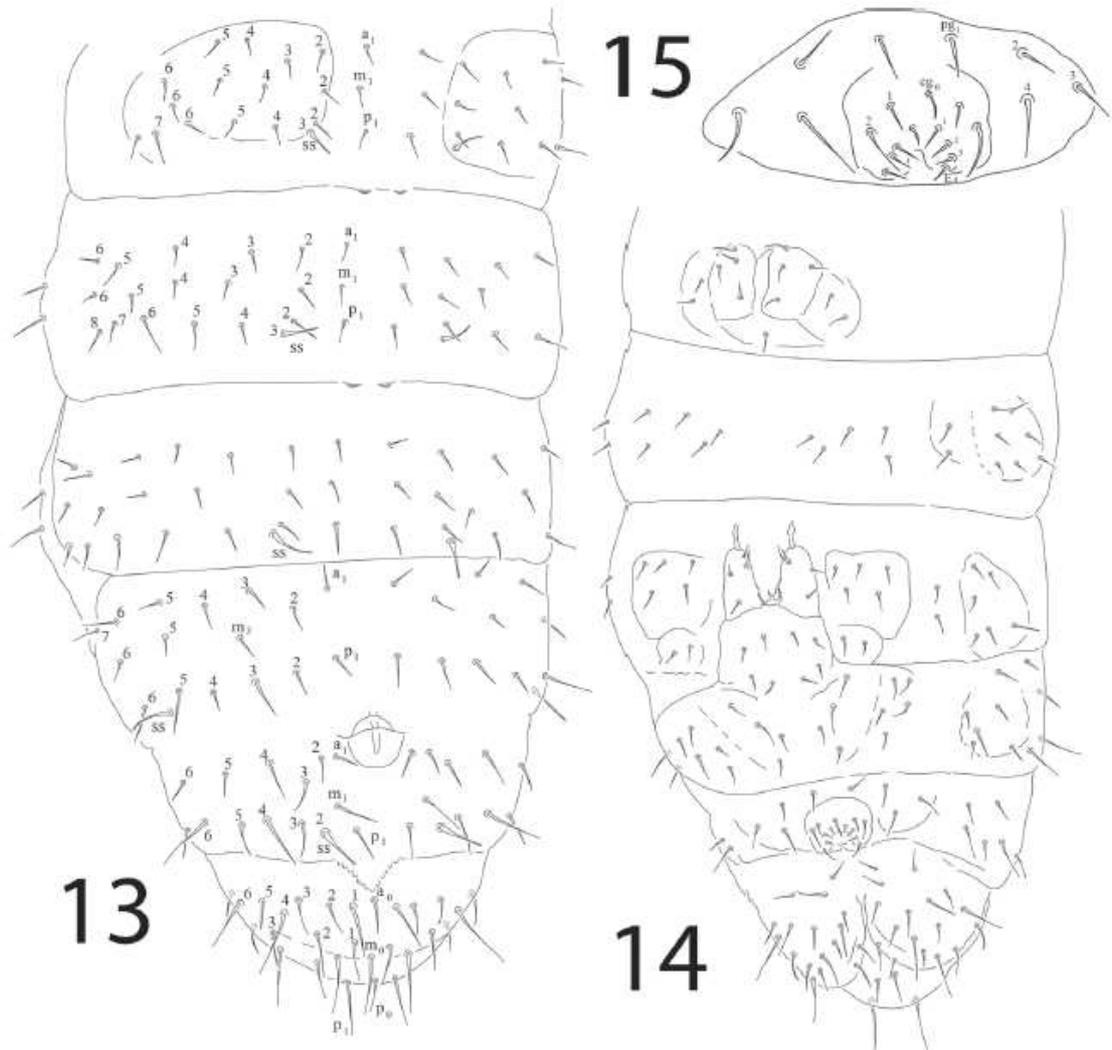


Figs. 10-12. *Isotogastrura mucrospatulata* sp. nov. 10, apex of Ant. III and Ant. IV in dorsal view, 11, dorsal chaetotaxy of head and thorax; and 12, genital plate of female.

have no correlation with the continental distribution of the genus.

Most species of the genus occur between the Tropic of Capricorn and the Tropic of Cancer, except *I. coronata*, which extends into the Mediterranean. The new Brazilian species indicates that *Isotogastrura* is also distributed in the tropical part of South America, and thus the genus is completely pan tropical as proposed by Potapov et al. (2011).

Usually, littoral species are distributed widely along the coasts because of transportation possibilities by water and by similar habitat conditions. With respect to Collembola, Thibaud (2007) remarked that many species from interstitial littoral sands have trans-oceanic distributions; even though this is true for several species, some genera seem to have many species with restricted distributions, such as *Isotogastrura*.



Figs. 13-15. *Isotogastrura mucrospatulata* sp. nov. 13, dorsal chaetotaxy of abdomen; 14, ventral chaetotaxy of abdomen; and 15, genital plate of male.

Systematic Position of Isotogastruridae

The family Isotogastruridae Thibaud & Najt 1992 is monotypic, and only the genus *Isotogastrura* is known. It has an intermediate position between the orders Poduromorpha and Entomobryomorpha (Thibaud & Najt 1992). It is generally accepted that the family belongs to Poduromorpha although its phylogenetic position is still not fully understood (Fjellberg 1995). The character which is taken into account to compare, is the individualized prothoracic tergite, together with many special characters shared either with the Isotomidae or the Hypogastruridae.

When the morphology of the antennae of *Isotogastrura* is compared with other genera, it is found that the sensorial organ of Ant. III has been displaced to Ant. IV. Also in the genus *Tufallia* (Hypogastruridae), Bonet (1946) clearly described this fact: "en el Ant. III sólo queda la sensila lateroventral que en tamaño y forma es muy semejante a la sensila externa del Ant. IV". Therefore this character seems to have a common origin in both genera, *Tufallia* and *Isotogastrura*. The organ in both genera is partly displaced to Ant. IV in that 2 sensilla and 1 guard sensillum are placed at the base of Ant. IV, while only the ventral guard sensillum and the microsensillum remain on the apex of Ant. III. Similar condition occurs in other basal Poduromorpha

TABLE 1. COMPARISON OF CHAETOTAXY AMONG THE SPECIES OF *ISOTOGASTRURA* (BY DEMI-TERGITE).

Species	Th II	Th III	Abd I	Abd IV	Abd V	Distribution
<i>ahuizotli</i>	7 7 7	7 6 7	6 5 7	6 4 6 6	6 1 6	Mexico
<i>arenicola</i>	7 7 7	7 7 7	6 5 7	5 3 6 3	5 1 6	Martinica
<i>atuberculata</i>	7 7 8	7 7 8	6 5 8	7 4 7 6	7 1 8	Mexico
<i>coronata</i>	???	???	???	4 4 7 3	6 1 8	South Europe
<i>litoralis</i>	7 7 7	7 7 8	6 5 8	5 3 5 5	6 1 6	New Caledony
<i>madagascarensis</i>	6 7 6	???	???	5 3 5 4	5 1 6	Madagascar
<i>mucrospatulata</i>	7 5 7	7 5 7	6 5 7	6 3 6 5	6 1 6	Brazil
<i>trichaetosa</i>	7 6 8	7 7 8	5 4 6	7 6 7 4	5 1 6	China
<i>veracruzana</i>	7 7 7	7 7 7	6 5 8	6 4 8 6	6 1 8	Mexico
	a m p	a m p	a m p	a m p ss	a m p	

Th, thoracic segment; Abd, abdominal segment; a, anterior row; m, median row; p, posterior row; ss, position of sensorial seta on Abd IV.

(e.g., Onychiuridae and Tulbergiidae). This feature supports Fjellberg (1995) hypothesis, that *Isotogastruridae* is a Poduromorpha more related with Hypogastruridae.

Anal valves and Abd. VI chaetotaxies resemble those of some species of *Friesea* (Neanuridae) and to *Willemia* (Hypogastruridae), both belonging to Poduromorpha. The presence of cuticular tubercles has been also found in *Willemia meyoeholae* Palacios-Vargas 1987 (Hypogastruridae) from marine littoral sand.

The fusion of abdominal segments is seen in different families of Entomobryomorpha, but

not in Poduromorpha, this is an interesting character that is in discordance with Fjellberg (1995), and must to be taken into account when comparing the families. The reduction of Abd. VI to anal valves also occurs in Actaletidae and some members of Isotomidae, indicating that this condition must be developed several times during the evolution of different groups of Collembola.

A phylogenetic analysis should establish the actual relationship of the genus with the family Hypogastruridae and Order Entomobryomorpha.

KEY FOR THE SPECIES OF *ISOTOGASTRURA*

- 1. Abd. IV with 3+3 axial setae, Abd. VI with 2 posterior cuticular tubercles *I. trichaetosa*
- Abd. IV with 2+2 axial setae, Abd. VI without 2 posterior cuticular tubercles 2
- 2. Abd. V dorsally with a posterior median tegumentary tubercle 3
- Abd. V dorsally without a posterior median tegumentary tubercle 5

TABLE 2. COMPARISON OF TRAITS OF *ISOTOGASTRURA* SPECIES.

Species	µm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>ahuizotli</i>	350	+	1	—	+	BI	4	H	UN	6	—	?	16	5/2	?
<i>arenicola</i>	300-400	+	2	+	—	BI	4	H	—	7	—	3	16	5/2	3+3
<i>atuberculata</i>	350	—	1	—	—	BI	4	H	MOD	7	—	4	16	5/2	?
<i>coronata</i>	350	—	2	—	+	SI	4	H	?	6+2	—	4	16	?	5+5
<i>litoralis</i>	310	—	1	+	—	BI	4	H	?	7	—	?	16	5/2	5+5
<i>madagascarensis</i>	300	—	0	—	+	SI	3 (4)	H	?	7	—	?	16	4/2	5+5
<i>mucrospatulata</i>	350	+	1	—	—	BI	4	SP	MOD	7+1	—	4	16	5/2	5+5
<i>trichaetosa</i>	400	—	1	—	+	SI	4	H	?	8	+	?	16	5/2	5+5
<i>veracruzana</i>	350	+	1	—	—	BI	4	H	—	8	—	4	16	5/2	5+5

1. Abd. V tegumentary tubercle; 2. Abd. I sternite setae number; 3. Abd. III tergite with a pair of tubercles; 4. Prelabral setae (presence vs absence); 5. Sensillum of Ant. III simple or bifid; 6. Dental setae; 7. Shape of mucro; 8. Genital setae; 9. Number of sensilla on Ant. IV; 10. Tubercles on Abd. VI; 11. Setae on labial triangle; 12. Setae on manubrium; 13. Setae on *subcoxae furcalis*; 14. Basal manubrium setae. Abbreviations: bi = bifid; h = hooked; mod = modified; si = simple; sp = spatulate; un = unmodified.

3. Abd. I ventrally with 2 median setae; Abd. III with a pair of posterior median tegumentary tubercles *I. arenicola*
- Abd. I ventrally with only 1 median setae; Abd. III without a pair of posterior median tegumentary tubercles 4
4. Prelabral microsetae absent 8
- Two prelabral setae present *I. ahuiotli*
5. Abd. III dorsally with a pair of posterior median tegumentary tubercles *I. litoralis*
- Abd. III dorsally without a pair of posterior median tegumentary tubercles 6
6. From Th. II to Abd. II dorsally with a pair of posterior median tegumentary tubercles *I. coronata*
- From Th. II to Abd. II dorsally without such tubercles 7
7. No prelabral microsetae; sensillum of sense organ of Ant. III bifid; dens with 4 setae; Abd. I sternite with 1 seta *I. atuberculata*
- Two prelabral microsetae; sensillum of sense organ of Ant. III simple; dens with 3 setae (sometimes 4); Abd. I sternite with no seta *I. madagascarensis*
8. Th. II with 21+21 setae, no genital setae of male modified *I. veracruzana*
- Th. II with 19+19 setae, 2 genital setae of male modified *I. mucrospatulata* sp. nov.

ACKNOWLEDGMENTS

The senior author is grant-supported by PASPA program (DGAPA, UNAM). Zeppelini is grant-supported by CNPq # 301803/2012-9. The Postgraduate Program on Ecology and Conservation (State University of Paraíba) partially supported the research. Biol. Elihu Catalán, Fac. Ciencias, UNAM assisted in the elaboration of line figures and María de Jesús Martínez assisted in the preparation of figure plates.

REFERENCES CITED

- BONET, F. 1946. Más Hipogastrúridos anoftalmos de México (Collembola). Rev. Soc. Mexicana Hist. Nat. 7(1-4): 51-62.
- D'HAESE, C. A. 2003. Morphological appraisal of Collembola phylogeny with special emphasis on Poduromorpha and a test of the aquatic origin hypothesis. The Norwegian Acad. Sci. Lett. Zool. Scripta 32(6): 563-586.
- FJELLBERG, A. 1994. The systematic position of the monotypic family Isotogastruridae (Collembola) with description of *Isotogastrura coronata* n. sp. from Fuerteventura, Canary Islands. Misc. Zool. 17: 123-127.
- PALACIOS-VARGAS, J. G., AND THIBAUD, J. M. 1998. Two new Mexican *Isotogastrura* (Collembola: Isotogastruridae). Canadian Entomol. 130: 195-199.
- POTAPOV, M. B., BU, Y., AND GAO, Y. 2011. First record of the littoral family Isotogastruridae (Collembola) in Asia. ZooKeys 136: 23-29.
- THIBAUD, J. M. 2007. Recent advances and synthesis in biodiversity and biogeography of arenicolous Collembola. Ann. Soc. Entomol. France (n.s.) 43(2): 181-185.
- THIBAUD, J. M. 2008. Les collembolés des sables littoraux de Madagascar. Ann. Soc. Entomol. France (n.s.) 44(4): 503-519.
- THIBAUD, J. M., AND NAJF, J. 1992. Isotogastruridae, a new family of terrestrial interstitial Collembola from the Lesser Antilles. Bonn. Zool. Beitr. 43(4): 545-551.
- THIBAUD, J. M., AND WEINER, W. M. 1997. Collembolés interstitiels des sables de Nouvelle-Calédonie. Zool. Neocaledonica 4(171): 63-89.

5. CONCLUSÕES GERAIS DO TRABALHO

Levando em consideração os resultados apresentados nos capítulos 2 e 3 podemos concluir que:

- As três faixas (ou “*regiões*”) do gradiente ambiental costeiro (cordão arenoso, encostas inclinadas e planícies florestais) apresentam diferentes habitats e os collembolos respondem a esta disponibilidade de habitats.

- A distribuição das comunidades de Collembola observada neste estudo pode contribuir na determinação das escalas espaciais apropriadas para conservação ambiental do arquipélago.

- O arquipélago apresenta alta riqueza e abundância de Collembola, neste estudo foram feitos 39 novos registros de espécies de Collembola para Fernando de Noronha.

- A primeira espécie endêmica de Collembola encontrada em Fernando de Noronha (*Isotugastrura mucrospatulata*) tem distribuição restrita ao cordão arenoso do Arquipélago e desta forma, este ambiente representa uma área prioritária para conservação.

- As espécies de Collembola com ampla distribuição global encontradas nas encostas e nas florestas revelam que estes ambientes sofreram mais alterações decorrentes da ocupação humana do que o cordão arenoso de Fernando de Noronha.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – CAPÍTULO 1

ALLAN, J. D. Components of diversity. **Oecologia**. p. 359–367. 1975.

ALMEIDA, F.F.M. Geologia e petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. **Ministério da Agricultura** - Div. de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro. 181p. 1958.

BALBINO, V.D. **Estrutura genética de populações naturais de *Orphulella punctata* (Acrididae: Gomphocerinae) do estado de Pernambuco.** (Dissertação de mestrado em Genética) Universidade Federal de Pernambuco. 1997.

BARDGETT, R.D.; KEILLER, S.; COOK, R.; GILBURN A.S. Dynamic interpretations between soil animals and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment. **Soil Biol Biochem**, v. 30, p. 531–539, 1998

BASELGA, A. Disentangling distance decay of similarity from richness gradients: response to Soininen et al. 2007. **Ecography**, v. 30, p. 838–841, 2007.

BASELGA, A. Multiplicative partition of true diversity yields independent alpha and beta components, additive partition does not. **Ecology**, v. 91, p 1974–1981, 2010.

BASELGA, A.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; NICCOLINI G. A multiple-site similarity measure independent of richness. **Biology Letters**, v. 3, p. 642–645, 2007.

BATISTELLA, M. Cartografia Ecológica do Arquipélago de Fernando de Noronha. **Acta Botanica brasílica**, v.10, p. 23-35, 1993.

BATISTELLA, M. Espécies vegetais dominantes do arquipélago de Fernando de Noronha: grupos ecológicos e repartição espacial. **Acta bot. bras.** v. 10, p. 223-235, 1996.

BEGON, M.; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C. R. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 4.^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2007

BELLINGER, P.F.; CHRISTIANSEN, K.A.; JANSSENS, F. **Checklist of the Collembola of the World**. Disponível em < <http://www.collembola.org>>.

BELLINI B.C.; ZEPPELINI, D. Registros da fauna de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, p. 386–390, 2009

BRASIL. IBAMA. **Plano de manejo do Arquipélago de Fernando de Noronha**, 2008.

CASSAGNE, N.; GERS, C.; GAUQUELIN, T. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). **BioFertil Soils**, v. 37, p. 355–361. 2003

CHAO, A. R. L.; CHAZDON, R. K.; COLWELL, SHEN, T. J. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. **Ecology Letters**, v. 8, p. 148–159, 2005.

CHAO, A. R. L. CHAZDON, R. K. COLWELL, AND T. J. SHEN. Abundance-based similarity indices and their estimation when there are unseen species in samples. **Biometrics**, v. 62, p. 361–371, 2006.

COLE, L.; BUCKLAND, S.M.; BARDGETT, R.D. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland. **Soil BiolBiochem**, v 37, p. 1707–1717, 2005

CRIST, T. O.; VEECH, J. A.; GERING, J. C.; SUMMERVILLE, K. S. Partitioning species diversity across landscapes and regions: a hierarchical analysis of alpha, beta, and gamma diversity. **American Naturalist**, v. 162, p. 734–743, 2003.

CUTZ-POOL, L. Q.; PALACIOS-VARGAS, J. G.; CASTAÑO-MENESES, G.; GARCÍA-CALDERÓN, N. E. Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, Mexico. **Appl Soil Ecol.**, v. 36, p. 46-52, 2007.

DARWIN, C. **The origin of species by means of natural selection: or, the preservation of favored races in the struggle for life.** London: J. Murray, 1859.

DASMANN, R. F. **A Different Kind of Country.** New York: MacMillan Company, 1968.

DEHARVENG, L..Soil Collembola diversity, endemism, and reforestation: a case study in the Pyrenees (France). **ConservBiol**, v. 10, p.74–84, 1996.

DEJONG, D.; SOARES, A. E. E. An isolated population of italian bees that has survived *Varroa jacobsoni* infestation without treatment for over 12 years. *American Bee Journal*, v.137, p. 742-745, 1997

DETSIS, V.; DIAMANTOPOULOS, J.; KOSMAS, C. Collembolan assemblages in Lesbos, Greece.Effects of differences in vegetation and precipitation. **ActaOecol**, v. 21, p. 149–159. 2000.

FABER, J. H. Functional classification of soil fauna: a new a approach. **Oikos**, v 62, p. 110-117, 1991

FILARDI, C.E.; MOYLE, R.G. Single origin of a pan-Pacific bird group and upstream colonization of Australasia. **Nature**, v. 438, p. 216–219, 2005.

FONSECA, G. A.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G. **Conservation of island biodiversity – importance, challenges and opportunities.** Washington, DC : Center for Applied Biodiversity Sciences, Conservation International, p. 16, 2006.

FRANKHAM, R. Do island population have less genetic variation than mainland populations? **Heredity**, v. 78, p. 311-327, 1997

FREITAS, G. C.C.; VASCONCELOS, S. D. Scorpion fauna of the island of Fernando de Noronha, Brazil: first record of *Tityusstigmurus* (Thorell 1877) (Arachnida, Buthidae), **Biota Neotrop.** v.8, p. 493-495, 2008.

GALVÃO, A.B.; GUITTON, N. Ácaros em poeira domiciliar das capitais brasileiras e ilha Fernando de Noronha. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz.** v. 81, p. 417-430, 1986.

GILLESPIE, R.G. Community assembly through adaptive radiation in Hawaiian spiders. **Science**, v. 303, p. 356–359, 2004

GLOR, R.E., LOSOS, J.B. e LARSON, A. Out of Cuba: overwater dispersal and speciation among lizards in the *Anolis carolinensis* subgroup. **Molecular Ecology**, v. 14, p. 2419–2432, 2005.

GUERRA, J. C. V, JR.; GONÇALVES, L.S.; DEJONG, D. Africanized honey bees (*Apis mellifera* L.) are more efficient at removing worker brood artificially infested with the parasitic mite *Varroa jacobsoni* Oudemans than are Italian bees or Italian/Africanized hybrids. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, p. 89-92, 2000.

HARMS, K.E.; WRIGHT, S. J.; CALDERÓN, O.; HERNÁNDEZ, A.; HERRE, E. A. Pervasive density-dependent recruitment enhances seedling. **Nature**, v. 30, p 404-493, 2000

Heaney, L. R. Is a new paradigm emerging for oceanic island biogeography? **Journal of Biogeography**. v. 34, p. 753–757, 2007.

HILL, M. O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. **Ecology**. v. 54, p. 427-431, 1973.

HOLE, F.D..Effects of animals on soil. **Geoderma**, v. 25, p.75–112. 1981

HOPKIN, S. P. **Biology of Springtails: Collembola (Insecta)**. Oxford University Press, Oxford, UK. 1997

HUHTA, V.; KARPPINEN, E.; NURMINEN, M.; VALPAS, A. Effect of silvicultural practices upon arthropod, annelid and nematode populations in coniferous forest soil.**Ann ZoolFenn**, v. 4, p. 87–145. 1967

HUNTER, M. L. AND GIBBS, J. **Fundamentals of Conservation Biology**. Oxford : Blackwell publishing, Ed. 3, 2007.

Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim técnico 106: Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do IAC**, 2009

IZSÁK, J.; PAPP, L. A link between ecological diversity indices na measures of biodiversity. **Ecological Modelling**, v. 130, p.151-156, 2000.

Rafael, J. A.; Melo G. A. R.; Carvalho, C. B.; Casari, S. A.; Constantino, R. **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. 1ed. Ribeirao Preto: Holos, 2012. p. 201-212,

Jost, L. Entropy and diversity. **Oikos**, v.113, p.363–375, 2006.

Jost, L. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. **Ecology**, v. 88, p. 2427–2439, 2007.

JOST, L.; DEVRIES, P.; WALLA, T.; GREENEY, H.; CHAO, A.; RICOTTA, C. Partitioning diversity for conservation analyses. **Diversity and Distributions**, v. 16, p. 65–76, 2010

KOLEFF, P.; GASTON, K. J.; LENNON, J. J. Measuring beta diversity for presence–absence data. **Journal of Animal Ecology**, v. 72, p. 367–382, 2003.

KUMSSA, D.B.; VAN AARDE, R.J.; WASSENAAR, T.D. The regeneration of soil micro-arthropod assemblages in a rehabilitating coastal dune forest at Richards Bay, South Africa. **Afr. J. Ecol.**, v. 42: p. 346–354, 2004.

Lack, D. **Darwin's finches**. Cambridge: University Cambridge Press, 1947.

Lande, R. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. **Oikos**, v. 76, p. 5–13, 1996.

LAURANCE, W. Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities. **Environmental Conservation**, v. 25, p. 175-185, 1998.

LECROY, M.; BARKER, F. K. A new species of Bush-Warbler from Bougainville Island and a monophyletic origin for Southwest Pacific Cettia. **American Museum Novitates**, v. 3511, p. 1–20, 2006.

LEGENDRE, P.; BORCARD, D.; PERES-NETO, P. R. Analysing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. **Ecological Monographs**, v. 75: p. 435-450, 2005.

LOMOLINO, M.V. A call for a new paradigm of island biogeography. **Global Ecology and Biogeography**, v. 9, p. 1–6, 2000

LOREAU, M. Are communities saturated? On the relationship between alpha, beta, and gamma diversity. *Ecology Letters* v. 3, p. 73–76, 2000.

LOSOS, J.B.; JACKMAN, T.R.; LARSON, A.; DE QUIROZ, K.; RODRIGUES-SCHETTINO, L. Contingency and determinism in replicated adaptive radiations of island lizards. **Science**, v. 279, p. 2115–2118, 1998.

Lubbock, J. 1873. **Monograph of the Collembola and Thysanura**. London: Ray Society, 1873. p.1-276.

Soulé, M. E.; Wilcox, B. A. **Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective**. Massachusetts: Sinauer Associates, 1980.

MACARTHUR, R.; RECHER, H.; CODY, M. On the relation between habitat selection and species diversity. **American Naturalist**, v. 100, p. 319–332, 1966.

MACARTHUR, R.H.; WILSON, E.O. **The theory of island biogeography**. Princeton : Princeton University Press, 1967.

MAGURRAN, A.E. **Measuring Biological Diversity**. Oxford: Blackwell Science, 2004.

MARGULES, C.; HIGGS, A. J.; RAFE, R.W. Modern biogeography theory: are there any lessons for nature reserve design. **Biological Conservation**, v. 24, p. 115-128, 1982.

MARI-MUTT, J. A. e P. F. BELLINGER. **A catalog of the Neotropical Collembola.(Flora e Fauna Handbook)**. Florida: Sandhill Crane Press. 1990.

MARQUES, F.A.; RIBEIRO, M. R; BITTAR, S.M.B.; NETO, J. A. L.; LIMA, J. W. F. Caracterização e classificação de cambissolos do arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 31, p. 5, 2007.

MELO, A. S. O que ganhamos ‘confundindo’ riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade?. **Biota Neotropica.**, v. 8, p. 21-27, 2008

NELSON, G.; PLATNICK, N. **Systematics and biogeography**. New York: Columbia University Press, 1981.

MYERS, N, MITTERMEIER, R.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403 P. 853-858, 2000.

OLIVEIRA, E.P. Influência de diferentes sistemas de cultivos na densidade populacional de invertebrados terrestres em solo de várzea de Amazônia Central. **Amazoniana**, v. 12, p. 495–508, 1993

PALACIOSVARGAS, J. G. ; LIMA, E. C. A. ; ZEPPELINI, D. A new species of *Isotogastrura* (Collembola: Isotogastruridae) from Northeastern Brazil. **The Florida Entomologist**, v. 96, p. 1579-1587, 2013.

PARENT, C. E.; CACCONE, A.; PETREN K. Colonization and diversification of Galápagos terrestrial fauna: a phylogenetic and biogeographical synthesis. **Phil. Trans. R. Soc. B.**, v. 363, p. 3347–3361, 2008.

PETERSEN, H. General aspects of collembolan ecology at the turn of the millennium. **Pedobiologia**, v. 26, p. 246-260, 2002.

PETERSEN, H. A review of collembolan ecology in ecosystem context. **Acta Zoologica Fennica**, v. 195, p. 111-118, 1994

RICKLEFS, R, E. **A economia da natureza**. 6. Ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan

RICOTTA, C. Computing additive beta-diversity from presence and absence scores: a critique and alternative parameters. **Theoretical Population Biology**, v. 73, p. 244–249, 2008.

Ridley, H. N. Notes on the zoology of Fernando Noronha; Thysanura and Collembola. *Journal of the Linnean Society of London, Zoology*, v. 20, p. 556–559, 1890.

ROCHA, S.; CARRETERO, M. A.; VENCES, M.; GLAW, F.; HARRIS, D.J. Deciphering patterns of transoceanic dispersal: the evolutionary origin and biogeography of coastal lizards (*Cryptoblepharus*) in the Western Indian Ocean region. *Journal of Biogeography*, v. 33, p. 13–22, 2006.

ROSEN, D. Vicariant patterns and historical explanations in biogeography. *Systematic Zoology*, v. 27, p. 159–188, 1978.

ROSENZWEIG, M. L. **Species diversity in space and time**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

RUSEK, J. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation.*, v. 7, p. 1207–1219, 1998.

SALOMON, J. A.; SCHAEFER, M.; ALPHEI, J.; SCHMID, B.; SCHEU, S. Effects of plant diversity on Collembola in an experimental grassland ecosystem. *Oikos*, v. 106, p. 51–60, 2004.

SCHLUTER, D. **The ecology of adaptive radiation**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

STIREMAN, J.O. α and β diversity of a tachinid parasitoid community over space and time. *Annals of the Entomological Society of America*, v. 101, p. 362-370, 2008.

STORK N.E.; EGGLETON P. Invertebrates as indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, v. 7, p. 38–47. 1992.

Serafini, T. Z.; França, G. B.; Andriguetto-Filho, J. M. Brazilian oceanic islands:

known biodiversity and its relation to the history of human use and occupation. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, 2010

VEECH, J. A.; SUMMERVILLE, K. S.; CRIST, T. O.; GERING, J. C. The additive partitioning of species diversity: recent revival of an old idea. **Oikos**, v. 99, p. 3–9, 2002.

VEECH, J. A.; CRIST, T.O. **PARTITION: software for hierarchical partitioning of species diversity, version 3.0**, 2009

Veech, J.A. e Crist, T.O. **PARTITION 3.0 user's manual**. (unpublished document), 2009

VILELA, C. R.; DESSEN, E. M. B. O gênero *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae) no território de Fernando de Noronha: dados preliminares. **XII Congresso Brasileiro de Zoologia**. Campinas. 1985. p. 111.

WALLACE, A. R. **Island life, or the phenomena and causes of insular faunas and floras**. London: Macmillan, 1880.

WALLWORK J.A. **The Distribution and Diversity of Soil Fauna**. London: Academic Press, 1976.

WALTER, H. S. The mismeasure of islands: implications for biogeographical theory and the conservation of nature. **Journal of Biogeography**, v. 31, p. 177-197, 2004.

WHITTAKER, R. H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. **Ecological Monographs**, v. 30, p. 279–338, 1960.

WHITTAKER, R. H. Evolution and measurement of species diversity. **Taxon**, v. 21, p. 213-251, 1972.

WHITTAKER, R.J. e FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M. **Island biogeography: ecology, evolution, and conservation**, Oxford: Oxford University Press, 2007.

WHITTAKER, R. J.; TRIANTIS, K. A.; LADLE, R. J. A general dynamic theory of oceanic island biogeography. **Journal of Biogeography**, v. 35, p. 977–994, 2008.

WILSEY, B. J. An empirical comparison of beta diversity indices in establishing prairies. **Ecology**, v. 91, p. 1984–1988, 2010.

WILSON, E. O.; PETER, F. M. **Biodiversity**. National Academy Press, 1988.

WILSON, M. V., SHMIDA, A. Measuring beta diversity with presence–absence data. **Journal of Ecology**. v. 72, p. 1055–1064, 1984.

ZEPPELINI, D. F.; BELLINI, B. C. **Introdução ao estudo dos Collembola**. João Pessoa: Editora Universitaria da UFPB, 2004

ZEPPELINI, D.; BELLINI, B. C.; DUARTE, A. J. C.; HERNANDEZ, M.I.M. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 18, p. 1161-1170, 2008.