

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

**Esforço amostral e ecologia de formigas de liteira, com ênfase em
Gnamptogenys e *Pachycondyla* (Hymenoptera: Formicidae) em
uma floresta de terra firme na Amazônia Oriental.**

Carlos Alberto Ribeiro de Moura

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, Área de Concentração em Ecologia.

MANAUS-AM
2006

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

**Esforço amostral e ecologia de formigas de liteira, com ênfase em
Gnamptogenys e *Pachycondyla* (Hymenoptera: Formicidae) em
uma floresta de terra firme na Amazônia Oriental.**

Carlos Alberto Ribeiro de Moura

Orientadora: Dr^a. Elizabeth Franklin Chilson
Co-orientadora: Dr^a. Ana Yoshi Harada

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, Área de Concentração em Ecologia.

MANAUS-AM
2006

M929 Moura, Carlos Alberto Ribeiro de

Esforço amostral e ecologia de formigas de liteira, com ênfase em *Gnamptogenys* e *Pachycondyla* (Hymenoptera: Formicidae) em uma floresta de terra firme na Amazônia Oriental / Carlos Alberto Ribeiro de Moura. -- 2006. 40 f.

Dissertação (mestrado)--INPA/UFAM, Manaus, 2006.

1. Formigas – Ecologia – Amazônia 2. *Gnamptogenys* 3. *Pachycondyla*

I. Título

CDD 19. ed. 595.796045

Sinopse

Foram utilizados os conceitos de suficiência e resolução taxonômica, rarefação e diluição de amostras, aliados ao teste de autocorrelação de Mantel, para avaliar o esforço amostral do Protocolo de coleta de formigas de liteira do projeto TEAM-Caxiuanã. Foi verificado que há a possibilidade de redução do esforço utilizado para detectar os gêneros como um todo, mas não para os dois gêneros focais. As variáveis ambientais não foram suficientes para explicar a distribuição dos organismos estudados.

Palavras chave: Formicidae, *Gnamptogenys*, *Pachycondyla*, Esforço amostral, Liteira, Caxiuanã, Amazônia Oriental.

À Juliana, minha querida esposa,
por estar muito além dos agradecimentos,
dedico.

Agradecimentos

Aos meus pais, pelo carinho, dedicação, sacrifícios e educação que me ofereceram, mesmo que tenham falhado em alguns momentos, humanos que são; e ao meu irmão, meu caçula predileto.

Aos meus avós, que não puderam esperar para ver esta dissertação pronta.

As minhas outras avós: Tia Penha, Tia Sílvia e Vó Nilza. Aos tios e primos, em especial ao Tio Bolão, Tia Ana “Saara”, Tia Célia “Ziprega” e José “Zé” Cyro.

A minha supra e super-orientadora Beth Franklin Chilson, sempre atenta aos detalhes científicos, psicológicos e até a algumas técnicas não convencionais de boliche que acabam por permear o aprendizado de um mestrando.

Ao “Jorjão” Luis de Souza, ao Kazé “*Leptothorax*”, ao Edilson “*Solenopsis*” Fagundes, Eduardo “Croata” Sanhudo por terem participado desta parte importante da minha vida, em especial à fase paraense, por terem tornado mais fácil superar os obstáculos e empecilhos e a saudade da Juliana, os quais poderiam ter emperrado minha cabeça e esta dissertação.

A Evanira “Eva” Santos, pelo apoio e amizade e por emprestar a idéia original de diluir as amostras. Ao Cláudio Yano e Gabriel Akio Yano por apoiarem a Eva e a manterem de pé ao longo do doutoramento, o que por sua vez permitiu que ela pudesse me ajudar.

Ao Adeilson “Arrozão” Lopes, por ser um figuraça e pelas lições sobre qualidade de vida. Ao Domingos “*Poxó/Clean/Paper*” Bororo pelas discussões úteis e inúteis, e à Valéria pelos inúmeros bolos de chocolate de caixinha.

Ao Dr. Bill Magnusson pela paciência e presteza dispensada para a realização deste trabalho, em especial pelos comandos Systat que pouparam alguns meses de trabalho braçal e computacional.

Aos estudiosos dos insetos sociais com glândula metapleurais mais interessantes do planeta terra, por terem acumulado e divulgado suas descobertas tornando este estudo possível. Ao José M. Vilhena pelo bom humor e pela confirmação das identificações.

Aos professores e colegas do curso de Ecologia, pelos ensinamentos curriculares e extracurriculares, como atar redes, amarrar mosquiteiro, remar e se equilibrar em uma canoa regional... A Geize Pacheco, por ser tão prestativa e sempre bem disposta a ajudar aos mestrandos incautos.

Às colegas do laboratório, e a Dona Virgínia.

Aos colegas da Rural, do Grupo de Agricultura Ecológica e do M3-327.

Ao Juca, Magali, Simone, Marcelo Thales, Alci “Kasé”, Edson “Kasé”, Ima, Cida e todos colegas do TEAM Caxiuanã pelo apoio à realização deste estudo.

Aos funcionários da Estação Científica Ferreira Penna, Cuca, Colombinho, “Seu” Joca, Renato e Ricardo. Em especial ao Calafate por ter me dado uma carona de barco, de volta à ECFP quando eu me encontrava perdido na floresta tropical de terras baixas próxima do Plot I.

Ao Dr. Ricardo Berbara, por ter me incentivado a me aventurar pelos caminhos da pesquisa.

Ao “Seu” Bernardo e família, pelo apoio e amizade.

Aos colegas do LBA-MAO: Napoleão, Hermes, Rubenildo, Ruth, Josefina, Tota, Fábio, Sílvia, Celso, Júlios, Remko...

Ao TEAM pela bolsa parcial e pelo apoio logístico.

À FAPEAM pela bolsa parcial, que não falhou em atrasar em nenhum dos meses aos quais eu tinha direito a recebê-la.

ÍNDICE

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas.....	vii
Lista de apêndices	viii
Resumo.....	ix
Abstract	x
1) INTRODUÇÃO	1
1.1) A iniciativa TEAM e o Protocolo de Formigas de Liteira.....	2
1.2) Suficiência e resolução taxonômicas	3
1.3) A escala espacial.....	5
1.4) Otimização da coleta e triagem.....	5
1.5) Ecologia	6
2) OBJETIVO GERAL	7
3) OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4) MATERIAL E MÉTODOS	8
4.1) Área de estudo.....	8
4.2) Delineamento experimental	9
4.3) Coleta de formigas	10
4.3.1) Técnica de liteira – Mini-Winkler.....	10
4.3.2) Método do “Pitfall”.....	11
4.4) Identificação do material coletado	12
4.5) Diluição das amostras	13
4.6) Análises de solo e demais parâmetros ambientais	14
5) ANÁLISE DOS DADOS.....	15
6) RESULTADOS.....	17
6.1) As taxocenoses.....	17
6.2) Esforço amostral: rarefação das amostras.....	20
6.2.1) Redução do esforço amostral no campo considerando os transectos	20
6.3) Redução do esforço amostral em laboratório: diluição das amostras	23
6.3.1) Similaridade entre transectos	23
6.3.2) Similaridade entre parcelas	24
6.4) Ecologia	25

7) DISCUSSÃO	27
7.1) As Taxocenoses	27
7.2) Esforço amostral: rarefação e diluição de amostras.....	28
7.3) Ecologia	30
8) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

Lista de Figuras

Figura 1. Localização das parcelas (quadrados) na área da Estação Científica Ferreira Penna. O ponto (●) representa a localização da sede da estação, a linha branca representa os limites da Estação Científica Ferreira Penna. A.....	9
Figura 2. Representação esquemática do sistema de trilhas dentro de um das seis parcelas utilizadas neste estudo, demonstrando o posicionamento dos quatro transectos (linhas pontilhadas), sendo alocado um transecto por quadrante.....	9
Figura 3. Curva de rarefação dos gêneros de Formicidae em 24 transectos, na Estação Científica Ferreira Penna, Pará. A. Winkler, B. Pitfall. rM = valores da estatística de Mantel.	20
Figura 4. Valores da estatística de Mantel (rM) calculados para diferentes níveis de rarefação de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 24 transectos com 10 amostras cada. A linha sólida representa a média dos valores observados. A. <i>Pachycondyla</i> , Pitfall; B. <i>Pachycondyla</i> , Winkler; C. <i>Gnamptogenys</i> , Pitfall; D. <i>Gnamptogenys</i> , Winkler...	21
Figura 5. Valores da estatística de Mantel (rM) calculados para diferentes níveis de rarefação de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 6 parcelas com 40 amostras cada. A linha sólida representa a média dos valores observados. A. Gêneros, Pitfall; B. Gêneros, Winkler.....	22
Figura 6. Valores da estatística de Mantel (rM) calculados para diferentes níveis de rarefação de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 6 parcelas com 40 amostras cada. A linha sólida representa a média dos valores observados. A. <i>Pachycondyla</i> , Pitfall; B. <i>Pachycondyla</i> , Winkler; C. <i>Gnamptogenys</i> , Pitfall; D. <i>Gnamptogenys</i> , Winkler...	23
Figura 7. Valores de rM calculados para diferentes níveis de diluição de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 24 transectos com 10 amostras cada. A. <i>Pachycondyla</i> , Pitfall; B. <i>Pachycondyla</i> , Winkler; C. <i>Gnamptogenys</i> , Pitfall; D. <i>Gnamptogenys</i> , Winkler.....	24
Figura 8. Valores de rM calculados para diferentes níveis de diluição de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 6 parcelas com 40 sub-amostras cada ($rM = 1$). A. <i>Pachycondyla</i> , Pitfall; B. <i>Pachycondyla</i> , Winkler; C. <i>Gnamptogenys</i> , Pitfall; D. <i>Gnamptogenys</i> , Winkler.....	25

Lista de Tabelas

Tabela 1. Abundância relativa dos 49 gêneros coletados no Pitfall e no Winkler. Valores obtidos representam o número de presenças observado dividido pelo número de amostras (n=240).....	18
Tabela 2. Abundância relativa das espécies de <i>Gnamptogenys</i> coletadas no Pitfall e no Winkler. Valores obtidos representam o número de presenças observado dividido pelo número de amostras (n=240).....	19
Tabela 3. Abundância relativa das espécies de <i>Pachycondyla</i> coletadas nos métodos Pitfall e Winkler. Valores obtidos representam o número de presenças observado dividido pelo número de amostras (n=240).....	19
Tabela 4. Valores médios e amplitude de variação dos dados ambientais coletados em 240 pontos ao longo dos 24 transectos utilizados neste estudo. As variáveis em <i>itálico</i> foram utilizadas nas análises ecológicas.....	26
Tabela 5. Valores do coeficiente de regressão e das probabilidades, obtidos através da análise de regressão múltipla (n = 240).....	26

Lista de apêndices

Apêndice 1. Exemplo de linhas de comando Systat (.syc) utilizadas para fazer a rarefação de amostras nas parcelas (PLOT); onde *DformC* = pasta de origem das planilhas, *NPA.syd* = matriz triangular utilizada como referência pelo programa para retirada de amostras, *ran* = coluna de números aleatórios gerados pelo programa para reordenar a planilha *NPA.syd*. O exemplo representa a segunda repetição *NPA2_1* retirada de duas amostras por parcela *N2=1*.

..... 38

Apêndice 2. Matrizes de correlação de Pearson e de probabilidades de Bonferroni, calculadas com as variáveis ambientais coletadas. Legenda: K= concentração de potássio no solo; Na = concentração de sódio no solo; CA = concentração de cálcio no solo; Ca/Mg = [Ca+Mg] no solo; Al = concentração de alumínio no solo. Número de observações: 240..... 38

Resumo

A ampliação do uso das formigas (Hymenoptera: Formicidae) em monitoramentos e inventários implica em uma crescente quantidade de material coletado, limitação financeira e de pessoal treinado na taxonomia deste grupo. Busquei contornar estas limitações, através da análise do esforço do protocolo do Projeto TEAM, utilizando os conceitos de suficiência e resolução taxonômica, rarefação e diluição de amostras, aliados ao teste de randomização de Mantel para verificar a autocorrelação entre os conjuntos de amostras. As formigas foram identificadas a gênero e os indivíduos dos gêneros *Pachycondyla* e *Gnamptogenys*, a espécie. Objetivei determinar qual o esforço mínimo exigido para obter um inventário adequado destes taxa, avaliando qual o número mínimo de amostras e a diluição máxima das mesmas para detectá-los sem reduzir a viabilidade dos dados, e ainda, determinar o efeito das variáveis ambientais, sobre as taxocenoses. Coletei nas parcelas do TEAM-Caxiuanã, localizadas na Estação Científica Ferreira Penna, com o método Winkler e Pitfall, de 26/10 à 3/11/03, durante a estação seca. A unidade amostral empregada foi o transecto de 100 m, num total de 24 com 10 sub-amostras distando 10 metros entre si. As variáveis ambientais empregadas não foram suficientes para explicar a distribuição das espécies estudadas. Aparentemente o número de espécies em um conjunto de amostras não é condição determinante para diluir as amostras, mas sim a abundância. É desejável que as análises feitas neste estudo sejam replicadas com uma maior número de coletas deste mesmo protocolo. Protocolos orientados para um grupo que engloba um grande número de espécies podem incorrer em erros amostrais devido aos distintos requerimentos ecológicos das espécies envolvidas. Estudos ecológicos tratando em isolado as espécies de *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*, são necessários para se estabelecer quais fatores condicionam a distribuição destas.

Abstract

The increasing use of ants (Hymenoptera: Formicidae) for monitoring and in inventory programs results in a greater amount of sampling material, with financial limitations and lack of experts to make the taxonomy of this group. I looked forward to overcoming these problems through the analysis of the effort of the TEAM Project protocol, using the concepts of taxonomic sufficiency, rarefaction and sample dilution, applied to the randomization test of Mantel, to verify the autocorrelation among groups of samples. The ants were identified to genus and the individuals of *Pachycondyla* and *Gnamptogenys* to species. The aim of the study was to determine the minimum effort necessary to obtain an appropriate inventory of these taxa, evaluating the minimum number of samples and the maximum dilution to detect them without reducing the viability of the data, and also, to determine the effect of the environmental variables over the taxocenoses. In a continuous primary forest area, during October 26th and November 3rd, 2003, during the dry season, I sampled ants and other invertebrates in 6 plots distributed in 33,000 ha. Each plot was 1 km² and in each one, 4 transects of 100 m were surveyed. Using Winkler and pitfall traps 10 sub-samples were collected in each transect, separated 10 m from each other. The environmental variables (volume of litter, percentage of sand, temperature and pH of the soil) utilized were not enough to explain the distribution of the species studied. Apparently the number of species in a group of samples is not the only determinant condition to proceed in the dilution of the samples. It is desirable that the analyses proceeded in this study can be repeated with a greater number of samples of this same protocol. Protocols oriented to a group that encompasses a larger number of species can have amostral mistakes because of the distinct ecological requirements of the species involved. Isolated ecological studies encompassing *Gnamptogenys* and *Pachycondyla* are necessary to establish those factors that are related to the distribution of these species.

1) INTRODUÇÃO

Muito já se sabe sobre as formigas, e muito há por ser descoberto. As aplicações deste conhecimento vão desde tentativas de se controlar formigas invasoras até o uso de robôs biomórficos programados com base no comportamento das formigas (Hymenoptera, Formicidae) (Moller 1996, Krieger *et al.* 2000). As formigas fazem parte do imaginário popular e da cultura de alguns povos, fazendo parte de sua alimentação entre os índios Uanano, do noroeste da Amazônia brasileira (Chernela 1983) e em rituais de iniciação, como o uso da tocandira (*Paraponera clavata*) realizado pelos índios Sateré-Mawé e da tapiñai (*Pachycondyla commutata*) entre os Ka'apor (Balée 2000).

Dorigo e colaboradores (2000) afirmam que as formigas possuem uma biomassa da mesma ordem de magnitude dos humanos, ressaltando que assim como nós humanos, elas podem ser encontradas virtualmente em todos os lugares. As formigas são um dos componentes com maior abundância da entomofauna das florestas tropicais de diferentes partes do mundo (Majer 1993, Ellwood & Foster 2004). São um componente importante da biomassa de Arthropoda de dossel na floresta tropical úmida brasileira, sendo abundantes no solo e na vegetação baixa das florestas tropicais (Fittkau & Klinge 1973, Adis *et al.* 1984).

Elas afetam a abundância e distribuição de diversos organismos animais e vegetais, através de competição (Levings e Franks 1982), predação (Halaj *et al.* 1997, Floren *et al.* 2002, Zettler *et al.* 2001) e ainda atuando como engenheiros do ecossistema (Decaëns *et al.* 2001; Wilby *et al.* 2001). Exercem ainda um impacto na predação e dispersão de sementes e sobre a estrutura das comunidades de invertebrados (Folgarait 1998 *apud* Longino *et al.* 2002, Passos e Oliveira 2002).

A família Formicidae é muito diversa, possuindo 21 subfamílias, 297 gêneros e mais de 11.905 espécies (ANTBASE 08/06/2006), sendo que o número de gêneros desconhecidos pode chegar a 100 e o número de espécies desconhecidas é difícil de ser estimado (Hölldobler & Wilson 1990). Esta diversidade está muito bem representada na região Neotropical em especial na Bacia Amazônica (Hölldobler & Wilson 1990). Formicidae, assim como outros taxa de invertebrados devem ser incluídos em estudos de biodiversidade devido à grande diversidade e rápida resposta às mudanças ambientais (Longino *et al.* 2002). Por serem de ampla distribuição e relativamente fáceis de serem identificadas, as formigas vêm sendo utilizadas como modelos para obter respostas a diversas questões ecológicas mais centrais

como forrageio ótimo, relação entre produtividade e diversidade e a influência da competição na estrutura de comunidades (Kaspari 2000, Kay 2002, Ribas e Schoereder 2002).

Dada a importância deste grupo, e sua relativa facilidade de ser coletado e identificado, seu uso em inventários rápidos de biodiversidade e monitoramentos têm se ampliado pelo mundo e na Amazônia, em projetos de grande escala espaço-temporal como o PDBFF - Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais e o TEAM - Tropical Ecology Assessment and Monitoring, (Carvalho & Vasconcelos 1999, Batra 2003). A ampliação do uso destes organismos implica em uma crescente quantidade de material coletado que vai de encontro à limitação de recursos de ordem financeira e número insuficiente de pessoal treinado na taxonomia deste grupo. Este estudo busca contornar algumas destas limitações. Busquei isto através de uma análise do esforço empregado no protocolo de coleta de Formicidae de uma das iniciativas citadas anteriormente, o projeto TEAM. Para tal, utilizei alguns conceitos que serão introduzidos a seguir, como suficiência e resolução taxonômica e rarefação e diluição de amostras, aliados ao teste de randomização de Mantel.

1.1) A iniciativa TEAM e o Protocolo de Formigas de Liteira

O presente estudo foi conduzido com base em dados coletados nas seis parcelas do Programa de Ecologia, Avaliação e Monitoramento de Florestas Tropicais - Caxiuanã, seguindo o Protocolo de Formigas de Liteira (AMP) deste mesmo projeto (Batra 2003). As parcelas do componente TEAM-Caxiuanã estão localizadas na Estação Científica Ferreira Penna (ECPF), ligada ao Museu Paraense Emílio Goeldi.

O sistema da liteira inclui a liteira acima do solo, a qual serve como fonte de energia, uma rica microflora dominada por fungos, e os invertebrados epigeicos e raízes superficiais, os quais agem como macro-organismos regulatórios (Lavelle & Spain 2001). Neste estudo utilizo o termo liteira em consonância com o adotado pelo projeto TEAM e conforme a definição de Vieira (1998), o qual define liteira como o conjunto de resíduos orgânicos, predominantemente de origem vegetal que se depositam sobre o solo da floresta.

O TEAM se estenderá por um período de 10 anos, e espera atingir uma meta de 50 estações distribuídas em diversas regiões tropicais, gerando uma grande base de dados taxonômicos e ecológicos sobre formigas, vegetação, borboletas, primatas e mamíferos terrestres. Este projeto é uma iniciativa do Centro para Ciência de Biodiversidade Aplicada (CABS) da Conservation International (CI), e é financiado pela Fundação Moore. O objetivo

do projeto é monitorar os grupos alvo para gerar uma rede de alerta que permita identificar mudanças na biodiversidade visando subsidiar possíveis ações conservacionistas em tempo hábil.

1.2) Suficiência e resolução taxonômicas

Estudos envolvendo resolução e suficiência taxonômica têm sido empregados com o objetivo de melhorar a eficiência de monitoramentos de comunidades de formigas (Andersen 1995, Pik *et al.* 1999) e com maior frequência nos estudos de impacto de poluentes sobre comunidades bênticas (Thompson *et al.* 2003, Terlizzi *et al.* 2003). A resolução taxonômica refere-se a qual nível taxonômico foi utilizado em determinado estudo, enquanto a suficiência taxonômica envolve o conceito de parcimônia, referindo-se ao nível taxonômico mais alto, ou menos refinado, que pode ser empregado para obter uma resposta clara para a questão levantada pelo pesquisador (Ellis 1985 *apud* Thompson *et al.* 2003).

Tendo como exemplo a Reserva Ducke, Amazônia Central, apesar da grande extensão amostral em estudos que abrangeram 10.000 ha, a separação dos invertebrados (meso e macrofauna da liteira) em níveis taxonômicos superiores de Ordem ou Família, em grupos funcionais, em guildas ou em classes de abundância não refletiram de uma maneira clara o comportamento das comunidades sobre o solo. Estudos mais detalhados utilizando o nível taxonômico de espécie foram necessários para acessar os padrões de distribuição dos animais na reserva. Esses aspectos devem ser considerados principalmente para aquelas taxa mais abundantes que englobam maior número de indivíduos e de espécies (Guimarães 2003, Fagundes 2003). Fagundes (2003) em seu estudo abrangendo artrópodes de solo na Reserva Ducke, ao utilizar uma maior resolução taxonômica identificando os gêneros de Formicidae, obteve respostas mais claras para o padrão de distribuição das mesmas do que obteria se empregasse apenas a resolução ao nível de família.

Os diferentes níveis de resolução taxonômica podem fornecer informações distintas sobre um determinado grupo de organismos (Kaspari 2001). Nesse estudo, empreguei maior resolução taxonômica em dois gêneros; *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*, identificando os indivíduos coletados em espécie. Estes gêneros foram escolhidos por serem comuns nos dois métodos de coletadas utilizados (*Mini-Winkler* e *Pitfall*) pelo protocolo AMP, e por possuírem uma diversidade de cerca de dez espécies cada (A. Harada, comunicação pessoal).

Isso facilita o trabalho de identificação e permite calibrar a diluição das amostras, no tocante à detecção de espécies (William E. Magnusson, comunicação pessoal).

Após a revisão feita por Bolton (*apud* Longino 2005), *Gnamptogenys* passou a fazer parte da subfamília Ectatomminae e *Pachycondyla* foi mantida na subfamília Ponerinae. Neste estudo, tratarei estes gêneros como poneromorfos. Os poneromorfos junto com as subfamílias Formicinae e Myrmeciinae, estão entre os grupos mais antigos dentre as formigas que ocorrem atualmente, sendo neste grupo encontrado a descrição de um fóssil com cerca de 92 milhões de anos (Agosti *et al.* 1997). Apesar de não ser o mais antigo grupo de formigas, seu surgimento parece ter influenciado sobremaneira o destino de outros grupos (Wilson & Hölldobler 2005). Antes da revisão de Ponerinae, a mesma era composta por 22 gêneros, nos quais a maioria das espécies é predadora de artrópodos, com diferentes níveis de especialização, algumas agindo como oportunistas ou necrófagas.

O gênero *Pachycondyla* abriga uma grande diversidade morfológica e comportamental, é distribuído mundialmente, apresentando cerca de 200 espécies descritas (Wild 2002). Este gênero abriga um grande número de gêneros que foram sinonimizados em *Pachycondyla*, portanto não é estranho que haja uma variação tão grande de exigências e respostas ecológicas por parte das espécies nele inclusas. No gênero *Pachycondyla* ocorrem desde espécies menores, criptobióticas que forrageiam na liteira (Wild 2002) até as grandes e conspícuas, como *P. apicalis*, que podem ser observadas se deslocando sobre a liteira em busca de presas (Fresneau 1985). Em algumas espécies não existem rainhas, neste caso operárias férteis são responsáveis pelas novas gerações (Hölldobler e Wilson, 1990).

Para o gênero *Gnamptogenys* existem 90 espécies registradas nas regiões Neotropical, Neártica e Australiana (Lattke, 1990). Registros mais atuais apontam 102 espécies em todo o globo e 64 no Novo Mundo (Hedlund, 2004). A variação morfológica e comportamental também é pronunciada. Geralmente nidificam na liteira e sobre troncos em decomposição e comumente são encontrados restos de artrópodos, incluindo outras formigas, nos ninhos de diversas espécies; a maioria das espécies é restrita às florestas tropicais úmidas (Lattke, 1990). Logo, neste estudo vou utilizar dois níveis de resolução taxonômica distintos: gênero, e espécie nos dois últimos casos apresentados.

1.3) A escala espacial

De acordo com May *et al.* (1994), muito de nossa atenção é focada na ecologia e comportamento de espécimes de grupos pouco diversos, por um período igual ou inferior a três anos e em uma escala espacial de 10m ou menos. Estes estudos, por vezes, utilizam escalas que são inteiramente apropriadas à questão que está sendo feita, porém em alguns casos adotam escalas que derivam mais de restrições de tempo e de financiamento do que de um cuidadoso inventário em uma escala espacial que governa o sistema em questão. Entretanto, a maioria das reservas ecológica possui de milhares a milhões de hectares. Desse modo, visando atender a uma escala espacial que atinja toda nossa área de inferência (33.000 ha da ECFP), efetuamos coletas em 6 parcelas de 1km² dispersas ao longo da Estação, totalizando uma área de 600 ha.

1.4) Otimização da coleta e triagem

É importante notar que os invertebrados terrestres só poderão ser amplamente usados como bioindicadores de manejo de áreas somente quando protocolos de coleta simples e eficientes tiverem sido desenvolvidos (Andersen *et al.*, 2002). Do mesmo modo, a redução do esforço de coleta exigida em inventários intensivos é de crucial importância. Porém, o desafio maior é efetuar essa redução sem reduzir a confiabilidade e a viabilidade dos dados.

Devido a todas as características citadas anteriormente, oriundos de incertezas taxonômicas, da escala espacial, da triagem e da necessidade de empregar um protocolo padrão para Formicidae, considereirei que o protocolo de coleta do TEAM prevê um grande esforço amostral e que o mesmo seria passível de ser reduzido. Para fins de comparação, na coleta empregada neste estudo, seguindo o AMP, foram peneirados cerca de 2.188 L de liteira, obtendo cerca de 144 L de liteira já peneirada, a qual foi utilizada para se extrair os invertebrados pelo método do Mini-Winkler. O AMP prevê a realização de quatro coletas por ano, considerando uma média de 0,6 L de liteira já peneirada por extrator (Mini-Winkler), e tendo 240 amostras coletadas 4 vezes ao ano, ao fim de dez anos seriam coletados cerca de 5.760 litros de material peneirado, em uma área de 600 hectares (0,96 L . ha⁻¹. ano⁻¹). No inventário de formigas da Estação Biológica de La Selva (Longino *et al.* 2002) foram coletados 246 litros (41 amostras de 6 L cada, com o método Winkler) em cerca de 1.500 ha (0,011 L. ha⁻¹. ano⁻¹). Vale ressaltar que este volume foi coletado durante quatorze anos de coletas do projeto ALAS, e que este projeto utilizou várias técnicas de coletas

complementares (Longino *et al.* 2002). Em uma extrapolação grosseira dos dados de coleta deste estudo, teríamos 288.000 L de liteira nos dez anos de atuação das 50 estações previstas no projeto TEAM, dos quais serão extraídos artrópodos e formigas suficientes para muitos anos de triagem.

Além da extensão das coletas existem outros fatores, como os entraves na identificação e incremento do tempo de processamento das amostras de inventários multitaxa, os quais estão intimamente relacionados à redução do tamanho corporal dos indivíduos estudados (Lawton *et al.* 1998). Embora a situação da identificação de formigas seja bem mais resolvida que em outros artrópodes, elas não são exceção a esta regra e em muitos gêneros são comuns os entraves no momento da identificação de algumas espécies, em especial dentre os gêneros muito especiosos.

Portanto, diante da equação: alta diversidade, recursos logísticos e financeiros limitados, desafio taxonômico com a escassez de especialistas e de pessoal treinado para processar todo o material que originalmente deverá ser coletado pelo projeto, foi elaborado este estudo. Este se constitui numa avaliação da possibilidade de redução do esforço amostral, verificando o número mínimo de amostras, assim como a diluição máxima das amostras, resultando em diferentes concentrações que sejam suficientes para obter dados de qualidade específica. A tentativa de se poupar esforço de triagem já obteve sucesso em outro estudo, que aliou suficiência taxonômica e diferentes intensidades de coleta (variação no diâmetro da malha empregada), a qual influi na quantidade de material coletado e tempo necessário para triagem e identificação (Thompson *et al.* 2003).

Desse modo, neste estudo, avalio aqui a possibilidade de uma redução do esforço amostral através da rarefação e diluição, tendo em vista a manutenção da qualidade do dados, tendo como valores de referência os valores obtidos com o número total de amostras coletadas com o esforço atualmente utilizado pela iniciativa TEAM.

1.5) Ecologia

As mudanças ambientais de um local para outro são percebidas de maneira peculiar por cada grupo de organismos (Janzen 1973). As formigas são influenciadas por diversos fatores como disponibilidade de recursos, locais disponíveis para nidificação e perturbações de diversas origens (Kaspari, 1999). São também influenciadas pelo “*heat stress*” ou risco de dissecação. Dentre os fatores que determinam este risco, existe indiretamente a abertura de dossel e diretamente a umidade do solo (Levings 1983, Kaspari e Weiser 2000).

Embasando-me no que já tem sido inferido pelos autores acima citados, incluí as seguintes variáveis preditoras em meu estudo: temperatura do solo, umidade do solo, volume de liteira, abertura de dossel, temperatura do ponto de orvalho, temperatura do ar, umidade relativa do ar, pH do solo, bases trocáveis (P, K, Na, Ca, Ca+Mg), teor de Al, granulometria.

Neste estudo foram empreguei os mesmos métodos de coleta do AMP: Mini-Winkler e armadilhas Pitfall. A coleta utilizada neste estudo é a mesma que foi incluída no protocolo como a 4ª coleta do primeiro ano de coletas do TEAM - Caxiuanã. Os pontos de coleta de dados ambientais são coincidentes com os pontos de amostragem de formigas.

2) OBJETIVO GERAL

Avaliar qual a quantidade mínima de amostras que deve ser coletada e triada e qual a porcentagem máxima de diluição das mesmas, para detectar os gêneros de formigas e as espécies de *Pachycondyla* e *Gnamptogenys* que ocorrem no local do estudo, visando satisfazer a necessidade de informação sem reduzir a confiabilidade e a viabilidade dos dados necessários para revelar os padrões ecológicos nas taxocenoses (*comunidades*) em estudo.

3) OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I - Determinar qual o esforço mínimo exigido para se obter um inventário adequado dos gêneros de Formicidae e das espécies de *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*, avaliando o número de amostras, assim como a diluição das mesmas, sem reduzir a confiabilidade e a viabilidade dos dados.

II - Determinar o efeito das variáveis ambientais, sobre as taxocenoses de formigas a nível genérico e a nível específico para *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*

4) MATERIAL E MÉTODOS

4.1) Área de estudo

A coleta foi conduzida nas parcelas do Projeto TEAM Caxiuanã, como parte do protocolo de formigas de liteira. Estas parcelas foram alocadas na Estação Científica Ferreira Penna (EFCF), pertencente ao Museu Paraense Emílio Goeldi. A EFCF está localizada no Município de Melgaço, Pará (1° 30' e 1° 50' latitude sul e 51° 15' a 51° 45' longitude leste). A altitude média é de 30 metros.

Este estudo abrange uma escala espacial coberta por seis parcelas de 1.000 m² cada, abrangendo portanto 600 ha. A estação tem uma extensão aproximada de 33.000 hectares e forma parte da Floresta Nacional de Caxiuanã (Lacruz 1996). O clima local é tropical úmido, Am na classificação de Köppen, sendo registrado em média uma precipitação de 60mm.mês⁻¹ nos meses com menor precipitação (outubro e novembro), a vegetação é classificada como Floresta Ombrófila densa de terras baixas (Lacruz 1996)

Segundo o Projeto RADAMBRASIL (1974 *apud* Lacruz 1996), o relevo é plano a suavemente ondulado. Os solos predominantes são os LATOSSOLOS AMARELOS, apresentando variedades de LATOSSOLO AMARELO Distrófico com textura média, LATOSSOLO AMARELO Distrófico com textura argilosa e solos concrecionários lateríticos indiscriminados distróficos e textura indiscriminada. Os solos da área são em geral bem drenados, de estrutura maciça e baixa fertilidade natural (Kern e Costa 1994 *apud* Lacruz 1996).

4.2) Delineamento experimental

As áreas do projeto TEAM são compostas por seis parcelas de 1 km², localizados em diferentes pontos da ECFP (Figuras 1 e 2), dotadas de um sistema de trilhas que dividem a parcela em 100 sub-parcelas de 1 ha cada.

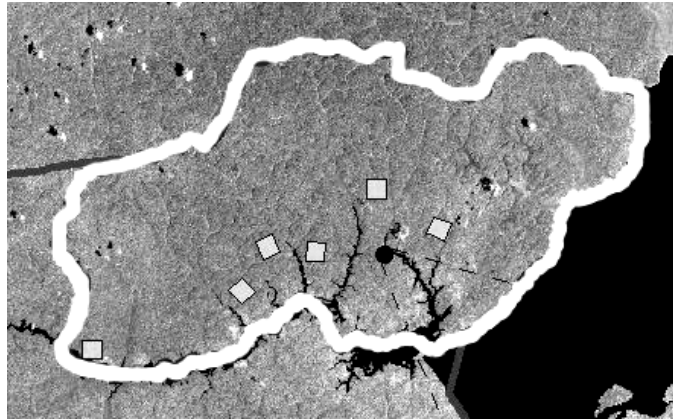


Figura 1. Localização das parcelas (quadrados) na área da Estação Científica Ferreira Penna. O ponto (●) representa a localização da sede da estação, a linha branca representa os limites da Estação Científica Ferreira Penna.A

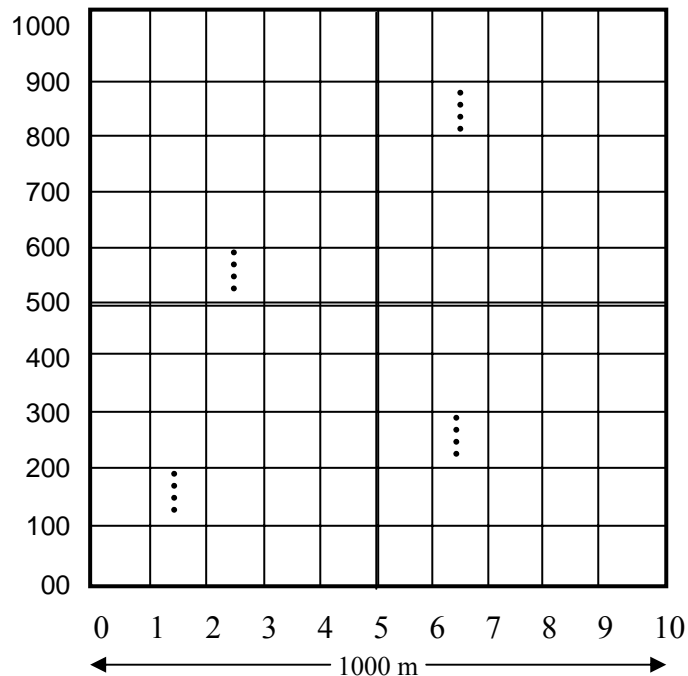


Figura 2. Representação esquemática do sistema de trilhas dentro de um das seis parcelas utilizadas neste estudo, demonstrando o posicionamento dos quatro transectos (linhas pontilhadas), sendo alocado um transecto por quadrante.

Quatro transectos por parcela foram escolhidos com base em um tabela de números aleatórios, sendo sorteado um transecto por quadrante (Figura 2). Em seguida, com o auxílio de uma bússola e de uma corda com marcações a cada 10m, delimitamos os transectos, iniciando a coleta a dez metros do sistema de trilhas. As marcações da corda indicam o ponto de coleta, a qual foi realizada na direção sul-norte. Os locais que apresentavam troncos caídos, galhos, raízes tabulares não foram preteridos durante a coleta.

4.3) Coleta de formigas

Em cada ponto do transecto, foram empregados dois métodos para coletar as formigas de liteira: extração pelo método do Mini-Winkler e uso de armadilha tipo Pitfall. A coleta foi realizada durante a estação seca entre os dias 26/10/2003 e 3/11/2003, entre 9:00 e 14:00, nas seis parcelas do projeto TEAM Caxiuanã. A unidade amostral empregada nesta coleta foi o transecto, composto por 10 sub-amostras dispostas a cada 10 metros ao longo do mesmo.

4.3.1) Técnica de liteira – Mini-Winkler

O método Winkler foi inicialmente empregado em estudos de cunho taxonômico, mas suas aplicações em estudos ecológicos não eram exploradas a contento, embora o método tenha um bom potencial para este fim (Olson 1991). Há alguns anos o uso do método Winkler em estudos ecológicos se intensificou, em grande parte, através dos esforços empregados por um grupo mirmecologistas que desenvolvem estudos em regiões tropicais (Agosti *et al.* 2000). O método consiste basicamente na agitação de uma amostra de liteira, padronizada ou não por área ou volume, em uma peneira modificada. Proceda-se o mais prontamente possível após a agitação o início da extração dos animais, de forma passiva, encerrando a fração de liteira peneirada em um aparato, o saco de Winkler, dentro do qual esta fica suspensa, por um período de tempo pré-determinado, de onde os animais migram e são coletados em uma solução mortífera e conservante contida em um frasco atado à base do aparato.

Neste estudo a amostragem foi conduzida em quatro transectos de 100 m em cada uma das seis parcelas. A sub-unidade amostral, é composta por amostras de liteira padronizadas de 1m².

A liteira peneirada, foi colocada nos extratores por um período de 24 horas afim de retirar as formigas existentes nas amostras. Majer e colaboradores (1997) afirmam que 24 horas de extração não são suficientes para extrair todos os invertebrados mas é o suficiente para amostras qualitativas de espécies de formigas.

4.3.2) Método do “Pitfall”

Esse método, baseado em armadilhas de queda instaladas ao nível do solo, é útil para coletar formigas predadoras e necrófagas como as poneromorfas, membros da subfamília anteriormente denominada Ponerinae, que englobava os gêneros *Pachycondyla* e *Gnamptogenys*. Este método age de maneira complementar com o método Winkler, pois permite a coleta de formigas que não são suficientemente pequenas para passar pela peneira e pelo recipiente de extração deste último, ou são de grande porte e fogem quando perturbadas (Olson 1991, John E. Lattke com. pessoal).

Algumas fontes de erro tanto na coleta como na interpretação dos dados são descritos na breve revisão feita por Adis (1979) entre as quais destacam-se:

- a dependência entre a relação do número de indivíduos dominantes (>5%), subdominantes ($5\% > x > 1\%$) e raros (> 1%) frente o número de amostras coletadas;
- um possível aumento no número de indivíduos coletados devido ao efeito da escavação;
- a necessidade de se manter a armadilha com a abertura no mesmo nível da superfície do solo, evitando o risco de reduzir a captura;
- influência de irregularidades na superfície, como troncos e pedras, reduzindo o número de indivíduos capturados;
- o arranjo e o distanciamento entre as armadilhas, preferencialmente em linha e distanciados de maneira que não estejam em uma distância menor que o deslocamento médio de um indivíduo da população em estudo durante o período de coleta.

Estas ocorrências, dentro do possível, foram evitadas durante a coleta, já a influência das irregularidades da superfície considere um dos erros inerentes ao método, pois ao remover galhos, troncos da área de coleta, o prejuízo da perturbação causada tenderia a ser superior ao benefício gerado (Melbourne 1999).

Os dados gerados pelo método do Pitfall incluem riqueza e composição das espécies ativas na liteira durante o período de coleta (Bestelmeyer *et al.* 2000). Adis (1979) afirma que existem restrições às conclusões que podem ser obtidas com dados de Pitfalls devido à duração do tempo de coleta. Entretanto, a maioria dos estudos mais recentes (Olson 1991, Majer 1997, Vasconcelos *et al.* 2003) emprega períodos em torno de 48 horas, muito distantes do período de uma estação do ano sugerido por Adis (1979).

As armadilhas, dez por transecto, foram instaladas à cerca de 20 cm de onde fora retirado a liteira para a coleta do Mini-Winkler, deixando-as no local por 48 horas. Elas foram preenchidas em aproximadamente 1/3 de seu volume com álcool etílico a 70% ao qual foi adicionado previamente cerca de 20 gotas de detergente neutro por litro de solução.

4.4) Identificação do material coletado

Identifiquei todas as formigas ao nível de gênero com o auxílio das chaves de Bolton (1994) e Hölldobler & Wilson (1990). Morfotipei os indivíduos dos gêneros *Pachycondyla* e *Gnamptogenys* e, quando possível, identifiquei ao nível taxonômico de espécie, com auxílio da chave de Brown modificada (MacKay & MacKay 2003) e Lattke (1990 e 1995), respectivamente. Estes gêneros foram escolhidos por estarem representados nos dois métodos de coleta e por terem em torno de 10 espécies, nas amostras coletadas, um número adequado ao tipo de análise a ser empregada (William E. Magnusson, comunicação pessoal) para os estudos de diluição e retirada de amostras, comumente chamada de rarefação (Longino *et al.* 2002).

Particpei de um treinamento taxonômico com a Dra. Ana Y. Harada, para a identificação dos gêneros. Parte deste trabalho foi efetuada em conjunto com o mestrando em entomologia Jorge L. P. de Souza, que participou na identificação até gênero do material coletado e realizou suas análises com as espécies do gênero *Crematogaster*. O parataxonomista, José M. S. Vilhena do INPA, confirmou a identificação das espécies de formigas utilizadas neste estudo. O material testemunha se encontra depositado nas coleções do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e do Museu Paraense Emílio Goeldi.

4.5) Diluição das amostras

Para verificar se a diluição das amostras obtidas com as armadilhas “Pitfall” e com o método Mini-Winkler, afetava significativamente a detecção de espécies dos gêneros *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*, utilizei o procedimento de diluição descrito a seguir buscando reduzir o esforço em laboratório. Para efetuar a divisão homogênea da amostra e garantir que todas as espécies tivessem a mesma chance de seleção no processo de divisão, foi utilizada uma adaptação do aparato batizado de “Funil de Santos-Yano” (Santos 2005). Na adaptação utilizada para as formigas, o aparato foi formado por 1) uma placa de Petri de 50 cm de diâmetro, dividida por paredes de acrílico em quatro compartimentos iguais, para dar estabilidade ao conjunto, 2) um funil de 8 cm de diâmetro 3) um copo plástico de 300 ml com quatro perfurações em sua base. A função do funil é de conduzir a sub-amostra para o centro do copo. A velocidade do líquido faz com que o seu conteúdo se espalhe igualmente para as laterais do copo. Essas laterais do copo contém orifícios (1,5 cm de diâmetro) para a passagem do material biológico e direcionamento para os compartimentos da placa. Com isto foi evitado que a sub-amostra fosse distribuída de uma forma tendenciosa na placa de Petri.

A amostra após ser vertida, se dividia em quatro novas sub-amostras as quais ficavam individualizadas em um dos quadantes de um aparato construído com uma secção de cano plástico de 20 mm de altura por 50 mm de diâmetro, tendo em seu fundo uma malha de 20 μ , a qual tinha por objetivo evitar a perda de animais diminutos, permitir o reaproveitamento do álcool utilizado na diluição sem gerar contaminações do mesmo e evitar que ocorressem perdas devido ao excesso de líquido).

Nesta etapa retirei 50% da amostra original, ou seja, a alíquota presente em 2/4 da placa, a qual chamei de diluição 1 (D1), sendo o restante novamente diluído, como descrito anteriormente. Nesta nova etapa foi retirado para triagem o conteúdo de 2/4 da placa, o que perfaz 25% da amostra original (D2). Sendo os dois quartos restantes nomeados diluição 3 (D3) e resto (DR), ambas com uma concentração de 12,5%. Logo, para obter a composição original da amostra reuni os dados obtidos através da triagem das diluições. A diluição foi realizada em seqüência para cada sub-amostra, sem realizar reposição dos animais entre as diluições.

4.6) Análises de solo e demais parâmetros ambientais

Buscando calcular a relação entre a distribuição das formigas e as variáveis ambientais, foram coletadas algumas variáveis ambientais com base em estudos feitos anteriormente por vários autores. A saber: temperatura do solo, umidade do solo, volume de liteira, abertura de dossel, temperatura do ponto de orvalho, temperatura do ar, umidade relativa do ar, pH do solo, bases trocáveis (P, K, Na, Ca, Ca+Mg), teor de Al, granulometria.

As amostras de solo foram coletadas no ponto onde foi instalado o Pitfall, sendo estas imediatamente acondicionadas em sacos plásticos a fim de evitar perda de água, totalizando 240 amostras. Retirei uma alíquota destas amostras para a determinação do peso úmido, sendo o peso seco obtido a partir das alíquotas secas em estufa a 105 °C, por 24 horas. Ao serem retiradas da estufa as amostras foram deixadas em um dessecador para que esfriassem. A pesagem foi feita em uma balança Ohaus modelo Standard, com precisão de duas casas decimais. Retirei outras alíquotas, duas por amostra, para medir o pH em água e em KCl 1N, conforme metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997). Para tal foi utilizei um pHmetro portátil Q-400H (Quimis, Brasil). Medí a temperatura do solo com um termômetro de solo, da marca Ultrakust modelo Thermophil. O sensor foi inserido até uma profundidade de 10 cm, no mesmo ponto onde foi coletada a liteira. Registrei as medidas de umidade e temperatura do ar acima do ponto de coleta, a uma altura a cerca de 1 m do solo, com uso de um sensor Kestrel 3000 (Forestry Suppliers, USA).

Estimei a abertura de dossel com um esfero-densímetro côncavo, modelo A (Forestry Suppliers, USA). Efetuei as medidas nos quatro quadrantes (Norte, Sul, Leste, Oeste) e calculei a média destas, em seguida multiplicando a mesma pelo fator 1,04, conforme instruções existentes no próprio equipamento.

A liteira coletada teve seu volume medido em balde graduado, após a agitação na peneira do Mini-Winkler, sendo em seguida devolvida ao piso da floresta. Para medir o volume foi utilizado um balde graduado e um soquete, o qual era usado para acomodar a liteira no balde (Figura 2) para então ser efetuada a leitura. Foi feita uma tentativa de se padronizar esta acomodação, estipulando que o soquete deveria ser batido por três vezes e sem força adicional (Gasnier 1996).

As análises químicas (P, K, Ca, Ca+Mg, Al) e físicas (granulometria) da terra coletada foram feitas conforme a metodologia preconizada pela EMBRAPA, no laboratório de solos da EMBRAPA Amazônia Oriental.

5) ANÁLISE DOS DADOS

Fiz todas as análises com base na casta de operários, excluindo machos e rainhas, visto que as operárias indicam o estabelecimento de colônia (Longino *et al.* 2002). Apesar de ter utilizado neste estudo apenas a casta das operárias, não se deve desconsiderar machos, rainhas e imaturos indiscriminadamente, pois eles podem ser usados para estimar o número de ninhos nas amostras de liteira (Levings 1983).

Utilizei dados de incidência (presença/ausência), devido a alguns fatores, dentre eles o uso do forrageio em massa e a distribuição dos ninhos na liteira (Hölldobler & Wilson 1990, Levings e Franks 1982, Soares *et al.* 2001, Longino *et al.* 2002).

Em todas as análises, separei os dados provenientes de cada tipo de coleta. Para informações de abundância, utilizei o número de ocorrência de espécies dividido pelo número de amostras coletadas, obtendo a abundância relativa. Utilizei os programas SYSTAT 8.0 (Wilkinson 1990) e PATN (Belbin, 1992).

Para responder o *primeiro objetivo* (esforço mínimo exigido para se obter um inventário adequado de *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*), comparei a similaridade de espécies entre transectos, e entre parcelas (*plots*). No primeiro caso, utilizei o transecto (composto por 10 sub-amostras) como unidade amostral. No segundo caso, utilizei a parcela (composta por 40 sub-amostras) como unidade amostral. Organizei os dados de forma a criar uma ordem para objetos (locais) e atributos (espécies), a fim de que os dados fossem passíveis de serem processados pelo programa PATN (Belbin 1992).

Frente à necessidade de selecionar aleatoriamente amostras para realizar as análises de rarefação, sem perder a integridade da unidade amostral, foi gerado um comando no programa Systat (Apêndice 1) para retirar as amostras aleatoriamente, utilizando um arquivo de referência composto por uma matriz triangular preenchida de forma a permitir o sorteio de um número predefinido de amostras. Esta matriz de referência é ordenada e reordenada continuamente por uma coluna de números aleatórios a cada sorteio. O resultado obtido é uma matriz com o número de linhas correspondente ao número de transectos ($n = 24$) ou parcelas ($n = 6$) utilizados, as quais são obtidas através da soma das amostras sorteadas.

De posse das planilhas geradas, foi feita a transformação dos dados no PATN para manter a forma de presença/ausência (*p/a*). Desse modo, na matriz de espécies (“m” espécies por “n” locais), cada elemento representa a ocorrência de uma espécie em um determinado local (0 = ausência e 1 = presença).

Fiz as análises com base em dados qualitativos utilizando o índice de Bray-Curtis, que quando utilizado com dados qualitativos é chamado de índice de Czekanowski, (Belbin 1992), o qual é equivalente ao índice de Sorensen. Após esse procedimento utilizei a estatística padronizada de Mantel (rM) que é um coeficiente de correlação linear calculado entre dois grupos de distâncias e que pode assumir valores entre -1 e $+1$ (Chust *et al.* 2003). Com este teste comparei as matrizes de similaridade linearizadas do esforço amostral máximo e os demais níveis de rarefação. A significância estatística do teste de Mantel foi testada através de um teste de permutação (1000 permutações) com um $p = 0,05$ (Decaëns & Rossi 2001). Deste passo obtive dez valores para cada nível de retirada de amostras por transecto ou por parcela, com os quais gerei as figuras. Considerei o esforço amostral suficiente o valor que mais se aproximar de 1, que representa o esforço atual de coleta. É importante notar que a confiabilidade e viabilidade dos dados citada anteriormente, reside na manutenção da informação próxima aos valores de similaridade obtidos com todas as amostras. O incremento linear de informação, aumentando os valores de rM com cada acréscimo no número de amostras, indicaria então a não adequação a uma redução no esforço amostral.

Para responder o *segundo objetivo* (efeito das variáveis ambientais, sobre as taxocenoses de formigas a nível genérico e a nível específico para *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*), efetuei análises de ordenação utilizando a similaridade entre as parcelas para reduzir os padrões da comunidade formigas a poucas dimensões (1 eixo), já que a variável dependente é uma taxocenose e, portanto, multidimensional. Devido ao reduzido número de espécies nas taxocenoses estudadas optei por reduzir a dimensionalidade das mesmas em apenas um eixo, utilizando a opção SSH (*semi-strong hybrid multi-dimensional scaling*), no programa PATN (Belbin 1992).

As variáveis explicativas foram submetidas ao teste de correlação de Pearson, utilizando a correção de Bonferroni afim de não utilizar variáveis correlacionadas em um mesmo modelo de regressão múltipla. Considerarei significativos os valores que atendam os seguintes parâmetros: $r^2 > 0,3$; $p < 0,05$. Após este procedimento realizei a análise de regressão múltipla multivariada para relacionar o eixo resultante da ordenação com as variáveis independentes. A análise de regressão múltipla multivariada foi feita com o programa SYSTAT versão 8.0, para verificar qual fator ou quais fatores contribuem para explicar os padrões observados nas taxocenoses de formigas.

6) RESULTADOS

6.1) As taxocenoses

Combinando os resultados dos dois métodos de coleta, Pitfall e Winkler, foram identificados 49 gêneros pertencentes a sete subfamílias: Myrmicinae, Ponerinae, Dolichoderinae, Formicinae, Pseudomyrmicinae, Cerapachyinae, Ecitoninae (Tab. 1). Observei maior número de ocorrências únicas (abundância relativa = 0,004) e em duplicata (abundância relativa = 0,008) para as formigas coletadas com o método Pitfall em relação ao método Winkler (Tab. 1).

Tabela 1. Abundância relativa dos 49 gêneros coletados no Pitfall e no Winkler. Valores obtidos representam o número de presenças observado dividido pelo número de amostras (n=240).

SUBFAMÍLIA	GÊNERO	PITFALL	WINKLER
Myrmicinae	<i>Pheidole</i>	0,850	0,646
Myrmicinae	<i>Solenopsis</i>	0,571	0,771
Myrmicinae	<i>Crematogaster</i>	0,488	0,492
Ponerinae	<i>Ectatomma</i>	0,400	0,021
Ponerinae	<i>Gnamptogenys</i>	0,300	0,129
Ponerinae	<i>Pachycondyla</i>	0,283	0,096
Myrmicinae	<i>Leptothorax</i>	0,142	0,133
Formicinae	<i>Paratrechina</i>	0,125	0,292
Myrmicinae	<i>Trachymyrmex</i>	0,121	0,004
Myrmicinae	<i>Pyramica</i>	0,113	0,413
Myrmicinae	<i>Cyphomyrmex</i>	0,092	0,225
Myrmicinae	<i>Strumigenys</i>	0,083	0,688
Formicinae	<i>Camponotus</i>	0,079	0,083
Ponerinae	<i>Odontomachus</i>	0,071	0,104
Ecitoninae	<i>Labidus</i>	0,067	0,004
Ponerinae	<i>Hypoponera</i>	0,063	0,525
Ponerinae	<i>Dinoponera</i>	0,046	-
Formicinae	<i>Brachymyrmex</i>	0,042	0,113
Myrmicinae	<i>Octostruma</i>	0,038	0,204
Myrmicinae	<i>Hylomyrma</i>	0,038	0,108
Myrmicinae	<i>Wasmannia</i>	0,033	0,092
Myrmicinae	<i>Blepharidatta</i>	0,021	0,117
Ponerinae	<i>Anochetus</i>	0,021	0,038
Myrmicinae	<i>Myrmicocrypta</i>	0,017	0,042
Formicinae	<i>Acromyrmex</i>	0,017	0,013
Myrmicinae	<i>Rogeria</i>	0,013	0,125
Myrmicinae	<i>Oligomyrmex</i>	0,013	0,058
Myrmicinae	<i>Apterostigma</i>	0,013	0,021
Myrmicinae	<i>Cephalotes</i>	0,013	0,017
Myrmicinae	<i>Sericomyrmex</i>	0,013	0,017
Myrmicinae	<i>Carebara</i>	0,008	0,063
Formicinae	<i>Acropyga</i>	0,008	0,038
Dolichoderinae	<i>Dolichoderus</i>	0,008	0,025
Pseudomyrmecinae	<i>Pseudomyrmex</i>	0,008	0,017
Ponerinae	<i>Leptogenys</i>	0,008	-
Formicinae	<i>Gigantiops</i>	0,008	-
Dolichoderinae	<i>Azteca</i>	0,008	-
Myrmicinae	<i>Megalomyrmex</i>	0,004	0,033
Myrmicinae	<i>Mycocepurus</i>	0,004	0,021
Myrmicinae	<i>Basiceros</i>	0,004	0,004
Ponerinae	<i>Platythyrea</i>	0,004	-
Ecitoninae	<i>Nomamyrmex</i>	0,004	-
Cerapachyinae	<i>Cerapachys</i>	0,004	-
Ponerinae	<i>Typhlomyrmex</i>	-	0,221
Ponerinae	<i>Discothyrea</i>	-	0,071
Myrmicinae	<i>Lachnomyrmex</i>	-	0,008
Myrmicinae	<i>Paedalgus</i>	-	0,008
Ponerinae	<i>Thaumatomyrmex</i>	-	0,004
Myrmicinae	<i>Rophalotryx</i>	-	0,004

No total dos dois métodos de coleta, o gênero *Gnamptogenys* foi representado por 10 espécies definitivamente identificadas e por 4 morfoespécies (Tab. 2) e *Pachycondyla* por 13 espécies e duas morfoespécies (Tab. 3).

Tabela 2. Abundância relativa das espécies de *Gnamptogenys* coletadas no Pitfall e no Winkler. Valores obtidos representam o número de presenças observado dividido pelo número de amostras (n=240).

ESPÉCIE	PITFALL	WINKLER
<i>G. annulata</i> Mayr, 1887	0,004	-
<i>G. haenschi</i> Emery, 1902	0,004	-
<i>G. hartmanni</i> (Wheeler, 1915)	-	0,004
<i>G. cf. haytiana</i> (Wheeler e Mann, 1914)	0,004	-
<i>G. horni</i> (Santschi, 1929)	0,092	0,063
<i>G. mediatrix</i> Brown, 1958	-	0,004
<i>G. moelleri</i> (Forel, 1912)	0,021	0,017
<i>G. relictata</i> (Mann, 1916)	0,004	0,033
<i>G. sp. K</i>	0,029	0,004
<i>G. sp. A</i>	0,004	-
<i>G. sp. B</i>	0,004	0,004
<i>G. striatula</i> Mayr, 1883	-	0,008
<i>G. tortuolosa</i> (F. Smith, 1858)	0,179	0,013
<i>G. triangularis</i> Mayr, 1887	0,004	0,004

Tabela 3. Abundância relativa das espécies de *Pachycondyla* coletadas nos métodos Pitfall e Winkler. Valores obtidos representam o número de presenças observado dividido pelo número de amostras (n=240).

ESPÉCIE	PITFALL	WINKLER
<i>P. sp. 1P</i>	-	0,004
<i>P. apicalis</i> (Latreille, 1802)	0,054	-
<i>P. arhuaca</i> Forel, 1901	0,033	0,021
<i>P. commutata</i> (Roger, 1860)	0,004	-
<i>P. constricta</i> (Mayr, 1883)	0,058	0,079
<i>P. crassinoda</i> (Latreille, 1802)	0,013	-
<i>P. crenata</i> (Roger, 1861)	-	0,004
<i>P. ferruginea</i> (F. Smith)	0,004	0,004
<i>P. harpax</i> (Fabricius, 1804)	0,063	0,033
<i>P. impressa</i> (Emery, 1901)	0,004	0,004
<i>P. cf. lunaris</i>	0,004	-
<i>P. magnifica</i> Borgmeier, 1929	0,004	-
<i>P. stigma</i> (Fabricius, 1804)	-	0,004
<i>P. unidentata</i> (Mayr, 1862)	-	0,013
<i>P. obscuricornis</i> (Emery, 1890)	0,067	-

6.2) Esforço amostral: rarefação das amostras

6.2.1) Redução do esforço amostral no campo considerando os transectos

Para verificar se havia possibilidade de diminuir o esforço amostral no campo, reduzindo o número de sub-amostras dos transectos, sem perder a integridade dos dados, utilizei os 24 transectos, compostos originalmente por 10 sub-amostras.

Utilizando dados de presença e ausência de gêneros, obtive valores da estatística de Mantel (rM) variando entre 0,038 a 0,958 no Winkler e -0,146 a 0,945 no Pitfall (Fig. 4). A rarefação feita com as amostras obtidas com o método Winkler não atinge a assíntota. Porém a partir da sétima amostra, 82% do total da informação original é mantida. O acúmulo de informação a partir desta amostra é muito pequeno. Considerando os animais coletados no Pitfall, a curva de rarefação não atingiu a assíntota e a cada adição de uma nova amostra, muita informação sobre a comunidade é acrescentada (Fig. 3).

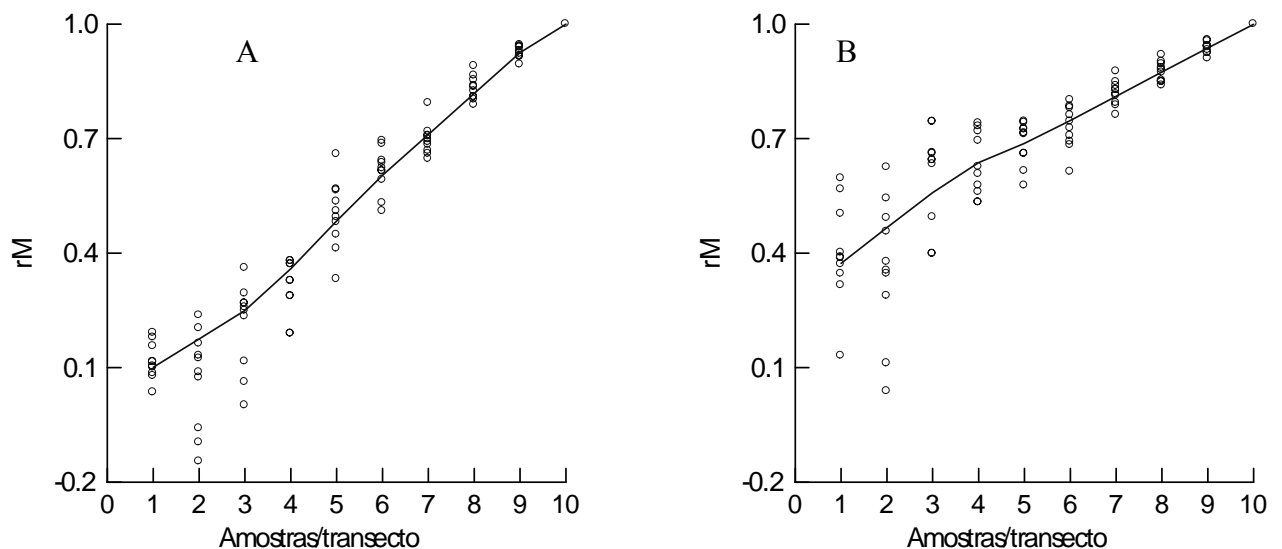


Figura 3. Curva de rarefação dos gêneros de Formicidae em 24 transectos, na Estação Científica Ferreira Pena, Pará. A. Winkler, B. Pitfall. rM = valores da estatística de Mantel.

Com dados com resolução taxonômica mais alta (espécies), os valores da estatística de Mantel (rM) foram diretamente e positivamente relacionados ao número de amostras, ou seja,

aumentando o número de amostras, a similaridade em relação à informação original aumenta sensivelmente (Fig. 4). Não obtive, portanto, uma assíntota para os conjuntos de dados referentes às espécies de *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*. Os valores da estatística rM para as espécies de *Gnamptogenys* e *Pachycondyla* coletadas com o método Pitfall e Winkler, variaram entre 0,088 e 1,0 entre os diferentes níveis de rarefação dentro dos transectos (Fig. 4).

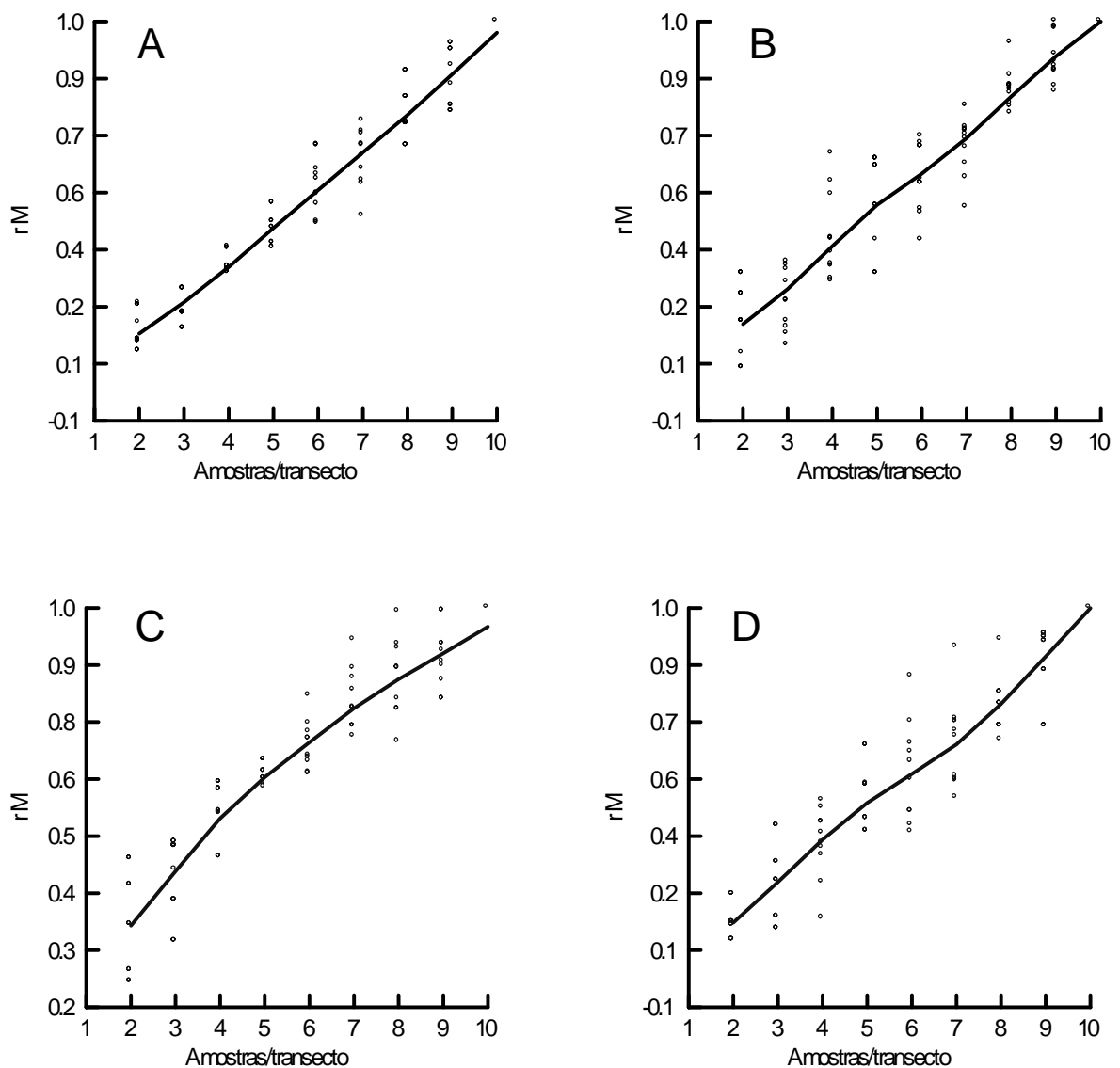


Figura 4. Valores da estatística de Mantel (rM) calculados para diferentes níveis de rarefação de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 24 transectos com 10 amostras cada. A linha sólida representa a média dos valores observados. A. *Pachycondyla*, Pitfall; B. *Pachycondyla*, Winkler; C. *Gnamptogenys*, Pitfall; D. *Gnamptogenys*, Winkler.

6.2.2) Redução do esforço amostral no campo considerando as parcelas

Para verificar se havia possibilidade de diminuir o esforço amostral no campo, reduzindo o número de sub-amostras coletadas nas parcelas, sem perder a integridade dos dados, utilizei as 6 parcelas, compostas originalmente por 40 sub-amostras como esforço máximo. Obtive resultados com comportamentos semelhantes àqueles observados com a análise de similaridade entre transectos.

Para os gêneros os valores de rM variaram entre -0,729 a 0,931 no Winkler e -0,447 e 1,0 no Pitfall (Fig. 5).

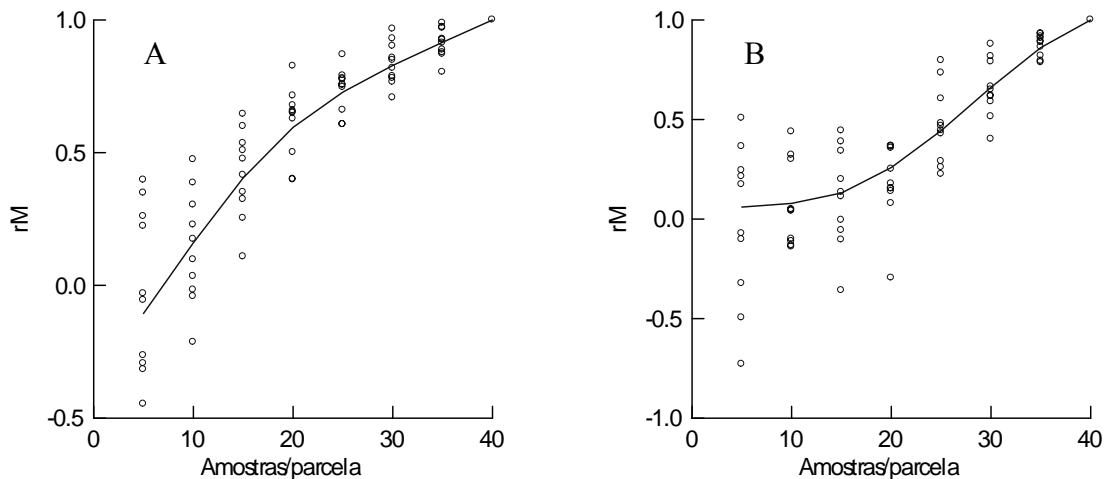


Figura 5. Valores da estatística de Mantel (rM) calculados para diferentes níveis de rarefação de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 6 parcelas com 40 amostras cada. A linha sólida representa a média dos valores observados. A. Gêneros, Pitfall; B. Gêneros, Winkler.

Os valores observados da estatística rM para as espécies de *Gnamptogenys* e *Pachycondyla* coletadas com o método Pitfall e Winkler, variaram entre -0,668 e 1,0 entre os diferentes níveis de rarefação dentro das parcelas (Fig. 6).

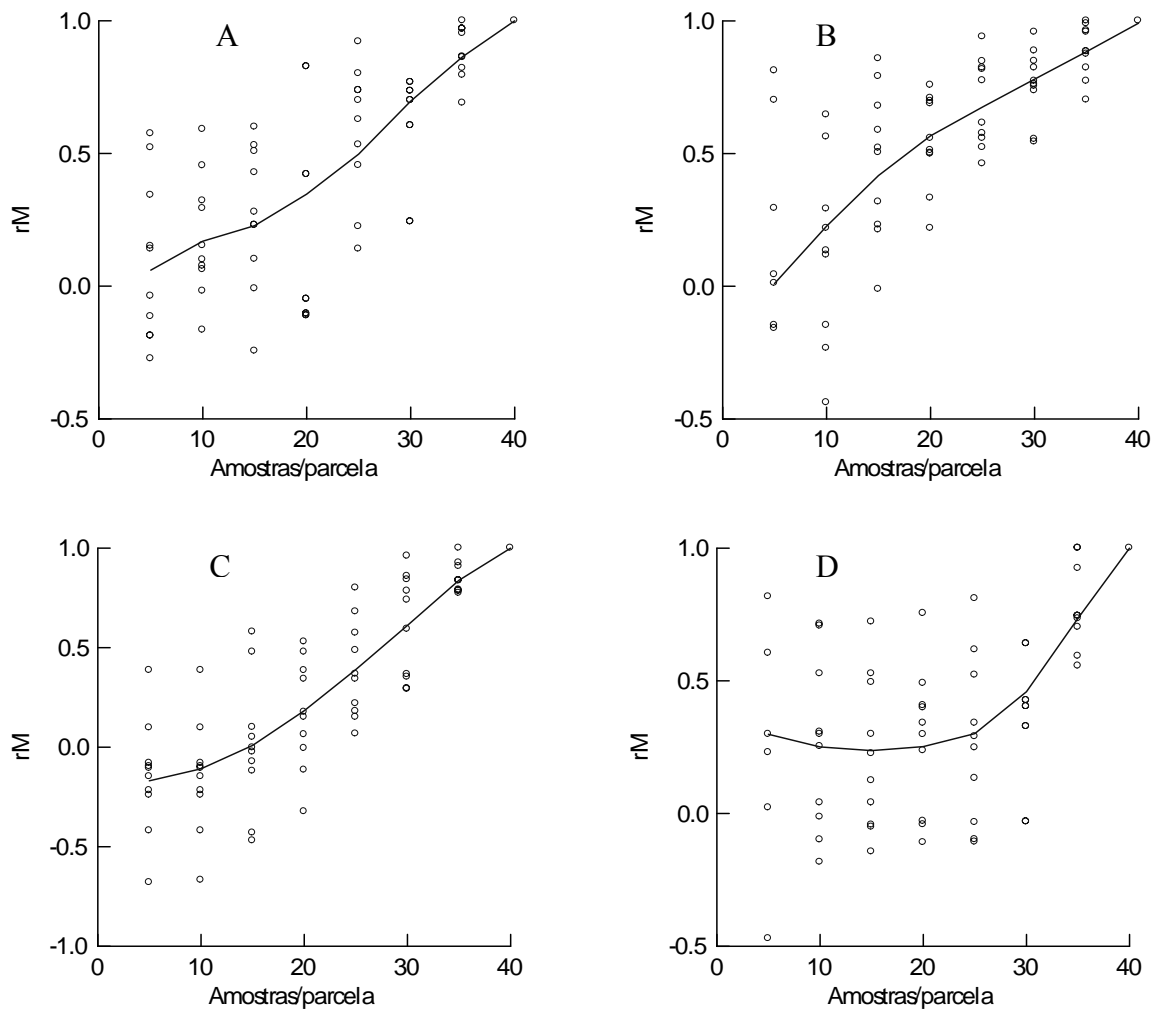


Figura 6. Valores da estatística de Mantel (rM) calculados para diferentes níveis de rarefação de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 6 parcelas com 40 amostras cada. A linha sólida representa a média dos valores observados. A. *Pachycondyla*, Pitfall; B. *Pachycondyla*, Winkler; C. *Gnamptogenys*, Pitfall; D. *Gnamptogenys*, Winkler.

6.3) Redução do esforço amostral em laboratório: diluição das amostras

6.3.1) Similaridade entre transectos

Fiz as análises de diluição para as espécies de *Gnamptogenys* e de *Pachycondyla*, pelo método de coleta e utilizando os 24 transectos, compostos originalmente por 10 sub-amostras. Os valores de similaridade entre transectos inferiores a 73% ($rM < 0,73$) em todos os casos. Portanto, a diluição das amostras não manteve a similaridade próxima aos valores originais ($rM = 1$) obtidos com todas as amostras para nenhum dos níveis de resolução taxonômica empregados (Fig.7).

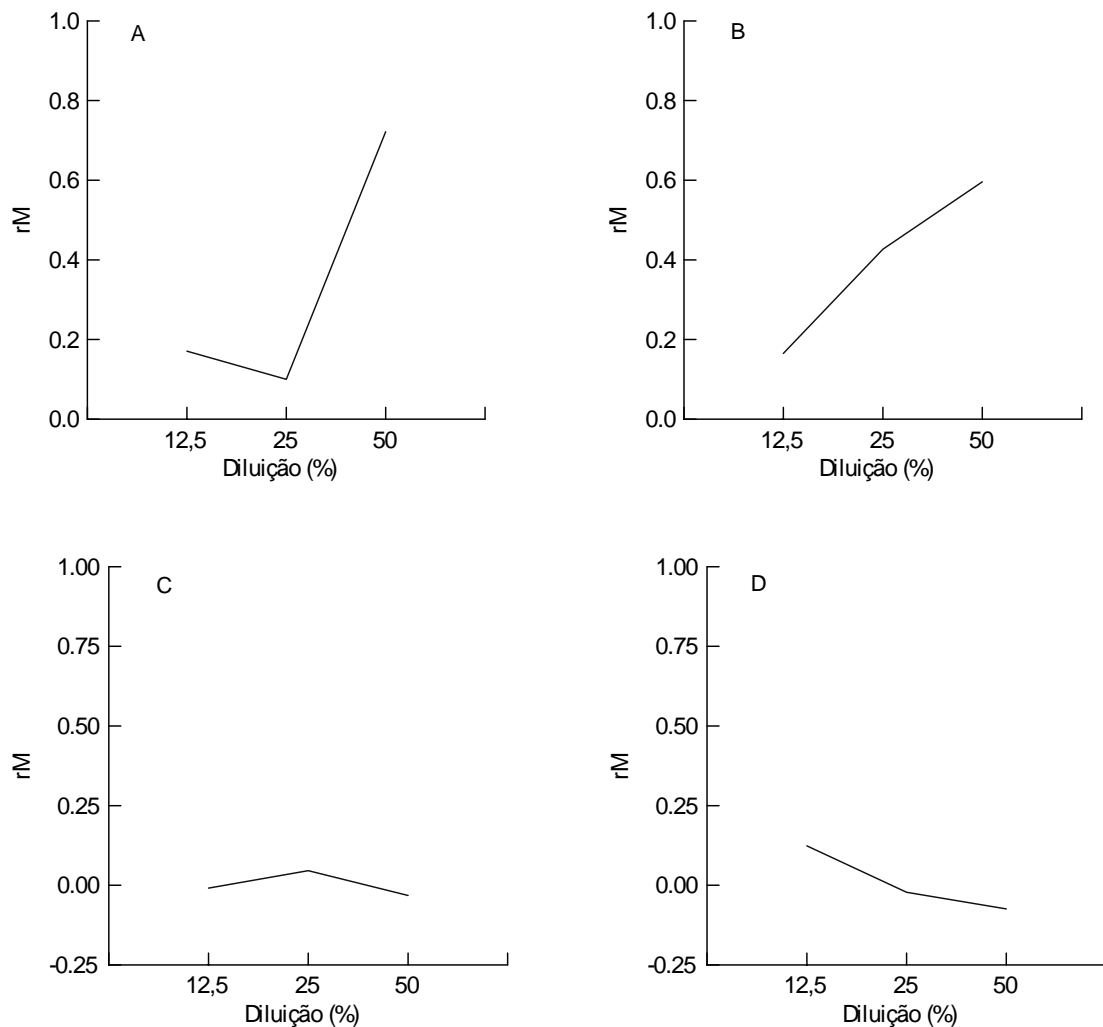


Figura 7. Valores de rM calculados para diferentes níveis de diluição de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 24 transectos com 10 amostras cada. A. *Pachycondyla*, Pitfall; B. *Pachycondyla*, Winkler; C. *Gnamptogenys*, Pitfall; D. *Gnamptogenys*, Winkler.

6.3.2) Similaridade entre parcelas

Fiz as análises de diluição em separado por espécie para *Gnamptogenys* e *Pachycondyla*, pelo método de coleta e utilizando as 6 parcelas, compostos originalmente por 40 sub-amostras. Os valores de similaridade entre parcelas inferiores a 70% em todos os casos. Logo, a diluição das amostras não manteve a similaridade próxima aos valores originais para nenhum dos níveis de resolução taxonômica empregados (Fig. 8).

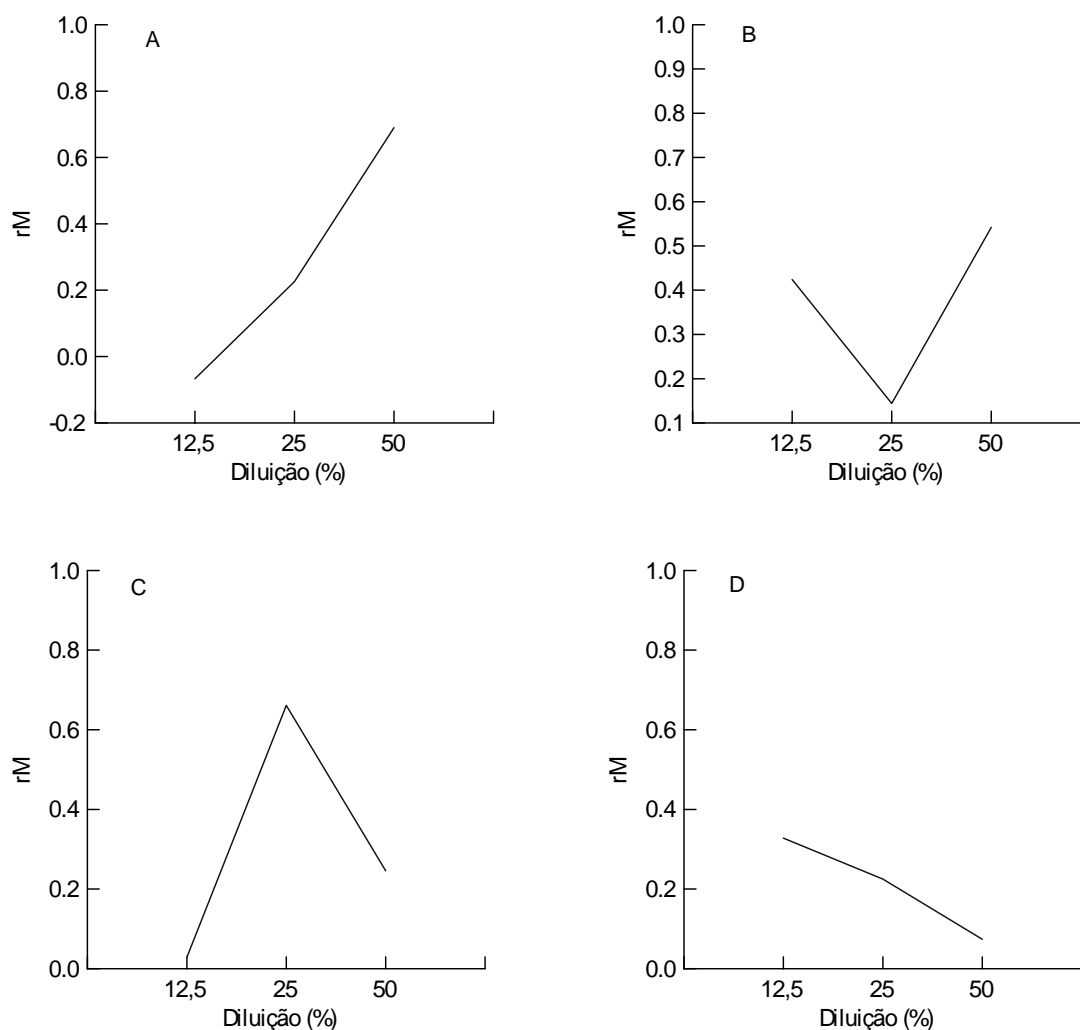


Figura 8. Valores de rM calculados para diferentes níveis de diluição de amostras tendo como matriz de referência, uma matriz composta por 6 parcelas com 40 sub-amostras cada ($rM = 1$). A. *Pachycondyla*, Pitfall; B. *Pachycondyla*, Winkler; C. *Gnamptogenys*, Pitfall; D. *Gnamptogenys*, Winkler.

6.4) Ecologia

As variáveis passíveis de serem utilizadas por não estarem significativamente correlacionadas segundo a análise de correlação de Pearson foram a temperatura do solo, o volume de liteira, o pH, a porcentagem de areia fina (Tab. 4, Apêndice 2).

Tabela 4. Valores médios e amplitude de variação dos dados ambientais coletados em 240 pontos ao longo dos 24 transectos utilizados neste estudo. As variáveis em *itálico* foram utilizadas nas análises ecológicas.

VARIÁVEL	MÉDIA	AMPLITUDE
<i>Temperatura do Solo</i> (°C)	25,93	25,00 - 26,40
<i>Volume de liteira</i> (L)	8,99	3,00 - 15,50
Temp. do ponto de orvalho (°C)	26,18	24,60 - 28,10
Temp. do ar (°C)	28,35	26,40 - 30,60
Umidade do ar (%)	90,00	79,00 - 96,00
Areia grossa (g/kg solo)	318,45	20,00 - 700,00
<i>Areia fina</i> (g/kg de solo)	162,89	10,00 - 340,00
Silte (g/kg de solo)	168,45	70,00 - 430,00
Argila (g/kg de solo)	348,85	0,00 - 860,00
<i>pH do solo</i>	4,00	3,40 - 5,30
P (mg/dm)	2,89	1,00 - 8,00
K (mg/dm)	26,32	12,00 - 58,00
Na (mg/dm)	22,88	8,00 - 289,00
Ca + Mg (cmol/dm ³)	1,00	0,30 - 1,30
Al (cmol/dm ³)	1,86	0,20 - 3,90
Abertura do dossel (%)	19,50	3,64 - 26,52

Não observei resultados significativos na regressão múltipla realizada entre o eixo resultante da redução da dimensionalidade das taxocenoses estudadas e as variáveis explicativas (Tab. 5).

Tabela 5. Valores do coeficiente de regressão e das probabilidades, obtidos através da análise de regressão múltipla (n = 240).

Variável	<i>Gnamptogenys</i>		<i>Pachycondyla</i>	
	R ² = 0,001	P = 0,093	R ² = 0,002	P = 0,971
Constante	0,755	P parcial	0,699	P parcial
Temperatura do solo		0,746		0,695
Volume de liteira		0,874		0,869
pH do solo		0,932		0,847
Teor de areia fina		0,685		0,542

7) DISCUSSÃO

7.1) As Taxocenoses

As espécies *G. haenschi*, *G. moelleri*, *G. relictata*, não possuem registro de ocorrência no estado do Pará relacionadas no catálogo de Kempf (1972) e nem no adendo feito por Brandão (1991). Porém alguns exemplares já foram coletados na Amazônia brasileira e se encontram depositados na coleção de referência do Dr. Heraldo Vasconcelos no INPA, sendo os mesmos utilizados pelo Sr. J. M. S. Vilhena para confirmar minhas identificações. *G. hartmani* não possui registro para o Brasil em nenhuma das duas publicações citadas anteriormente. Essa espécie também é citada por John Longino (2005), como já tendo sido registrada na Bahia, sendo citada em Lattke 1995, como ocorrendo no Brasil. Muitas espécies de *Gnamptogenys* registradas na Venezuela nos estudos de John Lattke (Brandão, 1991; Lattke 1995) podem ocorrer na área da ECFP e não terem sido detectadas na coleta utilizada neste estudo, o que poderá ser verificado ao longo das coletas do protocolo de formigas do TEAM.

Dentre os registros de *Pachycondyla*, apenas *P. magnifica* ainda não possuía registro no estado do Pará, segundo a literatura consultada (Kempf 1972, Brandão 1991). Os registros desta espécie são esparsos, e com poucos indivíduos coletados por local, com exceção da localidade tipo. Há um registro na literatura relatando a coleta de uma operária na localidade de Putumayo, Colômbia (Arias 2003) e um possível registro, ainda aguardando confirmação, de uma operária de *P. magnifica* no estado do Rio de Janeiro feito por Antônio Mayhé-Nunes (com. pessoal). Neste caso podemos estar diante de uma espécie rara ou sub-coletada, já que a biologia desta ainda é pouco conhecida.

As sugestões feitas por Scotland e colaboradores (2003) de se fazer um maior esforço na divulgação de inventários e de revisões por meios eletrônicos e via internet, poderiam facilitar a confirmação destes registros, já que algumas destas espécies já foram coletadas no Brasil e ainda estão esperando por divulgação.

Algumas espécies que detectei em baixa densidade na Estação Científica Ferreira Penna, são comuns em outros estratos. *G. annulata*, *P. crenata* e *P. unidentata* e *G. haenschi* estão entre estas espécies, as três primeiras possuem hábitos arborícolas e a quarta possui hábito de forragear sobre troncos caídos e também sobre o solo e liteira (Longino 2005, Lattke 1995, John E. Lattke com. pessoal). Murray e Lepschi (2004), questionam se as

espécies classificadas como “raras”, não seriam abundantes em um local distinto do qual ela teria sido coletada a princípio. Este estudo dá uma resposta positiva a este questionamento, já que registrei espécies sabidamente abundantes em habitats distintos aos aqui investigados.

O gênero *Cerapachys*, de hábitos subterrâneos, que teve apenas um indivíduo coletado no método Pitfall, pode ter sido coletado devido à interferência da escavação para a instalação da armadilha conforme previsto por Adis (1979). Portanto a raridade destas espécies e gêneros registrados em meu estudo pode ter sido gerada pelos erros intrínsecos e aceitáveis dos métodos que empreguei na coleta, os quais se restringem a liteira e não prevêem coleta ativa. O termo *stray* (extraviado) utilizado por Longino (2005) é útil para definir essas espécies cujos hábitos as tornam raras em métodos de coleta não específicos, como as de hábitos arborícolas ou subterrâneos.

A seleção por tamanho e a complementariedade dos métodos Winkler e Pitfall previstas por Olson (1991) se aplica no caso de *P. obscuricornis*, *P. apicalis*, *P. crassinoda*, *P. commutata* e *P. magnifica*, assim como os gêneros *Dinoponera* e *Leptogenys*, que coletei apenas no Pitfall, e possuem espécies de grande porte. Algumas espécies menores de *Leptogenys* poderiam ter sido coletadas pelo método Winkler, isso talvez não tenha ocorrido devido ao horário de atividade das espécies deste gênero que é predominantemente noturna (John E. Lattke, com. pessoal).

7.2) Esforço amostral: rarefação e diluição de amostras.

Mesmo não tendo atingido a assíntota ao testar a rarefação de amostras utilizando os dados a nível taxonômico de gênero, e tendo o transecto como unidade amostral, com 7 sub-amostras por transecto, 82% da informação original é mantida. Isto pode indicar uma possibilidade de redução do esforço empregado em situações como levantamentos de biodiversidade em grandes extensões territoriais como a Amazônia. Levando-se em consideração que estes levantamentos requerem grande esforço de campo, laboratorial e financeiro, análises neste sentido podem ser úteis para otimizar estas coletas, quando feitas logo no início das atividades.

Observando os resultados observados para *Pachycondyla* e *Gnamptogenys*, baseados na comparação da matriz de similaridade original com as matrizes oriundas da rarefação, não foi possível reduzir o esforço atual do Protocolo de Monitoramento de Formigas (AMP) para esses gêneros. Possivelmente isto seja válido ao menos quando a análise se restringe a apenas

uma coleta de um protocolo maior, como é o AMP. Acredito que de posse dos dados de um ano de coleta, seja mais factível se pensar na redução do esforço de coleta e triagem.

Por outro lado, observando os resultados de análises semelhantes, utilizando dados gerados com as espécies do gênero *Crematogaster* oriundas da mesma coleta deste estudo (Souza 2005), surgem algumas novas questões. Analisando os resultados de Souza, é possível se reduzir o esforço em laboratório, realizando uma diluição da sub-amostras a 50 %, mantendo a integridade total da informação ($rM = 1$). Isso é possível devido à maior abundância de *Crematogaster*, que permite a detecção, com uma alíquota de 50%, de todas as espécies deste gênero e em todos os locais onde foram originalmente detectados. Isto se torna impossível quando apenas um indivíduo é coletado em uma sub-amostra, o que torna o comportamento das análises aleatório, como observado em meu estudo (Fig. 6 e 7).

Ao iniciar este estudo, atentei inicialmente ao número de espécies coletadas, não considerando a importância metodológica do número de indivíduos coletados por amostra. Além da importância da diversidade e da abundância, ficou claro que é necessário se considerar aspectos da biologia dos organismos estudados, em particular a mobilidade, como demonstrado por Brose e Martinez (2004). Ekschmitt *et al.* (2003) afirmam que o esforço amostral afeta a probabilidade de registrar espécies raras (detectabilidade variável) determinando os limites de confiança para se estimar a densidade populacional e a habilidade em se discriminar entre as estimativas de densidades de diferentes locais de estudo. Porém a detecção de novas espécies em um conjunto de amostras depende também de suas distribuições geográficas e dos erros inerentes aos métodos de coleta (Longino *et al.* 2002, Murray *et al.* 1999), da intensidade de coleta empregada (Leponce *et al.* 2004).

Um problema enfrentado pelos pesquisadores é que normalmente são estabelecidos protocolos padrões de coleta para inventários de biodiversidade de monitoramento de determinados grupos taxonômicos. Todavia, esses protocolos são efetuados para a coleta de um grupo taxonômico que engloba várias famílias, gêneros e espécies, sem levar em consideração as diferenças entre a frequência, a abundância, a diversidade, os hábitos, os habitats e o comportamento geral das diversas categorias envolvidas. Devido aos problemas logísticos, esses procedimentos são normalmente empregados. Isto parece se aplicar ao caso do AMP, já que respostas distintas foram observadas em diferentes grupos pertencentes à mesma família, da qual trata o protocolo. O ponto central é que analisando apenas uma coleta, pode se verificar que dentro do mesmo protocolo um grupo está próximo de ser adequadamente coletado, enquanto outro está sendo sub-coletado. Isto talvez seja difícil de se

contornar durante a coleta, mas a análise dos dados pode ser feita em separado entre as guildas mais bem coletadas e as sub-coletadas.

7.3) Ecologia

A não observância de correlação entre as taxocenoses estudadas e as variáveis explicativas indica que as mesmas não foram suficientes para explicar os padrões observados, apesar destas terem sido escolhidas de acordo com estudos preexistentes.

Mesmo levando-se em consideração que o protocolo de colets de formigas do TEAM tenta responder a uma questão maior, em uma escala de análise que engloba as regiões tropicais do globo, os resultados que obtive mostram que o mesmo não leva em consideração a baixa densidade, frequência e hábitos de alguns gêneros (*Gnamptogenys* e *Pachycondyla*) nas amostras coletadas.

Outro fator que pode ter influenciado é a complexidade taxonômica existente dentro de *Pachycondyla*, que engloba seis gêneros que foram sinonimizados: *Neoponera*, *Pachycondyla*, *Termitopone*, *Wadeura*, *Trachymesopus* e *Mesoponera*. Os quais possuem características morfológicas (p.ex. tamanho), assim com hábitos muito variáveis, possivelmente não sendo um grupo monofilético (Wild 2002). Estudos envolvendo o comportamento de *Pachycondyla* tratam geralmente de uma espécie em isolado, via de regra apresentando sinais claros (Fresneau 1985, Trunzer *et al.* 1998), o mesmo acontecendo com *Gnamptogenys* (Gogni & Oliveira 2004). Apesar destas afirmações, devo ressaltar que a importância do agrupamento em gêneros em relação ao comportamento das espécies que o compõe deve ser relativizada, já que o conceito de gênero não implica necessariamente em monofilia.

Utilizando os dados a nível taxonômico de gênero, e tendo o transecto como unidade amostral, verifiquei que com 7 sub-amostras por transecto, 82% da informação de dissimilaridade entre os plots é mantida. Nesse caso, pelo menos em nível de gênero de Formicidae, o uso da diluição em laboratório pode ser um método viável que poderá resultar na redução de custos em taxa hiper-diversos como as formigas e os combater argumentos que excluem os invertebrados de inventários faunísticos. Essa redução do esforço em laboratório resultaria em diminuição dos custos e ainda disponibilizaria material biológico suficiente para responder a outras questões ecológicas. Porém, tanto o número de espécies quanto o número de indivíduos em um conjunto de amostras devem ser levados em consideração para se efetuar diluição de amostras para redução do esforço de diluição no laboratório. Nossos

resultados em nível de espécies, o número de indivíduos de uma espécie em um conjunto de amostras determina a possibilidade de se diluir ou não as amostras para redução do esforço de diluição no laboratório. Esforços devem ser direcionados no sentido de padronizar o esforço de coleta, tanto temporais quanto espaciais de modo a que as respostas possam ser obtidas em um espaço de tempo suficiente para responder as questões ecológicas.

Algumas conclusões oriundas deste estudo:

- O número de espécies em um conjunto de amostras não é condição determinante para se efetuar diluição de amostras para redução do esforço de diluição no laboratório.
- O número de indivíduos de uma espécie em um conjunto de amostras determina a possibilidade de se diluir ou não as amostras para redução do esforço de diluição no laboratório.
- É desejável que as análises feitas neste estudo sejam replicadas com uma maior número de coletas deste mesmo protocolo, ou através de simulações com “comunidades” manipuláveis no tocante a riqueza de espécies e a abundância de indivíduos.
- Protocolos orientados para um grupo que engloba um grande número de espécies podem incorrer em erros amostrais devido aos distintos requerimentos ecológicos das diversas espécies envolvidas.
- Estudos ecológicos tratando as espécies de *Gnamptogenys* e *Pachycondyla* em isolamento, são necessários para se estabelecer quais fatores ambientais, biológicos ou ecológicos condicionam a distribuição destes organismos.

8) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adis, J. 1979. Problems of interpreting arthropod sampling with Pitfall traps. *Zool. Anz.*, 202 (3/4):177-184.
- Adis, J.; Lubin, Y. D.; Montgomery, G. C. 1984. Arthropods from the canopy of inundated terra firme forest near Manaus, Brazil, with critical considerations on the pyrethrum fogging technique. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 19:223-236.
- Agosti, D.; Grimaldi, D.; Carpenter, J. M. 1997. Oldest known ant fossils discovered. *Nature*, 391(29): 447.
- Agosti, D.; Majer, J. D.; Tennant, A.; Schultz, T. R. (Eds.), 2000. *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C., USA.
- Andersen, A. N. 1995. Measuring more of biodiversity: Genus richness as a surrogate for species richness in Australian ant faunas. *Biological Conservation*, 73: 39-43.
- Andersen, A. N.; Hoffmann, B. D.; Müller, W. J.; Griffiths, A. D. 2002. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. *Journal of Applied Ecology*, 39:8-17.
- Arias, T. M. 2003. Nuevos registros de especies de hormigas de la subfamilia ponerinae (Hymenoptera: Formicidae) para Colombia. *Caldasia*, 25(2): 429-431.
- Balée, W. 2000. Antiquity of traditional ethnobiological knowledge in Amazonia: the Tupí-Guaraní family and time. *Ethnohistory* 47(2):399-422.
- Batra, P. 2003. Tropical Ecology, Assessment, and Monitoring (TEAM) Initiative: Ant Monitoring Protocol. 21p.
- Belbin, L. 1992. *PATN: Pattern Analysis Package*. CSIRO, Canberra, Australia.
- Bestelmeyer, B. T., D. Agosti, F. Leeanne, T. Alonso, C. R. F. Brandão, W. L. Brown, J. H. C. Delabie, & R. Silvestre, 2000. Field techniques for the study of ground-living ants: An Overview, description, and evaluation, p. 122-144. In D. Agosti, J. D. Majer, A. Tennant & T. R. Schultz (eds.), *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C., USA.
- Bolton, B. 1994. *Identification guide to the ant genera of the world*. Harvard University Press, London. 222p.
- Brandão, C. R. F. 1991. Adendos ao Catálogo Abreviado das Formigas da Região Neotropical (Hymenoptera : Formicidae). *Revista brasileira de Entomologia*, 35(2): 319-412.

- Brose, U. and Martinez, N. D. 2004. Estimating the richness of species with variable mobility. *Oikos* 105: 292-300.
- Carvalho, K. S.; Vasconcelos, H. L. 1999. Forest fragmentation in central Amazonia and its effects on litter-dwelling ants. *Biological Conservation* 91:151-158.
- Chernela, J. M. 1983. Hierarchy and economy among the Kotiria (Uanano) speaking peoples of the Northwest Amazon. Columbia University. PhD Dissertation, University Microfilms International.
- Chust, G., Pretus, J. L., Ducrot, D., Bedòs, A. and Deharveng, L. 2003. Identification of landscape units from an insect perspective. *Ecography* 26: 257–268.
- Cogni, R.; Oliveira, P.S. 2004. Patterns in foraging and nesting ecology in the neotropical ant, *Gnamptogenys moelleri* (Formicidae, Ponerinae), *Insectes Sociaux*, 51(2):123 - 130
- Decaëns, T.; Galvis, J. H.; Amézquita, E. 2001. Propriétés des structures produites par les ingénieurs écologiques à la surface du sol d'une savane colombienne. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Vie* 324:465-478.
- Decaëns, T. and Rossi, J. P. 2001. Spatio-temporal structure of earthworm community and soil heterogeneity in a tropical pasture. *Ecography* 24: 671–682.
- Dorigo, M.; Bonabeau, E.; Theraulaz, G. 2000. Ant algorithms and stigmergy. *Future Generation Computer Systems*, 16:851–871.
- Ekschmitt, K., Stierhof, T., Dauber, J., Kreimes, K., Wolters, V. 2003. On the quality of soil biodiversity indicators: abiotic and biotic parameters as predictors of soil faunal richness at different spatial scales. *Agriculture Ecosystems & Environment*, Vol. 98(3):273-283.
- Ellwood, M. D. F., Foster, W. A. 2004. Doubling the estimate of invertebrate biomass in a rainforest canopy. *Nature* 429:549-551.
- Fagundes, E. P. 2003. Efeitos de fatores do solo, altitude e inclinação do terreno sobre os invertebrados da serrapilheira, com ênfase em Formicidae (Insecta, Hymenoptera) da reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. Dissertação de Mestrado. INPA/UFAM. Manaus – Am 70p.
- Fresneau, D. 1985 Individual foraging and path fidelity in a ponerine ant. *Insectes Sociaux* 32 (2): 109-116.
- EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ. (EMBRAPA – CNPS, Documentos 1) 212p.
- Fittkau, E. J., Klinge, H. 1973. On biomass and trophic structure of the Central Amazonian rain forest ecosystem. *Biotropica* 5(1): 2-14.

- Floren, A.; Biuns, A.; Linsenmair, E. 2002. Arboreal ants as key predators in tropical lowland rainforest trees. *Oecologia* 131:137-144.
- Gasnier, T. R. 1996. Ecologia comparada de quatro espécies de aranhas errantes do gênero *Ctenus* (Walckenaer) (Araneae, Ctenidae) em uma floresta na amazonia central: bases para um modelo integrado de coexistência. Tese de Doutorado. INPA/UFAM. Manaus – Am, 86 p.
- Guimarães, R. L. 2003. Topografia, serrapilheira e nutrientes do solo: Análise dos seus efeitos sobre a mesofauna do solo na reserva florestal Adolpho Ducke, Manaus, Am, Brasil. Dissertação de Mestrado. INPA/UFAM. Manaus – Am, 74p.
- Halaj, J.; Ross, D. W.; Moldenke, A. R. 1997. Negative effects of ant foraging on spiders in Douglas-fir canopies. *Oecologia* 109:313-322.
- Hilty, J. & Merenlender, A. 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*. 92:185-197.
- Hölldobler, B., Wilson, E. O. 1990. *The Ants*. Belknap Press of Harvard University, Cambridge, MA. 733p.
- Janzen, D. H. 1973. Sweep samples of tropical foliage insects: effects of seasons, vegetation types, elevation, time of day, and insularity. *Ecology* 54:687-708.
- Kaspari, M., Weiser, M. D. 1999 The size-grain hypothesis and interspecific scaling in ants. *Functional Ecology* 13, 530-538.
- Kaspari, M., Weiser, M. D. 2000. Ant activity along moisture gradients in a neotropical Forest. *Biotropica* 32(4): 703-711.
- Kaspari, M., O'Donnell, S., Kercher, J. R. 2000. Energy, density, and constrains to species richness: Ant assemblages along a productivity gradient. *The American Naturalist* 155 (2), 280-293.
- Kaspari, M. 2001. Taxonomic level, trophic biology and the regulation of local abundance. *Global Ecology & Biogeography* 10, 229–244.
- Kay, Adam 2002 Applying optimal foraging theory to asses nutrient availability ratios for ants. *Ecology*, 83 (7):1935-1944.
- Kempf, W. W. 1972. Catálogo abreviado das formigas da região neotropical. *Studia Entomologica*, 15:1-134.
- Kenckel, N. C.; Orloci, L. 1986. Aplying metric and nonmetric multidimensional scaling to ecological studies: some new results. *Ecology*, 67: 919-928.
- Krieger, M. J. B.; Billeter, J.; Keller, L. Ant-like task allocation and recruitment in cooperative robots. *Nature* 346:992-995.

- Lacruz, M. S. P. 1996. Sensoriamento remoto e sistemas de Informação geográfica como subsídio para Levantamentos fisionômico-estruturais em Floresta tropical úmida - estudo de caso: Estação científica Ferreira Penna, PA. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Aeroespaciais/Ministério da Ciência e Tecnologia. São José dos Campos, São Paulo. 131p.
- Lattke, J. 1990. Revision del genero *Gnamptogenys* Mayr en Venezuela (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Terramaris* 2:1- 47.
- Lattke, J. 1995. Revision of the ant genus *Gnamptogenys* in the New World (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Hymenoptera Research* 4:137-193.
- Leponce, M., Theunis, L., Delabie, J. H. C. and Roisin, Y. 2004. Scale dependence of diversity measures in a leaf-litter ant assemblage. *Ecography* 27: 253-267.
- Lavele, P. & Spain, A. V. 2001. Invertebrate Communities. In: Soil Ecology. P. Lavele & A. V. Spain Eds. pp. 253 – 276.
- Levin, S. A. 1995. The problem of pattern and scale in ecology. In Powell, T. M. & Stede, J. H. (Eds). *Ecological Time Server*. Chapman & Hall. 491p.
- Levings, S. G., Franks, N. R. 1982. Patterns of nest dispersion in a tropical ground ant community. *Ecology*, 63(2):338-344.
- Levings, S. G. 1983. Seasonal, annual, and among-site variation in the ground ant community of a deciduous tropical forest: some causes of patchy species distributions. *Ecological Monographs*, 53(4): 435-455.
- Longino, J. T., Coddington, J., Colwell, R. K. 2002. The ant fauna of a tropical rain forest: estimating species richness tree different ways. *Ecology* 83(3):689-702.
- Majer, J.D.; Delabie, J.H.C. & McKenzie, N.L. 1997. Ant litter fauna of forest, forest edges and adjacent grassland in the Atlantic rain forest region of Bahia, Brazil. *Insectes Sociaux* 44:255-266.
- May, R. M. 1994. The effects of spatial scale on ecological questions and answers. In Edwards, P. J.; May, R. M.; Webb, N. R. 1994. *Large scale ecology and conservation biology*. Blackwell Science. 375p.
- Melbourne, B. 1999. Bias in the effect of habitat structure on Pitfall traps: An experimental evaluation. *Australian Journal of Ecology*, 24:228-239.
- Moller, H. 1996. Lessons for invasion theory from social insects. *Biological Conservation*,78:125- 142.

- Murray, B. R., Rice, B. L., Keith, D. A., Myerscough, P. J., Howell, J., Floyd, A. G., Mills, K., Westoby, M. 1999. Species in the tail of rank-abundance curves. *Ecology* 80(6):1806-1816.
- Murray, B. R.; Lepschi, B. J. 2004. Are locally rare species abundant elsewhere in their geographical range? *Austral Ecology* 29: 287–293.
- Olson, D. M. 1991. A comparison of the efficacy of litter sifting and Pitfall traps for sampling leaf litter ants (Hymenoptera, Formicidae) in a tropical wet Forest, Costa Rica. *Biotropica* 23(2): 166-172.
- Paul, J., Roces, F. 2003. Fluid intake rates in ants correlate with their feeding habits. *Journal of Insect Physiology*: 49, 347-357.
- Pik, A. J., Oliver, I., Beattie, A. J. 1999. Taxonomic sufficiency in ecological studies of terrestrial invertebrates. *Australian Journal of Ecology*, 24:555-562.
- Ribas, C. R., Schoereder, J. H. 2002. Are all ant mosaics caused by competition? *Oecologia* 131:606-611.
- Santos, E.M.R. 2005. Diversidade, distribuição de ácaros oribatídeos (Acari: Oribatida) e a análise do esforço amostral nos padrões vistos na comunidade, em savana amazônica na região de Alter do Chão no Pará. Tese de Doutorado. Manaus, INPA, 128p.
- Scotland, R.; Huges, C.; Bailey, D.; Worley, A. 2003. The Big Machine and the much-maligned taxonomist. *Systematics and Biodiversity* 1 (2): 139–143
- Soares, S. M.; Schoereder, J. H.; DeSouza, O. 2001. Processes involved in species saturation of ground-dwelling ant communities (Hymenoptera, Formicidae). *Austral Ecology*, 26: 187-192.
- Souza, J. L. P. 2005 “Avaliação do esforço amostral de formigas de liteira do gênero *Crematogaster* em uma floresta primária, Caxiuanã-PA, Brasil.” Dissertação de Mestrado. INPA/UFAM. Manaus – Am. *Em preparação*.
- Trunzer, B.; Heinze, J.; Hölldobler, B. 1998. Cooperative colony founding and experimental primary polygyny in the ponerine ant *Pachycondyla villosa*. *Insectes Sociaux* 45: 267-276.
- Thompson, B. W., Riddle, M. J., Stark, J. S. 2003. Cost-efficient methods for marine pollution monitoring at Casey Station, East Antarctica: the choice of sieve mesh-size and taxonomic resolution. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 232-243.
- Tuomisto, H.; Ruokolainen, K.; Aguilar, M.; Sarmiento, A. 2003. Floristic patterns along a 43-Km long transect in an Amazonian rain forest. *Journal of Ecology*, 91:743-756.

- Vasconcelos, H. L.; Vilhena, J. M. S.; Caliri, G. J. A. 2000. Response of ants to selective logging of a central Amazonian forest. *Journal of Applied Ecology*, 37: 508-514.
- Vasconcelos, H. L.; Macedo, A. C. C.; Vilhena, J. M. S. 2003. Influence of topography on the distribution of ground-dwelling ants in an Amazonian forest. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 38(2): 115-124.
- Vieira, L. S. 1988. Manual de Ciência do Solo, com ênfase em solos tropicais. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 2ª ed. 454p.
- Zettler, J. A.; Spira, T. P.; Allen, C. R. 2001. Ant-seed mutualisms: can red imported fire ants sour the relationship? *Biological Conservation* 101:249-253.
- Wild, A. L. 2002. The Genus *Pachycondyla* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) in Paraguay. *Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Parag.* 14 (1-2):1-18.
- Wilkinson 1990. SYSTAT: The system for statistics Systat, version 8.0 for Windows. Evanston, Illinois, 822p.
- Wilson, D. S. 1997. Biological communities as functionally organized units. *Ecology*, 78(7): 2018-2024.
- Wu, R. S. S. 1982. Effects of taxonomic uncertainty on species diversity indices. *Marine Environmental Research*, 6: 215-225.
- INTERNET:
- Hedlund, K. S. 2004. <http://www.cs.unc.edu/~hedlund/dev/ants/catalog/> visitado em 10/01/2004.
- Longino, J. T. 2005. <http://www.evergreen.edu/ants> visitado em 9/02/05.
- Mackay, W.; Mackay, E. 2003. <http://www.utep.edu/leb/ants/Ponerinae.htm> visitado em 10/01/2004.

Apêndice 1. Exemplo de linhas de comando Systat (.syc) utilizadas para fazer a rarefação de amostras nas parcelas (PLOT); onde *DformC* = pasta de origem das planilhas, *NPA.syd* = matriz triangular utilizada como referência pelo programa para retirada de amostras, *ran* = coluna de números aleatórios gerados pelo programa para reordenar a planilha *NPA.syd*. O exemplo representa a segunda repetição *NPA2_1* retirada de duas amostras por parcela $N2=1$.

```
USE "C:\DformC\NPA.SYD"  
let ran = urn  
run  
by PLOT  
sort ran  
save "C:\DformC\NPA_2.SYD"  
run  
merge "C:\DformC\NPA_2.SYD" "C:\DformC\INVERT_AP.SYD"  
save M  
run  
use M  
select N2=1  
by PLOT  
stats  
save NPA2_1  
st sp1,sp2,sp3,sp4,sp5,sp6,sp7,sp8,sp9,sp10,sp11,sp12,sp13,sp14/sum
```

Apêndice 2. Matrizes de correlação de Pearson e de probabilidades de Bonferroni, calculadas com as variáveis ambientais coletadas. Legenda: K= concentração de potássio no solo; Na = concentração de sódio no solo; CA = concentração de cálcio no solo; Ca/Mg = [Ca+Mg] no solo; Al = concentração de alumínio no solo. Número de observações: 240.

1) Matriz de correlação de Pearson

	Temperatura do solo	Volume de liteira	Abertura de dossel	Temperatura ponto de orvalho	Temperatura do ar	Umidade do ar	pH do solo	P	K	Na	Ca	Ca/Mg	Al	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Temperatura do solo	1.000																
Volume de liteira	0.065	1.000															
Abertura de dossel	-0.394	0.203	1.000														
Temperatura ponto de orvalho	0.319	-0.075	-0.243	1.000													
Temperatura do ar	0.216	-0.019	-0.039	0.605	1.000												
Umidade do ar	0.115	-0.099	-0.223	0.349	-0.468	1.000											
pH do solo	-0.197	0.264	0.375	-0.038	0.166	-0.290	1.000										
P	0.224	-0.202	-0.226	0.171	0.067	0.145	-0.363	1.000									
K	0.341	0.053	-0.135	0.041	-0.037	0.076	0.030	0.331	1.000								
Na	0.178	-0.061	-0.070	-0.041	-0.127	0.112	-0.021	0.070	0.298	1.000							
Ca	-0.151	0.033	0.239	-0.087	0.007	-0.190	0.408	-0.197	0.058	0.045	1.000						
Ca/Mg	-0.070	0.022	0.137	-0.179	-0.067	-0.191	0.255	0.003	0.287	0.204	0.796	1.000					
Al	0.281	0.074	-0.124	0.075	0.036	0.082	-0.216	0.143	0.263	0.084	-0.479	-0.304	1.000				
Areia grossa	0.194	-0.184	-0.258	0.167	0.129	0.032	-0.361	0.255	-0.193	-0.110	-0.146	-0.193	-0.235	1.000			
Areia fina	0.116	-0.164	-0.346	0.356	0.264	0.103	-0.171	0.156	-0.184	-0.110	-0.106	-0.204	-0.277	0.558	1.000		
Silte	0.174	0.045	-0.139	0.241	0.147	0.123	0.046	0.040	0.179	0.131	-0.109	0.002	0.318	-0.305	-0.100	1.000	
Argila	-0.259	0.173	0.375	-0.328	-0.238	-0.084	0.336	-0.257	0.160	0.089	0.183	0.211	0.181	-0.878	-0.772	0.018	1.000

2) Matriz de probabilidades de Bonferroni

	Temperatura do solo	Volume de liteira	Abertura de dossel	Temperatura ponto de orvalho	Temperatura do ar	Umidade do ar	pH do solo	P	K	Na	Ca	Ca/Mg	Al	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Temperatura do solo	0.000																
Volume de liteira	1.000	0.000															
Abertura de dossel	0.000	0.216	0.000														
Temperatura ponto de orvalho	0.000	1.000	0.019	0.000													
Temperatura do ar	0.103	1.000	1.000	0.000	0.000												
Umidade do ar	1.000	1.000	0.069	0.000	0.000	0.000											
pH do solo	0.300	0.005	0.000	1.000	1.000	0.001	0.000										
P	0.063	0.220	0.058	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000									
K	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000								
Na	0.785	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000							
Ca	1.000	1.000	0.025	1.000	1.000	0.426	0.000	0.294	1.000	1.000	0.000						
Ca/Mg	1.000	1.000	1.000	0.738	1.000	0.414	0.009	1.000	0.001	0.206	0.000	0.000					
Al	0.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	1.000	0.005	1.000	0.000	0.000	0.000				
Areia grossa	0.351	0.584	0.007	1.000	1.000	1.000	0.000	0.009	0.366	1.000	1.000	0.360	0.033	0.000			
Areia fina	1.000	1.000	0.000	0.000	0.005	1.000	1.000	1.000	0.590	1.000	1.000	0.206	0.002	0.000			
Silte	0.950	1.000	1.000	0.023	1.000	1.000	1.000	1.000	0.753	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000			
Argila	0.007	0.983	0.000	0.000	0.026	1.000	0.000	0.008	1.000	1.000	0.602	0.135	0.652	0.000			