

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ANA LUISA BRASIL DE CARVALHO

**VARIAÇÃO SAZONAL NA ESTRUTURA DE COMUNIDADES DE
DROSOFILÍDEOS (INSECTA; DIPTERA) EM FUNÇÃO DOS ELEMENTOS
CLIMÁTICOS EM REMANESCENTE DE FLORESTA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e a EMBRAPA Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais Área de Concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócio – Ambiental
Orientadora: Dra. Marlúcia Bonifácio Martins (MPEG)
Coorientador: Dr.º. Adriano Marlisom Leão de Sousa (UFRA)

**BELÉM/PA
2014**

ANA LUISA BRASIL DE CARVALHO

**VARIAÇÃO SAZONAL NA ESTRUTURA DE COMUNIDADES DE
DROSOFILÍDEOS (INSECTA; DIPTERA) EM FUNÇÃO DOS ELEMENTOS
CLIMÁTICOS EM REMANESCENTE DE FLORESTA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Área de Concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócio – Ambiental.

Orientadora: Dra. Marlúcia Bonifácio Martins (MPEG)
Co-orientador: Drº. Adriano Marlisom Leão de Sousa (UFRA)

Data de aprovação: 31 / 03 / 2014

Banca Examinadora:

Marlúcia Bonifácio Martins
Museu Paraense Emílio Goeldi

Orientadora

Vera Lúcia da Silva Valente Gaiesky
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Everaldo Barreiros de Souza
Universidade Federal do Pará

Leandro Valle Ferreira
Museu Paraense Emílio Goeldi

Agradecimentos

Sou grata a todos que colaboraram para a execução deste trabalho, mas em especial:

A minha Orientadora, Dr^a Marlúcia Bonifácio Martins, por todo o apoio, orientação e paciência; por ter confiado em mim para a realização deste trabalho e me acolhido no laboratório. Aprendi muito ao longo desse tempo sob sua orientação e tenho muita alegria em ser sua aluna. Obrigada!

Ao meu Co-orientador, Dr^o Adriano Marlisom Leão de Sousa, por todo o apoio, principalmente na parte referente à meteorologia, e pelos conselhos que me concedeu durante o processo de construção deste trabalho;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará;

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UFPA;

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudo durante todo o curso;

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi, pelo apoio logístico;

Aos meus amigos do Laboratório de Ecologia de Insetos/MPEG: Alesandra Lopes, José Guimarães, Luzanira, Pena e Leonardo Trevelin, pela ajuda nas coletas, conselhos e momentos de descontração. Em especial as minhas amigas M. Sc. Ivaneide Furtado e M. Sc. Rosângela Amador, minhas professoras de estatística, admiro muito vocês.

Ao Dr^o João Marcelo Brazão Protázio, pela ajuda em parte da análise dos dados;

Ao meu amigo, Carlos Felipe Castro, que me ajudou em grande parte das coletas.

Aos amigos da turma de mestrado;

Aos queridos Veríssimo Cesar Souza da Silva e Andreza Soares Cardoso, amizades construídas durante o curso de mestrado, pelo companheirismo, pelos momentos descontração e de desabafo que passamos na reta final do curso;

Aos meus amigos, pela paciência e compreensão de minha ausência, principalmente na última fase deste trabalho;

A minha família, tios, primos e minhas avós, vocês são sem dúvida meu maior patrimônio! Obrigada por toda a torcida.

E finalmente, agradecimento especial aos meus pais, Ophir e Osvaldina, pelo amor, carinho, orações e dedicação que tem comigo. Tudo o que sou, pessoalmente e profissionalmente, é mérito de vocês, meus maiores exemplos. Sou abençoada por tê-los como pais.

Muito obrigada a todos.

RESUMO

Um dos questionamentos da atualidade está em entender como mudanças climáticas e associadas no uso da terra podem afetar a dinâmica dos ecossistemas. Com relação à biodiversidade o grande desafio está primeiramente em determinar seu grau de impacto, para assim, estimar sua provável resposta frente às mudanças ambientais. Entre os componentes ambientais que vem sendo investigadas estão às condições climáticas, que podem agir de forma determinante sobre a estrutura das comunidades. A influência da variabilidade climática tropical sobre a comunidade dos drosofilídeos frugívoros foi testada, avaliando a dinâmica temporal das espécies e a estrutura da comunidade. As coletas foram realizadas periodicamente, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em um remanescente de floresta primária, na região metropolitana de Belém, PA. Os dados de drosofilídeos foram obtidos através de captura de adultos pelo método de armadilha com isca e coletas de recursos (frutos em decomposição) para emergências. Como elementos climáticos foram considerados a precipitação acumulada (mm), temperatura virtual (°C) e tensão de vapor de saturação (mb). Foram identificados 34.046 indivíduos da família Drosophilidae distribuídos em 30 espécies. A precipitação foi a variável climática de maior importância na dinâmica da assembleia de drosofilídeos. Os drosofilídeos responderam indiretamente a precipitação, refletindo os efeitos desta variável sobre a disponibilidade e qualidade de frutos utilizados como sítio de criação, e diretamente através da abundância e riqueza de espécies capturadas. As observações indicam a importância da pluviosidade em proporcionar condições mais adequadas para a reprodução, desenvolvimento e sobrevivência dos drosofilídeos, favorecendo gerações posteriores. A assembleia de drosofilídeos apresentou comportamento sazonal em reflexo à sazonalidade climática local, condicionada principalmente pela pluviosidade. Mudanças climáticas futuras apontadas pelo IPCC, associadas à redução da precipitação ou modificação da sua sazonalidade poderão comprometer a estrutura da comunidade.

Palavras-chave: Drosophilidae; Fatores climáticos; Amazônia; Sazonalidade; Precipitação; Mudanças climáticas.

ABSTRACT

One of the current issues is to understand how climate change and associated land use change can affect the dynamics of ecosystems. With respect to biodiversity the challenge is primarily to determine your degree of impact, so, estimate their likely response to environmental changes. Among the environmental components that is being investigated are the climatic conditions, which can act as determinant on the structure of communities. The influence of climate variability over the tropical community of frugivorous drosophilids was tested by evaluating the temporal dynamics of species and community structure. The collections were made periodically, from February 2009 to February 2013, in a remnant of primary forest in the metropolitan region of Belém, PA. The drosophilids data were obtained through the method of trap with bait and resource collections (decaying fruits). The weather elements considered were the accumulated rainfall (mm), virtual temperature ($^{\circ}$ C) and saturation vapour pressure (mb). 34,046 individuals were identified in the Drosophilidae family distributed in 30 species, not all of which associated with the resources. The rainfall was the most important climate variable in the dynamics of the Assembly of drosophilids. The drosophilids responded indirectly to precipitation, reflecting the effects of this variable on the availability and quality of fruit used as place of establishment, and directly through the abundance and species richness collected. The observations indicate the importance of rainfall in providing more appropriate conditions for reproduction, development and survival of the drosophilids, favoring later generations. The assembly of drosophilids presented seasonal behavior in reflection to the local seasonality, conditioned primarily by rainfall. Future climate changes, as announced by IPCC, associated with the reduction of precipitation or change their seasonality can compromise the structure of the community.

Keywords: Drosophilidae; Climatic factors; Amazon; Seasonality; Precipitation; Climate change.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1- Carta imagem com a localização da coordenada central da área estudada, Reserva do Mocambo - APEG. 29
- Figura 2- Curva do coletor apresentando a riqueza média acumulada (Obs) no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, e a riqueza estimada (Jackknife 1) para a assembleia de drosofilídeos da Reserva do Mocambo. Barras verticais indicam o desvio padrão..... 31
- Figura 3- Análise de co-inércia para a abundância das espécies de Drosophilidae em relação os elementos climáticos testados; Precipitação acumulada (mm), Tensão de vapor de saturação – e (mb) e Temperatura virtual – T_v (°C). 32
- Figura 4- Séries temporais da abundância total e riqueza de drosofilídeos na Reserva do Mocambo em 82 observações quinzenais, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013..... 33
- Figura 5- Séries temporais da abundância total de drosofilídeos e precipitação acumulada (mm) na Reserva do Mocambo, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais..... 34
- Figura 6- Abundância observada e ajustada ao modelo ARMAX (2,2), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais. 35
- Figura 7- Correlograma dos resíduos no modelo ARMAX (2,2) para a abundância no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais. 35
- Figura 8- Séries temporais para a riqueza total de drosofilídeos e precipitação acumulada (mm) na Reserva do Mocambo, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais..... 36
- Figura 9- Série temporal para riqueza observada e riqueza ajustada pelo modelo ARMAX (3,2), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais. 37
- Figura 10- Correlograma dos resíduos no modelo ARMAX (3,2) para a riqueza, no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações. 38

CAPÍTULO 3

Figura 1- Carta imagem com a localização da coordenada central da área estudada, Reserva do Mocambo - APEG, e da estação meteorológica de Belém - INMET.	50
Figura 2- Variação mensal e interanual da precipitação acumulada (mm)	52
Figura 3- Período de ocorrência e quantidade de frutos nas trilhas, e valores mensais de precipitação acumulada (mm).	54
Figura 4- Quantidade de emergidos e a precipitação acumulada mensal (mm), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.	56
Figura 5- Quantidade de emergidos em recursos naturais e número médio de indivíduos capturados com isca, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.	56
Figura 6- Quantidade de frutos e número médio de indivíduos capturados com isca, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.	57
Figura 7- Abundância mensal observada e abundância ajustada no modelo ARX (12), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 observações. ...	58
Figura 8- Correlograma dos resíduos no modelo ARX (12) para a abundância mensal, no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 observações. ...	59
Figura 9- QQ-plot da série mensal de abundância no modelo ARX (12).	59
Figura 10- Riqueza mensal efetiva e ajustada no modelo ARMA (2,1), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 observações.	60
Figura 11- Correlograma dos resíduos no modelo ARMAX (2,1) para a riqueza mensal, no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 observações. ...	61
Figura 12. QQ-plot da série mensal de abundância no modelo ARMA (2,1).	61

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Valores de <i>p-value</i> e ρ obtidos nos testes de correlação entre as variáveis climáticas e os valores de abundância das espécies de drosofilídeos da Reserva do Mocambo.	33
Tabela 2- Parâmetros do modelo para abundância, ARMAX (2,2), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações.	34
Tabela 3- Modelo para a riqueza, ARMAX (3,2), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações.....	36

CAPÍTULO 3

Tabela 1- Espécies capturadas com armadilhas (A) e emergidas dos recursos (R), na Reserva do Mocambo, Belém, PA. No período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2010.	53
Tabela 2- Frutos encontrados nas trilhas na Reserva do Mocambo, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013	54
Tabela 3- Número de indivíduos de Drosophilidae emergidos de frutos encontrados nas trilhas na Reserva do Mocambo, no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.....	55
Tabela 4- Parâmetros do modelo para abundância, ARX (12), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 meses.	58
Tabela 5- Parâmetros do modelo para riqueza, ARMA (2,1), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 meses.	60

Sumário

CAPÍTULO 1	13
INTRODUÇÃO GERAL	14
REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO 2	24
RESUMO	25
INTRODUÇÃO	26
MATERIAL E MÉTODOS.....	27
Área de estudo e variáveis meteorológicas	27
Coleta de Drosofilídeos.....	29
Análise de dados	30
RESULTADOS	31
DISCUSSÃO	38
CONCLUSÃO.....	41
REFERENCIAS	42
CAPÍTULO 3	46
RESUMO	47
INTRODUÇÃO	48
MATERIAL E MÉTODOS.....	49
Área de Estudo.....	49
Coleta de Dados.....	50
Análise de Dados	51
RESULTADOS	52
Comportamento mensal da precipitação	52
Composição da assembleia de drosofilídeos na Reserva do Mocambo.....	52
Recursos naturais e emergência de drosofilídeos	53

Comportamento mensal de drosofilídeos capturados com isca em relação a precipitação	57
DISCUSSÃO	62
CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	66
ANEXO	70
Nota a ser submetida a revista “Drosophila Information Service”	71

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

Um dos questionamentos da atualidade está em entender como mudanças climáticas e associadas no uso da terra podem afetar a dinâmica dos ecossistemas, e quais serão as implicações dessas alterações sobre a biodiversidade e a sociedade. Em relação à biodiversidade o grande desafio está primeiramente em determinar seu grau de impacto, para assim, estimar sua provável resposta frente às mudanças ambientais (GASTON, 2000). Estas mudanças ambientais possuem potencial para intervir na estrutura das comunidades biológicas e conseqüentemente na diversidade biológica de um determinado local. Assim, torna-se fundamental que as comunidades e os ecossistemas nos quais estão inseridas sejam objeto de constante monitoramento (PRIMACK; RODRIGUES, 2001).

Comunidades são formadas por populações de espécies que ocorrem em local e tempo específico, consideradas como assembleias quando formadas membros que estão filogeneticamente relacionados (MAGURRAN, 2004; BEGON et al., 2007; VERHOEF, MORIN, 2010). Os parâmetros populacionais das espécies (densidade, estrutura etária, taxas de natalidade, mortalidade, imigração e emigração) estão frequentemente sujeitas a variações ao longo do tempo (POPPE et al., 2012), porém, os mecanismos que geram esta variabilidade ainda são pouco compreendidos, pois caracterizar a variabilidade requer estimativas a longo prazo. Por esta razão, a utilização de organismos de ciclo de vida curta como os insetos nestas pesquisas parece ser o mais recomendável e tem sido realizada com a finalidade de avaliar efeitos de mudanças nas condições de um ambiente (MATA et al., 2008).

Entre as mudanças dos componentes ambientais que vem sendo investigadas estão às condições climáticas, que podem agir de forma determinante sobre a presença e/ou ausência das espécies, influenciando padrões de abundância e/ou raridade. O clima corresponde ao estado médio das condições e características da atmosfera em um intervalo de tempo, sendo definido quantitativamente através dos valores dos elementos climáticos, como a temperatura média, precipitação, velocidade do vento, umidade, nebulosidade e pressão atmosférica, destes, os elementos de maior interesse são a temperatura e precipitação (HARTMANN, 1994). Segundo Davidson e Andrewartha (1948a), o clima pode agir de duas maneiras sobre as populações naturais de insetos,

indiretamente influenciando seus recursos, e diretamente no desenvolvimento e sobrevivência dos organismos.

Os drosofilídeos, como são conhecidos vulgarmente, são insetos pertencentes à família Drosophilidae (Insecta; Diptera), sendo *Drosophila* Fallén 1823 o maior gênero desta família. Este grupo tem sido amplamente usado como organismo modelo para estudos em diversas áreas da biologia, produzindo contribuições importantes para a genética, evolução, biologia molecular e ecologia (MATA et al., 2010; SCHMITZ et al., 2010). Os drosofilídeos possuem características que os tornam vantajosos para utilização em pesquisas sobre o meio ambiente. São organismos pequenos, numerosos, com ciclo de vida curto, alta capacidade de colonização e facilmente capturados, através de isca ou sobrevoando recursos naturais, sendo os mais importantes àqueles procedentes de matéria orgânica viva ou em decomposição (fungos, raízes, caules, folhas e frutos em decomposição) (DOBZHANSKY, PAVAN, 1950; CARSON, 1971).

Os drosofilídeos são amplamente distribuídos na natureza, alcançando uma grande diversidade de hábitos e habitats, tornando-os úteis como indicadores biológicos em nível de ecossistema, com potencial para o estudo de diversidade e conservação (PARSON, 1991). Estes insetos apresentam relação estreita com os fatores ambientais, que influenciam parâmetros fundamentais como nascimento, tempo de desenvolvimento dos imaturos e fecundidade do adulto, distribuição dos organismos e abundância das populações. Tais parâmetros são determinantes para que as espécies persistam em um local (WOLDA, 1988; TIDON, 2006). Por causa da alta sensibilidade a pequenas mudanças ambientais estes organismos proporcionam respostas rápidas em termos de crescimento populacional (MARTINS, 1987).

Em relação à fisiologia destes organismos, um dos aspectos mais importantes é o seu ciclo de vida. Os drosofilídeos em geral são multivoltinos (várias gerações por ano) e seu ciclo de vida inclui as fases de larva, formação de pupa, metamorfose e emergência do adulto, que pode ocorrer de pupas localizadas nos substratos onde as larvas se desenvolveram ou no solo nas proximidades destes (MARKOW, O'GRADY, 2008). Diferentes regiões geográficas e suas características abióticas têm impacto na reprodução de *Drosophila* e os ciclos populacionais podem refletir a maior ou menor tolerância das espécies (MARKOW, O'GRADY, 2008).

Os efeitos dos fatores ambientais sobre os drosofilídeos podem ser estimados através de experimentos laboratoriais e também em campo, observando o padrão de distribuição das espécies. Um fator importante para a distribuição e comportamento dos

insetos de uma maneira geral é o estresse à dessecação (BAZINET et al., 2010). Espécies florestais como *Drosophila birchii*, demonstram limitações no potencial de evoluir para resistência a dissecação. Alterações no microclima podem tornar-se fatores limitantes para estes organismos quando submetidos às condições decorrentes da fragmentação das florestas tropicais (HOFFMANN et al., 2003). Já espécies cactofílicas normalmente encontradas em áreas desérticas como *D. mojavensis*, são mais resistentes à dessecação perdendo água mais lentamente (GIBBS et al., 2003).

A umidade consiste em uma variável importante na distribuição e comportamento destas. No caso de indivíduos mantidos em laboratório, o aumento no teor da umidade no meio de cultura, por exemplo, tende a provocar uma alteração no comportamento larval em relação ao local de pupação, aumentar o número de pupas, e em contrapartida pode causar aumento na mortalidade das pupas (SAMEOTO, MILLER, 1968). Quanto à luminosidade, esta pode interferir na fertilidade, o tempo que um adulto leva pra emergir, a pigmentação e tamanho do corpo, e até sobre rituais de corte dos machos, contudo, cada espécie pode apresentar uma resposta peculiar (KUMAR et al., 2007). Espécies como *D. malerkotliana* e *D. melanogaster*, submetidas ao regime de luz equivalente ao de áreas desflorestadas tendem a acelerar o desenvolvimento e reduzir o número de descendentes (SOARES; MARTINS, in prep).

Em clima temperado, David et al., (1997) e Brncic (1968) destacam que a temperatura consiste em um fator determinante e por apresentar variações acentuadas entre as estações, influencia diretamente tanto na plasticidade fenotípica, como no tamanho corporal, comprimento de asas e tórax, pigmentação e quantidade de cerdas dos drosofilídeos. A exposição às altas e/ou as baixas temperatura pode desencadear ainda a sintetização das proteínas de choque térmico (Heat-shock, *Hsps*), que participam da realocização das proteínas danificadas pelo estresse. Sugere-se que estas proteínas proporcionam tolerância a altas e baixas temperaturas, porém, a um custo significativo para o crescimento celular e fecundidade (GOTO, KIMURA, 1998).

Considerando aspectos da influencia indireta do clima no que tange aos recursos utilizados pelos drosofilídeos alguns aspectos devem ser levados em consideração. Os substratos se tornam atrativos aos drosofilídeos pela presença de microorganismos, como fungos, bactérias e em especial as leveduras, que constituem a base alimentar destas moscas (ROQUE et al., 2009). Os microorganismos estão associados ao processo inicial de decomposição dos substratos, quebrando o tecido vegetal e liberando compostos voláteis, fornecendo assim um substrato apropriado e nutritivo para o

desenvolvimento de imaturos e possibilitando os demais estágios de formação de pupa até a emergência de indivíduos adultos. Florestas tropicais apresentam elevadas temperaturas, variando tipicamente na faixa de 28°C e 37°C, além de apresentar variações entre as temperaturas entre dia e noite. Este gradiente de temperatura inclui as temperaturas máximas para o crescimento de microorganismos, como as leveduras (MORAES et al., 1995)

Em regiões tropicais, não há variações climáticas acentuadas, quando comparada às regiões temperadas, contudo, a ideia de que os elementos climáticos são pouco relevantes para a fauna e flora é falsa (PAVAN, 1959). O clima na Amazônia caracteriza-se principalmente pelas variações no tempo e espaço da atividade convectiva tropical e da variação tempo-espaço da precipitação, variáveis climáticas mais importantes na determinação do clima regional. A grande quantidade pluviométrica está relacionada não só com as condições locais dos movimentos convectivos, mas também, pela influência de sistemas de meso e grande escala, que penetram na região (MOTA et al., 1998, ATHAYDES et al., 2012). Entre estes sistemas podemos citar a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, Oscilação de Madden-Julian – MJO, El Niño Oscilações Sul – ENOS e o gradiente Inter-Hemisférico no Oceano Atlântico Intertropical, conhecido também por Dipolo do Atlântico (MADDEN E, JULIAN, 1971; 1972; SOUZA et al., 2004; 2009; MOURA, VITORINO, 2012).

A região amazônica em geral apresenta o “período seco” (de julho a outubro) e o “período chuvoso” (de dezembro a maio), sendo que os meses de junho e novembro compreendem os períodos de transição, onde a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e a Oscilação de Madden-Julian – MJO são importantes na variabilidade do clima durante o período chuvoso (BASTOS et al., 2002; ANANIAS et al., 2010; MOURA, VITORINO, 2012).

A intensificação da precipitação se deve ao fato da ZCIT atingir sua posição mais ao sul em meados de março e abril, sendo o principal sistema meteorológico indutor de chuva na Amazônia, durante o pico da estação chuvosa (SOUZA et al., 2004; SOUZA *et al.*, 2009). A Oscilação de Madden-Julian (MADDEN, JULIAN, 1971; 1972) é um mecanismo de modulação das variações pluviométricas na escala intrasazonal na Amazônia oriental e nordeste do Brasil (SOUZA; ABRIZZI; 2006). Já a estação seca caracteriza-se pela baixa precipitação e longos períodos de estiagem, nesta época do ano a ZCIT encontra-se na sua posição mais ao Norte e as chuvas neste período ocorrem em forma de pancadas isoladas e em áreas esparsas (ANANIAS et al.,

2010). Essas chuvas no período de estiagem são provocadas por efeitos locais, como as brisas terrestres e marítimas e por Ondas de Leste (BASTOS et al., 2002).

Os padrões oceano-atmosfera de grande escala, o El Niño Oscilações Sul (ENOS) no Oceano Pacífico, e as fases do gradiente inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Atlântico Intertropical podem favorecer ou não a atividade convectiva em áreas tropicais (SOUZA et al., 2004; 2009).

O ENOS é um fenômeno natural, caracterizado pelas anomalias na temperatura da superfície do mar no centro e leste do oceano Pacífico, onde o aquecimento das águas corresponde à fase quente (El Niño) e o resfriamento a fase fria (La Nina). O gradiente Inter-Hemisférico no Oceano Atlântico Intertropical, também possui duas fases decorrentes da anomalia na temperatura da superfície do mar, onde o gradiente Norte resulta em anomalias positiva e negativa nos setores norte e sul do Atlântico, e o gradiente Sul o inverso (SOUZA et al., 2004). Cenários de La Nina e Gradiente de temperatura da superfície do mar para o Atlântico Sul são favoráveis à ocorrência de chuva acima do normal na Amazônia, enquanto que, cenários desfavoráveis de El Niño e Gradiente de temperatura da superfície do mar para o Atlântico Norte, tendem a promover déficit significativo de precipitação na região (SOUZA et al., 2009).

O grande número de espécies de Drosofilídeos existentes nos trópicos foi destacado por Dobzhansky & Pavan (1950). Estudos acerca do comportamento populacional em relação à disponibilidade de recursos (VALADÃO et al., 2010), com o meio ambiente e/ou diferentes tipos de vegetação (TIDON, 2006; TORRES, MADI-RAVAZZI, 2006; BIZZO et al., 2010), diferentes sítios de criação e alimentação (SANTOS, VILELA, 2005; MARTINS, SANTOS 2007; ROQUE et al., 2009; GOTTSCHALK et al., 2010) já tem sido registrados no Brasil em diferentes regiões. As populações tropicais de drosofilídeos, mais precisamente aquelas em florestas úmidas, estão sujeitas as mudanças ambientais causadas pela alternância entre períodos secos e chuvosos (DOBZHANSKY, PAVAN, 1950; SENE et al., 1980; BORBA, 1985).

Em um contexto de mudanças climáticas, Fearnside (1999) aponta que a Amazônia deverá apresentar uma variedade de efeitos. São alguns destes efeitos o aumento da temperatura, aumento da concentração do dióxido de carbono e mudanças na precipitação em decorrência do aquecimento global ou diminuição da evapotranspiração. Além disso, as mudanças climáticas tem seu potencial intensificado através das interações entre a variabilidade natural, como eventos naturais extremos como ENOS, e atividades antrópicas no uso da terra, como a extração de madeira,

fragmentação e queimadas. Neste sentido, o sucesso das espécies implicará na habilidade de se adaptarem às variações e mudanças das condições climáticas (PARSONS, 1991).

Este trabalho testa a influência da variabilidade climática tropical sobre as variações na dinâmica temporal das espécies e na estrutura da comunidade dos drosofilídeos. Para tal, foram realizadas coletas periódicas de drosofilídeos por um período de quatro anos em um fragmento de floresta primária, na região metropolitana de Belém, PA. As coletas foram realizadas através do método de armadilha com isca e pela coleta de recursos naturais, que neste trabalho foram os frutos em decomposição encontrados sobre o solo. Como elementos climáticos foram considerados a precipitação acumulada (mm), temperatura virtual (°C) e tensão de vapor de saturação (mb). A *temperatura virtual* leva em consideração a umidade relativa do ar, sendo definida como a temperatura que o ar seco teria se submetido à mesma temperatura e pressão que o ar úmido. A umidade consiste na presença do vapor d'água na atmosfera, e a saturação do ar ocorre quando um ambiente já atingiu a quantidade máxima possível de vapor d'água a uma determinada temperatura, logo, a *tensão de vapor de saturação* corresponde à pressão exercida pelo vapor de água (VAREJÃO-SILVA, 2005).

As informações geradas neste trabalho foram subdivididas em dois artigos aqui apresentados como capítulos

Capítulo 2 - Objetivo

Testar a relação entre as variações temporais na riqueza, composição de espécies e na abundância dos drosofilídeos frugívoros, e elementos meteorológicos (precipitação, tensão de vapor de saturação e temperatura virtual);

Capítulo 3 - Objetivo

Testar a relação entre a dinâmica da assembleia de drosofilídeos e a sazonalidade da região e neste caso, testar se a estação chuvosa é vantajosa em termos de aumento da abundância de drosofilídeos e disponibilidade de recursos (frutos em decomposição);

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. C. Fenologia de cinco espécies arbóreas tropicais de Sapotacea correlacionada a variáveis climáticas na Reserva Ducke, Manaus, AM. **Acta Amazônica**, v. 24 (3/4), p. 161 – 182, 1994.

BASTOS, T. X., PACHECO, N. A., NECHET, D., SÁ, T. D. A. Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos. **Embrapa Amazônia Oriental. Documentos**, n. 128, 31 p, 2002.

BASTOS, T. X.; GOMES, J. I.; RODRIGUES, S. T. Aspectos bioclimáticos de uma Área de Conservação Florestal Urbana na Amazônia Brasileira. Cap 13. In: GOMES, J. I.; MARTINS, M. B.; MARTINS-DASILVA, R. C. **Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg)**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônica Oriental, p. 317 – 330, 2007.

BAZINET, A. L.; MARSHALL, K. E.; MACMILLAN, H. A.; WILLIAMS, C. M.; SINCLAIR, B. J. Rapid changes in desiccation resistance in *Drosophila melanogaster* are facilitated by changes in cuticular permeability. **Journal of Insect Physiology**, v. 56, p. 2006–2012, 2010.

BÉLO, M.; FILHO, J. J. O. Espécies domésticas de *Drosophila*. V: Influências de fatores ambientais no número de indivíduos capturados. **Revista Brasileira de Biologia**, v.36, n. 4, p. 903- 909, 1976.

BIZZO, L.; GOTTSCHALK, M. S.; DE TONI, D. C.; HOFMANN, P. R. P. Seasonal dynamics of a drosophilid (Diptera) assemblage and its potencial as bioindicator in open environments. **Iheringia, Sér. Zool.**, Porto Alegre, n. 100 (3), p. 185-191, 2010.

BORBA, C. M. B. Contribuição ao estudo das populações naturais de *Drosophila willistoni* do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v.7, p. 181-195, 1985.

BRNCIC, D. The effects of temperature on chromosomal polymorphism of *Drosophila flavopilosa* larvae. **Genetics**, n. 59, p. 427-432, 1968.

CARSON, M. The ecology of *Drosophila* breeding sites. Harold L. Lyon **Arboretum Lecture Honolulu**, University of Hawaii, n. 2, p. 1-27, 1971.

DAVID, J. R., GIBERT, P.; GRAVOT, E.; PETAVY, G.; MORIN, J.; KARAN, D.; MORETEAU, B. Laboratoire Populations, Génétique, Evolution, CNRS, 91 19. Phenotypic plasticity and developmental temperature in drosophila: analysis and significance of reaction norms of Morphometrical traits. **Journal of Thermal Biology**. v. 22, n. 6, p. 441-451, 1997.

DAVIDSON, J. K. Extremes of climate and genetic heterogeneity in Australian populations of dipteran species *Drosophila melanogaster*. **Journal of Biogeography**, v.15, p. 481-487, 1988.

- DAVISON, J.; ANDREWARTHA, H. G. The Influence of Rainfall, Evaporation and Atmospheric Temperature on Fluctuations in the Size of a Natural Population of *Thrips imaginis* (Thysanoptera). **Journal of Animal Ecology**, v. 17, n. 2 ,p. 200-222, 1948.
- DOBZHANSKY, T.; PAVAN, C. Local and seasonal variations in relative frequencies of species of *Drosophila* in Brazil. **Journal of Animal Ecology**, n. 19 (1), p. 1-14, 1950.
- GIBBS, A. G.; FUKUZATO, F.; MATZKIN, L. M. Evolution of water conservation mechanisms in *Drosophila*. **The Journal of Experimental Biology**, n. 206, p. 1183-1192, 2003.
- GOTO, S. G; KIMURA, M. T. Heat- and cold-shock responses and temperature adaptations in subtropical and temperate species of *Drosophila*. **Journal of Insect Physiology**, v. 44, p. 1233–1239, 1998.
- GOTTSCHALK, M. S.; BIZZO, L.; DÖGE, J. S.; PROFES, M. S.; HOFMANN, R. P.; VALENTE, V. L. S. Drosophilidae (Diptera) associated to fungi: differential use of resources in anthropic and Atlantic Rain Forest áreas. **Iheringia, Sér. Zool.**, Porto Alegre, v. 99(4), p. 442-448, 2009.
- HARTMANN, D. L. **Global Physical Climatology**. Academic Press. 411p., 1994.
- HOFFMANN, A. A.; HALLAS, R. J.; DEAN, J. A.; SCHIFFER, M. Low Potential for Climatic Stress Adaptation in a Rainforest *Drosophila* Species. **Science**, v. 301, 100. 2003.
- KUMAR, S. *et al.* Selection on the timing of adult emergence results in altered circadian clocks in fruit flies *Drosophila melanogaster*. **The Journal of Experimental Biology**, n. 210, p. 906-918, 2007.
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Detection of 40—50 day oscillation in the Zonal wind in Tropical Pacific. **Journal of Atmospheric Sciences**. v. 28, 1971.
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Description of Global-Scale circulation cells in the Tropic with a 40—50 day period. **Journal of Atmospheric Sciences**. v. 29, 1972.
- MARTINS, M. B. Variação espacial e temporal de algumas espécies e grupos de *Drosophila* em duas reservas de matas isoladas, nas vizinhanças de Manaus (Amazonas, Brasil). **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, n.3, p. 195-198, 1987.
- MARTINS, M. B.; SANTOS, R. C. O. Sítios de criação de *Drosophila* na Reserva do Mocambo, Belém, Pará. Cap 16. In: GOMES, J. I.; MARTINS, M. B.; MARTINS-DASILVA, R. C. **Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg)**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônica Oriental. p. 317 – 330, 2007.
- MARKOW, T. A.; O'GRADY, P. Reproductive ecology of *Drosophila*. **Functional Ecology**, n. 22, p. 747–759, 2008.

MATA, R. A.; MCGEOCH, M.; TIDON, R. Drosophilids (Insecta, Diptera) as Tools for Conservation Biology. **Natureza & Conservação**, n. 8(1), p. 60-65, 2010.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p. 475 – 483, 2012.

ORT, B. S.; BANTAY, R. M.; PANTOJA, N. A.; O'GRADY, P. M. Fungal diversity associate with Hawaiian *Drosophila* hosts plants. **Plos One**, v. 7, 2012.

PARSONS, P. A. Biodiversity conservation under global climatic change: The insect *Drosophila* as a biological indicator? **Global Ecology and Biogeography Letters**, v.1, n.3, p.77-83, 1991.

PIPKIN, S. B. The influence of adult and larval food habits on population size of Neotropical ground feeding *Drosophila*. **The American Midland Naturalist**, v. 74, n 1, 1965.

POPPE, J. L.; VALENTE, V. L. S.; SCHMITZ, H. J. Structure of Drosophilidae Assemblage (Insecta, Diptera) in Pampa Biome (São Luiz Ganzaga, RS). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 52 (16), 2012.

ROQUE, F; VALL, J.D; TIDON, R. Breeding sites of drosophilids (Diptera) in savanna.I – Fallen fruits of *Emmo tumnites* (Icacinaceae), *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) and *Anacardium humile* (Anacardiaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 2, p. 308 – 313, 2009.

SANTOS, R. C. O.; VILELA, C. R. Breeding sites of Neotropical Drosophilidae (Diptera). IV. Living and fallen flowers of *Sessea brasiliensis* and *Cestrum spp.* (Solanaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 49 (4), p. 544-551, 2005.

SENE, F. M.; VAL, F. C.; VILELA, C. R.; PEREIRA, M. A. Q. R. Preliminary data of the geographical distribution of *Drosophila* species within morphoclimate domains of Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 33, n. 22, p. 315-326, 1980.

SCHMITZ, H. J.; HOFMANN, P. R. P.; VALENTE, V. L. S. Assemblages of drosophilids (Diptera, Drosophilidae) in mangrove forests: community ecology and species diversity. **Iheringia Sér. Zool.**, Porto Alegre, n. 100 (2), p. 133-140, 2010.

SOARES, I. S.; MARTINS, M. B. **Caracterização ecofisiológica de drosofilídeos em resposta à luminosidade**. Em fase de preparação.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, p. 113-122, 2004.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N.G.; DA ROCHA, E.J.P.; DE SOUZA, J. R. S.; DA CUNHA, A. C.; DA SILVA, R. R.; FERREIRA, D.B.S.; SANTOS, D. M.; DO CARMO, A.M.C.; DE SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; DA MOTA, M. A. S.;

MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A.M.L.; MOTA, G. V.; KUHN, P.A.F.; SOUZA, P. F. S; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o REGCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, 111-124, 2009.

TIDON, R. Relationships between drosophilids (Diptera, Drosophilidae) and the environment in two contrasting tropical vegetations. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 87, p. 233-247, 2006.

TIDON, R.; LEITE, D. F.; LEÃO, B. F. D. Impact of the colonisation of *Zaprionus* (Diptera, Drosophilidae) in different ecosystems of the Neotropical Region: 2 years after the invasion. **Biological Conservation**, v. 112, p. 299–305, 2003.

TORRES, F. R.; MADI-RAVAZZI, L. Seasonal variation in natural populations of *Drosophila* spp. (Diptera) in two woodlands in the State of São Paulo, Brazil. **Iheringia, Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 96, n 4, p. 437-444, 2006.

VALADÃO, H.; DU VALL HAY, J.; TIDON, R. Temporal Dynamics and Resource Availability for Drosophilid Fruit Flies (Insecta, Diptera) in a Gallery Forest in the Brazilian Savanna. **International Journal of Ecology**, v. 2010, p. 1 – 7, 2010.

WILLIAMS, C. K.; IVES, A. R.; APPLGATE, R. D. Population dynamics across geographical ranges: time-series analyses of three small game species. **Ecology**, v. 84 (10), p. 2654–2667, 2003.

WOLDA, H. Insect Seasonality: Why? **Ann. Rev. Ecol. Syst.**, v. 19, p. 1-18, 1988.

CAPÍTULO 2

INFLUENCIA DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS DE SISTEMAS TROPICAIS SOBRE A ASSEMBLEIA DE DROSOFILÍDEOS (DIPTERA; DROSOPHILIDAE).

Ana Luisa Brasil de Carvalho

Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Estado do Pará, Belém, Pará.

Adriano Marlisom Leão de Sousa

Universidade Federal Rural da Amazônia

Marlúcia Bonifácio Martins

Coordenação de Zoologia, Museu Paraense Emílio Goeldi.

RESUMO

Este trabalho testa os elementos climáticos que influenciam as flutuações temporais na abundância e riqueza de espécies de drosofilídeos em uma floresta tropical. Coletas quinzenais foram realizadas durante quatro anos, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013. A área de estudo consiste de um remanescente de cinco hectares de floresta preservada inserido na região metropolitana de Belém. Os dados de drosofilídeos frugívoros foram obtidos através de coletas com armadilhas com isca. Os elementos meteorológicos testados foram obtidos através da estação do INMET/Belém.

O clima na Amazônia é caracterizado por variações no tempo e no espaço da precipitação e da atividade convectiva, sendo encontrados períodos com altos valores pluviométricos e períodos com longos períodos de estiagem. Foram observadas respostas individuais das espécies para os elementos climáticos, principalmente a precipitação. Análises das séries temporais para a assembleia demonstraram uma relação entre a abundância e riqueza de drosofilídeos coletados com precipitação acumulada, no período de amostragem, e ainda refletindo efeitos de episódios anteriores no número de indivíduos e de espécies presentes na assembleia. As observações indicam a importância da precipitação no aumento da abundância. Os padrões observados são importantes para a compreensão do funcionamento da assembleia de drosofilídeos, possibilitando vislumbrar que alterações no regime de chuvas, produzidos por mudanças climáticas, poderão afetar a estrutura desta assembleia.

PALAVRAS CHAVE: Flutuação populacional; Precipitação; Séries temporais; Mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

O ambiente pode variar ao longo do tempo e do espaço, podendo afetar a capacidade de uma espécie sobreviver e persistir em um determinado local (TIDON, 2006). As espécies procuram se ajustar a esta variabilidade, apresentando variações ao longo do tempo, em termos de densidade, estrutura etária, taxas de natalidade, mortalidade, imigração e emigração (TORRES, MADI-RAVAZZI, 2009; POPPE et al., 2012). A compreensão dos processos que geram esta variabilidade ainda é restrita, visto que caracterizar a variabilidade temporal requer estimativas de densidade em longo prazo.

Entre os fatores que geram a variabilidade ambiental está o clima, descrito como o estado médio das condições e características da atmosfera em um intervalo de tempo, sendo definido quantitativamente através dos valores dos elementos climáticos (HARTMANN, 1994). Mudanças climáticas, causadas por forçantes naturais ou antrópicas, possuem potencial para causar alterações cada vez mais frequentes em ciclos populacionais, onde, a habilidade em se adaptar as alterações nas condições climáticas pode garantir o sucesso das espécies (PARSONS, 1991; DAVIDSON et al., 2012; POPPE et al., 2013).

Variáveis como temperatura, umidade e precipitação podem afetar diretamente a estrutura de uma comunidade biológica. Estas alterações podem ser expressas através de oscilações na riqueza e abundância de espécies, que refletem as diferenças na tolerância das populações a condições climáticas específicas (MATA et al., 2008; POPPE et al., 2013). Logo, determinar quais fatores são relevantes para a distribuição, abundância e riqueza das espécies é crucial para modelar com propriedade os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre a comunidade.

Os drosofilídeos são organismos modelo nas áreas da genética, biologia molecular, evolução, e mais recentemente em ecologia, como indicador de efeitos das mudanças ambientais recentes sobre a biodiversidade (PARSON, 1991; SCHMITZ et al., 2010; MATA et al., 2010). A alta sensibilidade dos drosofilídeos a pequenas mudanças ambientais possibilita respostas rápidas, principalmente quando se trata de crescimento populacional (MARTINS, 1987).

Espécies de drosofilídeos que habitam regiões de clima temperado estão sujeitas a mudanças extremas em seu meio ambiente, resultado da alternância das estações regidas principalmente pela temperatura (DOBZHANSKY, PAVAN, 1950). Espécies

tropicais também sofrem alterações sazonais, pelo menos nas regiões na qual ocorrem estações úmidas e secas alternadas (WOLDA 1978). Porém, essas variações não estão associadas a grandes variações de temperatura.

Na Amazônia, diferente de outras regiões do Brasil, o clima é predominantemente quente e úmido, e as estações são determinadas principalmente pela atividade convectiva e variação espaço-temporal da precipitação (DOBZHANSKY, PAVAN, 1950; ANANIAS et al., 2010; TAVARES, MOTA, 2012). A região apresenta pequenos gradientes de temperatura, muita nebulosidade, grande incidência de raios solares. A umidade, mesmo que com valores elevados, sofre variações acentuadas (ANANIAS et al., 2010). Mudanças climáticas deverão provocar uma grande variedade de efeitos em florestas da Amazônia, principalmente considerando as interações entre a variabilidade climática natural e às atividades antrópicas, como a supressão da floresta, expansão da agricultura e produção de incêndios (FEARNSIDE, 1999; DAVIDSON et al., 2012).

Se as espécies forem reguladas de acordo com variabilidade climática é de se esperar que exista uma alta correlação entre as mudanças nos parâmetros meteorológicos e as variações temporais da assembleia. Este fato pode incorrer em consequências importantes num cenário de mudanças climáticas. Neste estudo avaliamos a influencia dos elementos climáticos (precipitação, tensão de vapor de saturação e temperatura virtual) sobre as variações temporais nos parâmetros de uma assembleia de drosofilídeos frugívoros acompanhada ao longo de 4 anos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo e variáveis meteorológicas

O estudo foi feito em um remanescente de floresta ombrófila inserida na região metropolitana de Belém (PIREST, SALOMÃO, 2007), no Estado do Pará, Brasil, situada no estuário amazônico (Figura 1). A cidade de Belém possui segundo a classificação de Köppen, clima Am - tropical chuvoso de monção que caracteriza-se por uma grande quantidade de precipitação relacionada as condições locais dos movimentos convectivos e pela influência de sistemas de meso e grande escala, que penetram na região (TAVARES, MOTA, 2012; SILVA JÚNIOR et al., 2012). A cidade encontra-se envolvida por uma região com grande potencial hídrico, cercada por rios e florestas, o que favorece a atividade convectiva (MOURA, VITORINO, 2012).

O remanescente florestal conhecido por Reserva do Mocambo ($1^{\circ}26'27.04''$ S $48^{\circ}24'50.57''$ W), corresponde a 5,7 hectares de floresta ombrófila às margens do Rio Guamá (PIREST, SALOMÃO, 2007) e está inserido dentro do perímetro urbano de Belém. Este local é influenciado pelo alto índice pluviométrico anual (acima de 2500 mm), e por totais mensais que apontam a ocorrência de dois períodos: chuvoso (dezembro a maio) e de estiagem (julho a outubro). Este fragmento de floresta, onde o estudo foi realizado, está parcialmente isolado há aproximadamente 40 anos. Apresenta temperatura média de $24,8^{\circ}\text{C}$ e umidade média de 94% (BASTOS *et al.*, 2007).

As variáveis climatológicas testadas foram obtidas a partir da estação do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET localizada da aproximadamente 1 km da reserva (Figura 1). Foram extraídos os dados diários dos seguintes elementos meteorológicos: precipitação (mm), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%). Para as análises foram utilizadas a precipitação acumulada (mm), e calculados a temperatura virtual média – T_v ($^{\circ}\text{C}$) e de tensão de vapor de saturação média – e_s (mb) (VAREJÃO-SILVA, 2005), referentes ao período de cada coleta. O período chuvoso amazônico corresponde aos meses de verão e outono, que abrange os meses de dezembro a maio. Neste período o total de chuva corresponde a aproximadamente 70 % do total anual de precipitação.

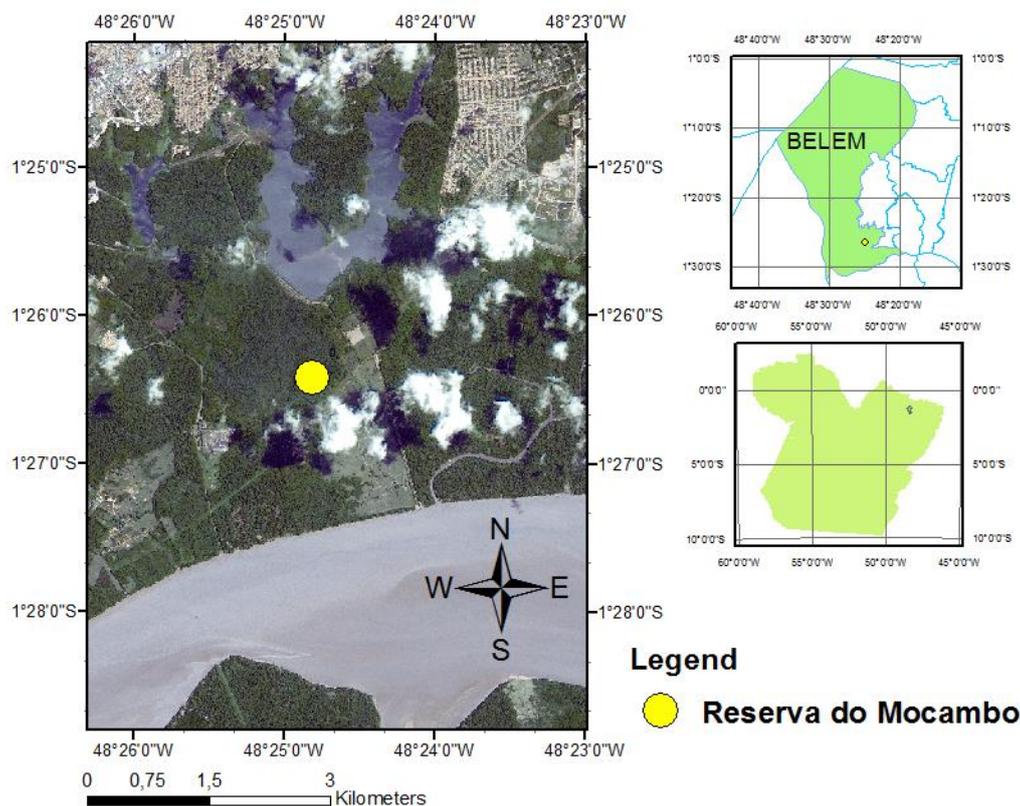


Figura 1. Carta imagem com a localização da coordenada central da área estudada, Reserva do Mocambo - APEG.

Coleta de Drosofilídeos

O trabalho foi realizado no período de quatro anos, obtendo dados quinzenais de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013. Houve o total de 82 coletas, cada uma configurando uma amostra. A cada coleta foram utilizadas quatorze armadilhas com isca de banana (MARTINS *et al.*, 2008) dispostas em três trilhas, duas de 200m e uma de 160m. Cada armadilha instalada distante 50m entre si, e permaneceu no campo por um período de 48h. Todos os adultos de drosofilídeos capturados foram mantidos em álcool absoluto.

A identificação das espécies foi realizada a partir da observação da morfologia da terminália do macho (WHEELER, KAMBYSELLIS, 1966). Somente os dados referentes aos machos foram computados nas análises quantitativas, já que as fêmeas são raramente determinadas em nível de espécie.

Análise de dados

Foram utilizadas como variáveis respostas para caracterizar a assembleia de drosofilídeos os dados de abundância, riqueza e riqueza estimada. A riqueza de drosofilídeos frugívoros foi estimada pelo procedimento Jackknife de primeira ordem com a utilização do programa *EstimateS* desenvolvido por Colwell (2013). Este método foi utilizado porque 30% das espécies foram representadas por apenas um indivíduo.

Para identificar quais elementos meteorológicos são mais influentes sobre as variações temporais nas abundâncias das espécies foi realizada a Análise de componente principais – ACP e Co-inércia - AcoI (DÓLEDEC, CHESSEL, 1994). A correlação das abundâncias com os parâmetros climáticos foi testada para as espécies que apresentaram acima de 10% da abundancia total. Foram feitas análises de correlação, pelo método não paramétrico de *Spearman*, assumindo o grau de significância de $<0,05$. Estas análises foram conduzidas com auxílio da plataforma R (R CORE TEAM, 2013).

Para avaliar a influência dos elementos climáticos sobre os dados temporais de abundância e riqueza de drosofilídeos foram realizadas análises de séries temporais com auxílio do software Gretl 1.9.14. Foram utilizados os dados totais de abundância e riqueza em 82 amostras. As análises de séries temporais seguiram as técnicas desenvolvidas para os modelos Auto Regressivos Integrados de Médias Móveis - ARIMA.

A identificação dos modelos ARIMA segue a metodologia Box & Jenkins, baseada no ajuste de modelos a séries temporais de valores observados, onde o melhor modelo deve ser parcimonioso (MORETTIN, TOLOI, 2006). O processo envolve a identificação de um subconjunto de modelos ARIMA e de seus parâmetros, com base nas análises de autocorrelação – FAC e autocorrelação parcial – FACP; em seguida ocorre a estimação dos parâmetros, testes de significância e finalmente o diagnóstico do modelo ajustado através da análise de resíduos (RASMUSSEN *et al.*, 2001; MORETTIN, TOLOI, 2006). Outro mecanismo utilizado para auxiliar na identificação dos modelos foi o Critério de informação de Akaike – AIC, que penaliza modelos com muitos parâmetros, sendo que menores valores de AIC são preferíveis (MORETTIN, TOLOI, 2006).

RESULTADOS

Foram coletados 30325 drosofilídeos, entre os quais foram identificadas 30 espécies distribuídas entre os gêneros *Drosophila* Fallén 1823, *Scaptodrosophila* Duda 1923, *Zaprionus* Coquillett 1901. 90% das espécies pertencem ao gênero *Drosophila*. A riqueza estimada pelo Jackknife de primeira ordem é de um total de 40 espécies para o total observado de 30 (Figura 2).

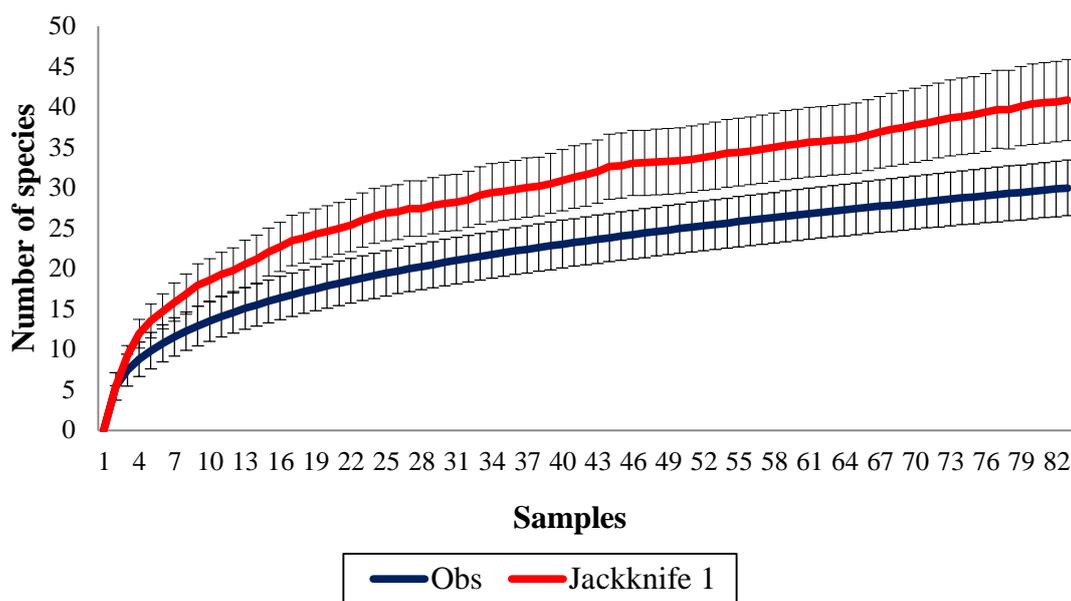


Figura 2. Curva do coletor apresentando a riqueza média acumulada (Obs.) no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, e a riqueza estimada (Jackknife 1) para a assembleia de drosofilídeos da Reserva do Mocambo. Barras verticais indicam o desvio padrão.

A análise de Co-inércia evidencia a influência dos elementos climáticos sobre a abundância de espécies, mostrando que a maioria das espécies respondeu positivamente ao aumento da precipitação, que foi a variável mais influente (Figura 3).

Tabela 1. Valores de p -value e r^2 obtidos nos testes de correlação entre as variáveis climáticas e os valores de abundância das espécies de drosofilídeos da Reserva do Mocambo.* valores significativos em vermelho.

Espécies	Método	Correlação					
		Precipitação		Tensão de Vapor de Saturação		Temperatura Virtual	
		r^2	p -value	r^2	p -value	r^2	p -value
<i>D. willistoni</i>	Spearman	0,340	0,001	-0,11	0,292	-0,151	0,173
<i>D. paulistorum</i>	Spearman	0,266	0,015	0,032	0,770	0,038	0,730
<i>D. sturtevanti</i>	Spearman	0,512	0,000	-0,405	0,000	-0,420	0,000
<i>D. malerkotliana</i>	Spearman	0,079	0,477	0,051	0,649	0,015	0,891
<i>D. tropicalis</i>	Spearman	0,189	0,088	0,036	0,747	0,038	0,733

No decorrer dos quatro anos de estudo, foram observadas variações nos parâmetros da assembleia de drosofilídeos, com a abundância e riqueza apresentando flutuações temporais (Figura 4).

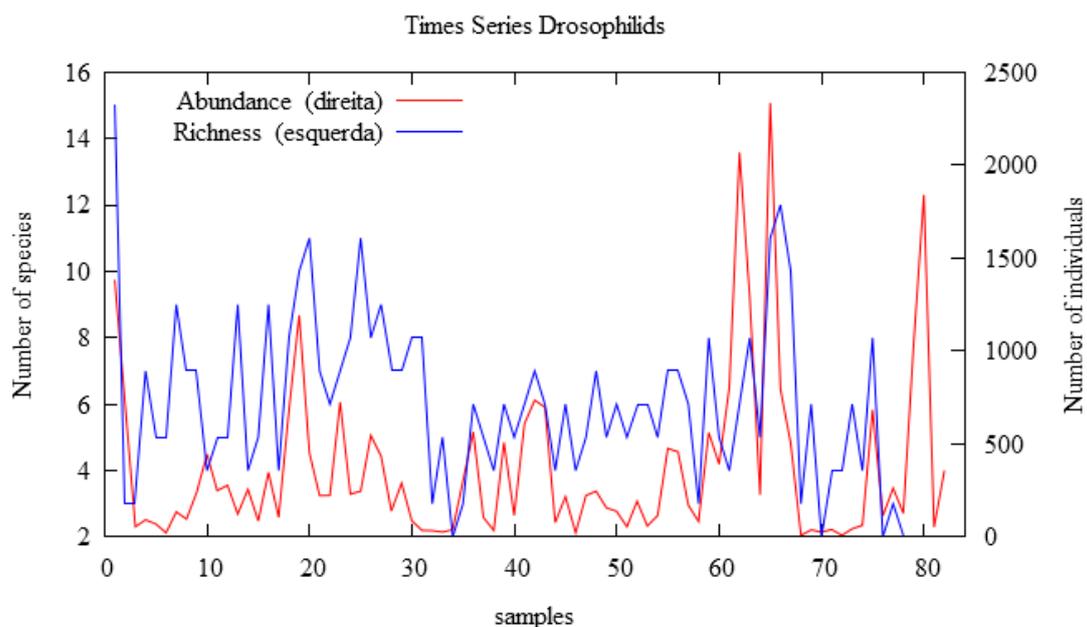


Figura 4. Séries temporais da abundância total e riqueza de drosofilídeos na Reserva do Mocambo em 82 observações quinzenais, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.

A análise inicial para séries temporais demonstrou que entre os elementos climáticos testados, apenas a precipitação foi influente tanto para abundância ($p=0,000$) como para a riqueza ($p=0,001$). O modelo proposto para as séries de abundância foi o *ARMAX* - Autoregressivo de médias móveis com entradas exógenas; o modelo é de ordem $p=2$ e $q=2$, sendo a variável precipitação o componente externo. A equação do modelo é dada da seguinte forma:

$$ARMAX(2,2) = Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} - \varphi_2 Y_{t-2} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + BX_t + \varepsilon_t$$

Onde φ corresponde ao coeficiente autoregressivo; θ o coeficiente de médias móveis; B o componente externo; e ε_t o erro aleatório.

O modelo ARMAX (2,2) demonstrou que o padrão observado no número de indivíduos no tempo t é efeito acumulativo do que ocorre na abundância em até dois eventos anteriores, além de ser influenciado positivamente pela precipitação acumulada no período de amostragem (Figura 5 e Tabela 2). A partir deste modelo foi possível obter a abundância ajustada (Figura 6).

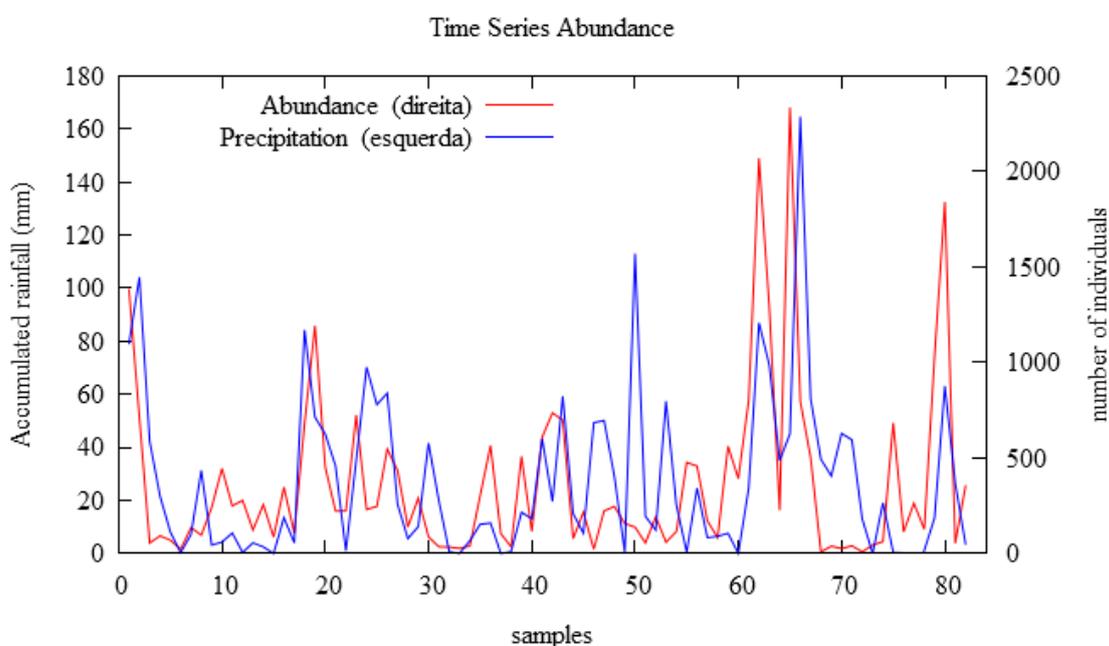


Figura 5. Séries temporais da abundância total de drosofilídeos e precipitação acumulada (mm) na Reserva do Mocambo, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais.

Tabela 2. Parâmetros do modelo para relação abundância e precipitação, ARMAX (2,2), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações.

Parâmetros	Coefficiente	Erro Padrão	Z	p-valor	
Const	194,218	56,4782	3,4388	0,00058	***
φ_1	1,90164	0,0245943	77,3204	<0,00001	***
φ_2	-0,988877	0,0215614	-45,8634	<0,00001	***
θ_1	-1,85463	0,0860535	-21,5521	<0,00001	***
θ_2	0,929438	0,0816986	11,3764	<0,00001	***
Precipitation	6,47928	1,59855	4,0532	0,00005	***

* significant; AIC = 1217,648

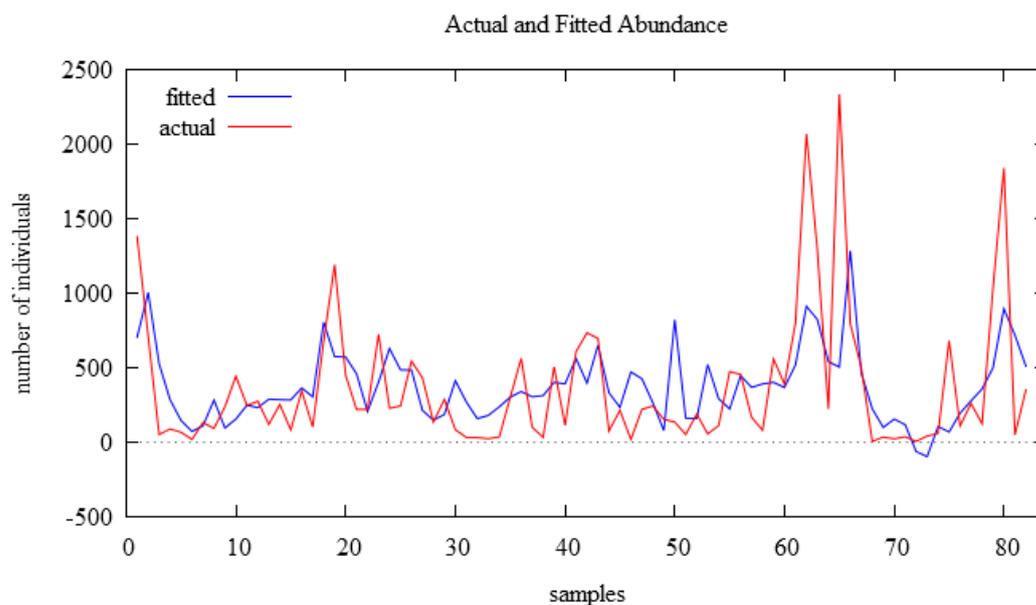


Figura 6. Abundância observada e ajustada ao modelo ARMAX (2,2), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais.

A Figura 7 apresenta os correlogramas dos resíduos para FAC e autocorrelação FACP, mostrando que os parâmetros do modelo ARMAX (2,2) estiveram dentro da variação esperada para ser aleatório, fazendo deste um modelo adequado.

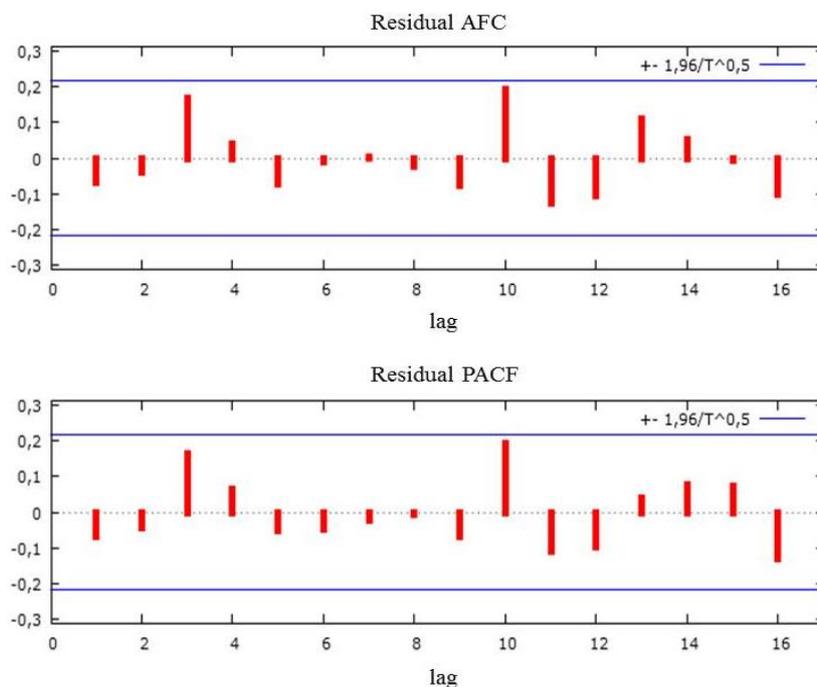


Figura 7. Correlograma dos resíduos no modelo ARMAX (2,2) para a abundância no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais.

O modelo ARMAX de ordem $p=3$ e $q=2$, com a precipitação como componente exógena, demonstrou a resposta acumulativa da riqueza em efeito ao que ocorreu em até três eventos anteriores, além de responder a precipitação acumulada no período de amostragem (Figura 8 e Tabela 3). A fórmula para este modelo é:

$$ARMAX(3,2) = Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} - \varphi_2 Y_{t-2} + \varphi_3 Y_{t-3} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + BX_t + \varepsilon_t$$

Onde φ corresponde ao coeficiente autoregressivo; θ o coeficiente de médias móveis; B o componente externo; e ε_t o erro aleatório.

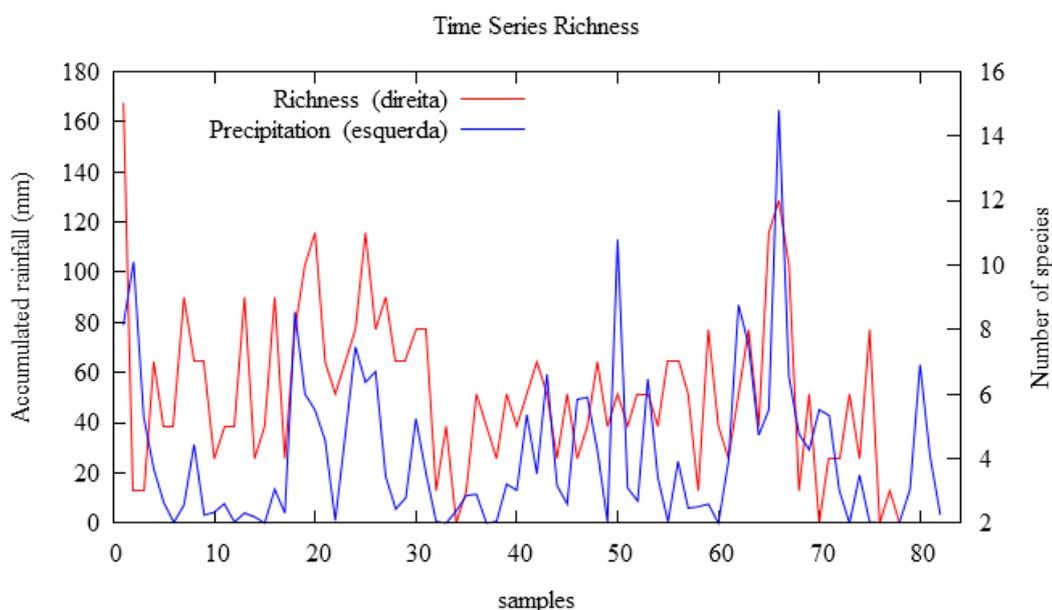


Figura 8. Séries temporais para a riqueza total de drosofilídeos e precipitação acumulada (mm) na Reserva do Mocambo, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais.

Tabela 3. Modelo para a riqueza, ARMAX (3,2), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações.

Parâmetros	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-valor	
Const	5,22514	0,438987	11,9027	<0,00001	***
φ_1	0,336842	0,116376	2,8944	0,00380	***
φ_2	-0,730698	0,0907216	-8,0543	<0,00001	***
φ_3	0,375669	0,118559	3,1686	0,00153	***
θ_1	-0,183326	0,0438733	-4,1785	0,00003	***
θ_2	1	0,0566173	17,6624	<0,00001	***
Precipitação	0,0232142	0,00646923	3,5884	0,00033	***

* significant; AIC = 373, 5536

A figura 9 apresenta a riqueza observada e riqueza ajustada em função dos parâmetros do modelo ARMAX (3,2).

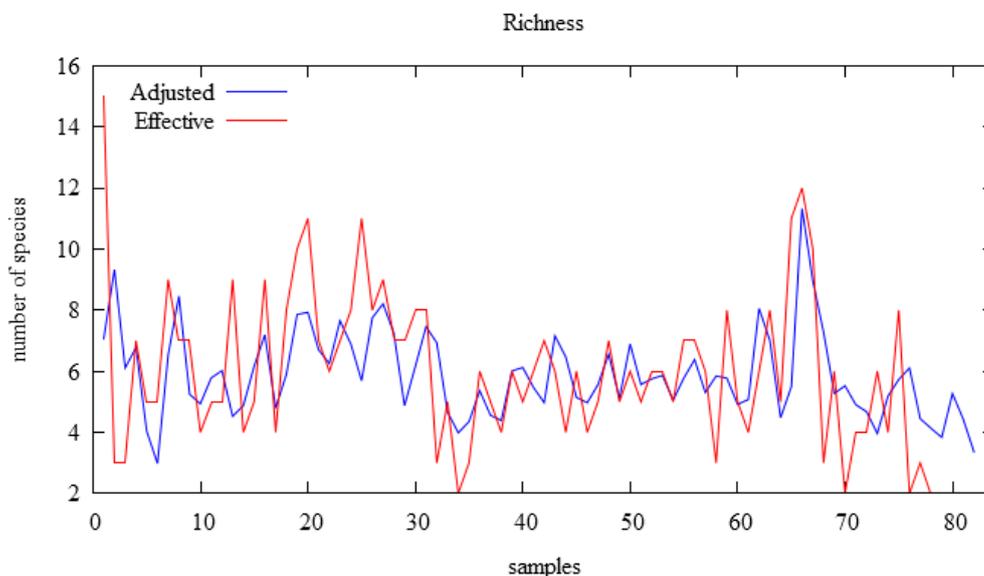


Figura 9. Série temporal para riqueza observada e riqueza ajustada pelo modelo ARMAX (3,2), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações quinzenais.

A Figura 10 apresenta os correlogramas dos resíduos para a FAC e FACP do modelo ARMA (3,2). É possível observar uma correlação nos *lags* 6 e 12 mostrando que alguns parâmetros não apresentaram variação de todo aleatório. Este fato sugere a interferência de outras variáveis no comportamento temporal no número de espécies.

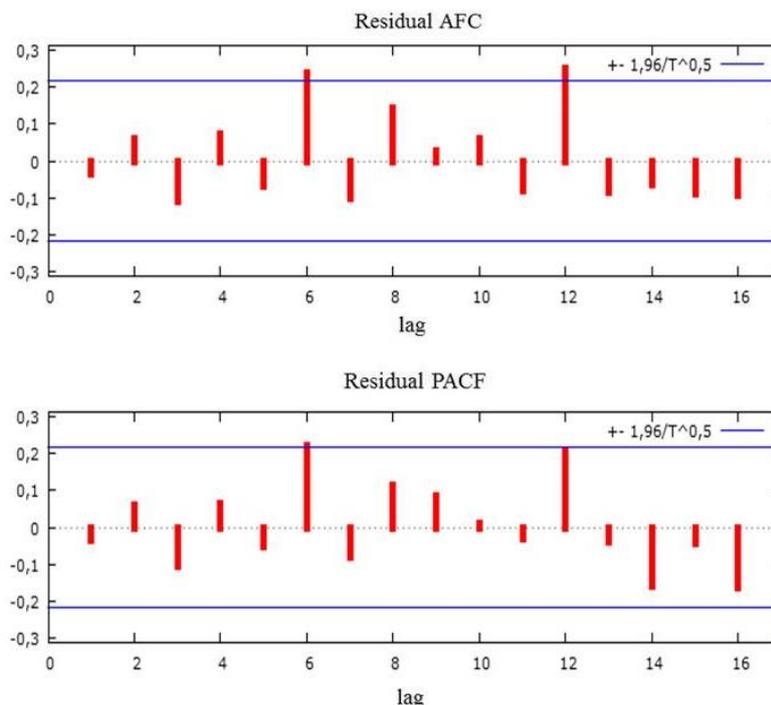


Figura 10. Correlograma dos resíduos no modelo ARMAX (3,2) para a riqueza, no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 82 observações.

DISCUSSÃO

Mesmo havendo respostas individuais típicas em todas as espécies foi possível notar que a assembleia de drosofilídeos foi estimulada pelo aumento da precipitação refletidas, tanto no incremento populacional, quanto na riqueza de espécies capturadas.

As espécies que melhor responderam à precipitação, *Drosophila willistoni* e *D. paulistorum*, são nativas de região tropical e abundantemente encontradas em florestas úmidas, principalmente nos seus estratos inferiores (SENE et al., 1980; MARTINS, 1989; ROQUE et al., 2013). Estas espécies fazem parte, juntamente com *D. tropicalis* e *D. equinoxialis*, de um complexo de espécies crípticas com nichos ecológicos aparentemente sobrepostos (BURLA et al., 1949).

Populações de *D. willistoni* apresentam baixas frequências em condições de extrema seca, enquanto que altas frequências são observadas diante de condições de temperatura próxima aos 25 °C, altos índices de precipitação e umidade elevada (BORBA, 1985). Em condições de umidade elevadas *D. paulistorum*, normalmente mais rara, pode inclusive ultrapassar a abundância de *D. willistoni* (DOBZHANSKY, PAVAN, 1950). A espécie *D. tropicalis* não demonstrou neste trabalho nenhuma relação com as variáveis ambientais testadas.

Em pesquisa com populações de espécies tropicais de *Drosophila* na Austrália foi demonstrado que espécies florestais podem apresentar variação clinal na resistência à dessecação e esta resistência pode ser maior em latitudes mais elevadas (locais mais secos). No entanto, também foi registrada uma baixa variabilidade genética para esta característica nas populações avaliadas, o que indica uma limitação para a aquisição de maior incremento na resistência nestas populações. Este fato sugere uma seleção pelos fatores climáticos, visto que em latitudes elevadas há redução nos níveis de precipitação, o que está correlacionado com a taxa de perda de água (HOFFMAN et al., 2003). As populações de *D. willistoni* e *D. paulistorum*, distribuídas ao longo do continente sul americano, provavelmente possuem diferentes níveis de resistência à dissecação (BURLA et al., 1949; GOTTSCHALK et al., 2008).

Populações de *D. tropicalis* encontram-se restritas a faixa equatorial (BURLA et al., 1949; GOTTSCHALK et al., 2008), aparentemente com baixa resistência a dessecação. Contudo, a ausência de resposta aos elementos climáticos mensurados sugere que outros mecanismos sejam mais importantes em condicionar a ocorrência desta espécie, como por exemplo, as interações com outras espécies. Dobzhansky & Pavan (1950) registram que populações de *D. tropicalis* são menos abundantes que as de *D. willistoni* e *D. paulistorum*, quando co-ocorrentes, no entanto, essas relações de abundância não são estáveis. Em coletas realizadas na Ilha do Marajó, *D. tropicalis* mostrou-se tão abundante quanto *D. willistoni*, enquanto que *D. paulistorum* foi rara (DOBZHANSKY, PAVAN, 1950).

Drosophila sturtevanti é conhecida por sua versatilidade e capacidade de ocupar vários ambientes, desde formações abertas até florestas pristinas, assim como estratos diferentes da floresta (AMADOR, MARTINS, in prep.), no entanto, neste trabalho *D. Sturtevanti* demonstrou ser sensível a todas as variáveis testadas. Este achado pode indicar que suas populações alcancem um ajuste fino à condição de ambiente local (HOFFMAN et al., 2003).

Outras espécies tropicais são mais resistentes à variação ambiental. A espécie *Drosophila malerkotliana*, originária na Ásia e amplamente distribuída no Brasil, ocorre tanto em mata contínua quanto em vegetação aberta (MARTINS, 1987; 1989; GOTTSCHALK et al., 2008) e é encontrada tanto em estratos superiores como inferiores da floresta (AMADOR, MARTINS, in prep).

A resposta positiva a chuva no aumento da abundância de indivíduos coletados resultam do fato que dias de chuvas podem melhorar as condições do substrato,

tornando-o mais favorável ao desenvolvimento das leveduras, estimulando a oviposição. E o aumento da riqueza também mostra que dias de chuvas tornam a floresta um ambiente propício para a atividade da maioria das espécies que aumentam a probabilidade de serem capturadas. Desta forma, os elementos climáticos atuam sobre disponibilidade e qualidade do substrato, o qual influencia na escolha do sítio de oviposição, fecundidade, sobrevivência de imaturos e do adulto recém-emergido, e ainda no tamanho corporal dos emergidos (BATEMAN, 1972; SAMEOTO, MILLER, 1976; KENNINGTON et al., 2003; DE TONI et al 2007; AGGARWAL et al., 2013).

Espécies frugívoras de drosofilídeos Neotropicais provavelmente conseguem utilizar frutos de diversas espécies em consequência da pequena diferença de qualidade nutricional entre eles, em contrapartida a diferença entre esses frutos pode estar na quantidade de teor de água (JAENIKE, MARKOW, 2003). Para espécies vegetais com frutos carnosos, por exemplo, a disponibilidade de água é um fator importante para sua frutificação (ALENCAR, 1994). As chuvas podem então favorecer uma ocorrência maior de manchas de recursos utilizáveis e assim reduzir a competição interespecífica, garantindo o equilíbrio devido à distribuição espacial das espécies nas manchas (ATKINSON, 1985).

As variações da precipitação no tempo e espaço, juntamente com a atividade convectiva tropical, possuem importância significativa na determinação do clima regional, induzindo as características de outros elementos, tais como temperatura, umidade relativa e vento (ALBURQUERQUE et al., 2010). As variações pluviométricas nas regiões tropicais estão relacionadas a fenômenos meteorológicos de diferentes escalas de tempo (SOUZA et al., 2009; ANANIAS et al., 2010; MOURA, VITORINO, 2012), podendo causar diferentes respostas dos ecossistemas a cada uma dessas escalas (HESSBURG et al., 2005;).

As projeções climatológicas futuras para a Amazônia indicam alterações na dinâmica das chuvas, com redução em até 30% da quantidade pluviométrica, porém há incerteza sobre de que forma tais mudanças irão ocorrer e como os ecossistemas irão responder a estes eventos (MARENGO *et al.*, 2011). Este cenário se torna ainda mais desfavorável quando associado à variabilidade natural, como a ocorrência de eventos extremos, e a ocasionada por atividade antrópicas, que tendem a ocorrer cada vez de forma mais rápida e constante (PRIMACK; RODRIGUES, 2001; FEARNSIDE, 2003).

Mudança nas condições climáticas, causadas pela alteração na dinâmica da chuva e a fragmentação dos habitats, irão expor muitas espécies ao estresse, podendo

resultar em rápidas mudanças em sua distribuição e ainda alterações genéticas em caracteres quantitativos (HOFFMAN et al., 2003). Populações de espécies mais generalistas provavelmente irão se ajustar com mais eficácia, enquanto espécies com capacidade adaptativa restrita poderão vir a se extinguir, trazendo implicações para a estrutura das assembleias.

CONCLUSÃO

A precipitação mostrou ser, entre as variáveis climáticas mensuradas, a de maior importância na dinâmica da assembleia de drosofilídeos. Dias de chuva contribuem efetivamente para o aumento das populações ao longo do tempo e conseqüentemente sobre a riqueza de espécies. Mudanças nas condições climáticas que levem a redução da precipitação e alteração do seu regime podem afetar negativamente a estrutura da assembleia e conseqüentemente afetar a diversidade local.

REFERENCIAS

- AGGARWAL, D. D.; RANGA, P.; KALRA, B.; PARKASH, R.; RASHKOVETSKY, E.; BANTIS, L. E. Rapid effects of humidity acclimation on stress resistance in *Drosophila melanogaster*. **Comparative Biochemistry and Physiology**, n. 166(1), p. 81-90, 2013.
- ALBURQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA JUNIOR, J. A. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: Climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, 2010.
- ALENCAR, J. C. Fenologia de cinco espécies arbóreas tropicais de Sapotacea correlacionada a variáveis climáticas na Reserva Ducke, Manaus, AM. **Acta Amazônica**, v. 24 (3/4), p. 161 – 182, 1994.
- AMADOR, R. B.; MARTINS, M. B. Abundancia e riqueza de Drosophilidae (Diptera) em floresta tropical. Em fase de elaboração.
- ANANIAS, D. S.; SOUZA, E. B.; SOUZA, P. F.; SOUZA, A. M. L.; VITORINO, M. I.; TEIXEIRA, G. M.; FERREIRA, D. B. climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-Pa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 218 - 226, 2010.
- ATKINSON, W. D. Coexistence of Australian Rainforest Diptera Breeding in Fallen Fruit. **Journal of Animal Ecology**, v. 54, p.507-518, 1985.
- BASTOS, T. X.; GOMES, J. I.; RODRIGUES, S. T. Aspectos bioclimáticos de uma Área de Conservação Florestal Urbana na Amazônia Brasileira. Cap 13. In: GOMES, J. I.; MARTINS, M. B.; MARTINS-DASILVA, R. C. **Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg)**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônica Oriental, p. 317 – 330, 2007.
- BATEMAN, M. A. The ecology of fruit flies. **Annual Review of Entomology**, v. 17, p. 493-518, 1972.
- BORBA, C. M. B. Contribuição ao estudo das populações naturais de *Drosophila willistoni* do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v.7, p. 181-195, 1985.
- BURLA, H.; CUNHA, A. B.; CORDEIRO, A. R.; DOBZHANSKY, T.; MALOGOLOWKIN, C.; PAVAN, C. The Willistoni Group of sibling species of *Drosophila*. **Evolution**, v.3, n. 4, 1949.
- COLWELL, R. K. 2006. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- DAVISON, J.; ANDREWARTHA, H. G. The Influence of Rainfall, Evaporation and Atmospheric Temperature on Fluctuations in the Size of a Natural Population of *Thrips imiginis* (Thysanoptera). **Journal of Animal Ecology**. v. 17, n. 2 ,p. 200-222. 1948.

- DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C.; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. B.; BUSTAMANTE, M. M. C.; COE, M.T.; DeFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA JR, C. M.; WOFSY, S. C. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, p. 321-328, 2012.
- DE TONI, D. C.; GOTTSCHALK, M. S.; CORDEIRO, J.; HOFMANN, P. P. R.; VALENTE, V. L. S. Study of the Drosophilidae (Diptera) Communities on Atlantic Forest Islands of Santa Catarina State, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 36, n.3, p. 356-375, 2007.
- DOBZHANSKY, T.; PAVAN, C. Local and seasonal variations in relative frequencies of species of *Drosophila* in Brazil. **Journal of Animal Ecology**, v. 19 (1), 1950.
- DÓLEDEC, S.; CHESSEL, D. Co-inercia analysis: an alternative method for studying species-environment relationships. **Freshwater Biology**, v.31, p.277-294, 1994.
- FEARNSIDE, P. M. Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: risks, value and conservation. **Environmental Conservation**, v. 26 (4), p. 305–321, 1999.
- FEARNSIDE, P. M. A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, AM. **Biodiversidade nas florestas Amazônicas brasileiras: Riscos, valores e conservação**, Cap. 2, 134 p., 2003.
- GOTTSCHALK, M. S.; HOFMANN, P. R. P.; VALENTE, V. L. S. Diptera, Drosophilidae: historical occurrence in Brazil. **Check List**, v.4, n.4, p. 485–518, 2008.
- HARTMANN, D. L. **Global Physical Climatology**. Academic Press, 411 p., 1994.
- HESSBURG, P. F.; KUHLMANN, E. E.; SWETNAM, T. W. Examining the recent climate through the lens of ecology: inferences from temporal pattern analysis. **Ecological Applications**, v. 15(2), p. 440–457, 2005.
- HOFFMANN, A. A.; HALLAS, R. J.; DEAN, J. A.; SCHIFFER, M. Low Potential for Climatic Stress Adaptation in a Rainforest *Drosophila* Species. **Science**, v. 301, n. 100, 2003.
- JAENIKE, J.; MARKOW, T. A. Comparative elemental stoichiometry of ecologically diverse *Drosophila*. **Functional Ecology**, v. 17, p. 115-120, 2003.
- KENNINGTON, W. J.; KILLEEN, J. R.; GOLDSTEIN, D. B.; PARTRIDGE, L. Rapid laboratory evolution of adult wing area in *Drosophila melanogaster* in response to humidity. **Evolution**, v. 57, n.4, p. 932–936, 2003.
- MATA, R.A.; MCGEOCH, M.; TIDON, R. Drosophilid assemblages as a bioindicator system of human disturbance in the Brazilian Savanna. **Biodiversity and Conservation**, v. 17, p.2899–2916, 2008.
- MATA, R. A.; MCGEOCH, M.; TIDON, R. Drosophilids (Insecta, Diptera) as Tools for Conservation Biology. **Natureza & Conservação**, n. 8(1), p.60-65, 2010.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, 2011.

MARTINS, M. B. Variação espacial e temporal de algumas espécies e grupos de *Drosophila* em duas reservas de matas isoladas, nas vizinhanças de Manaus (Amazonas, Brasil). **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, n.3, p. 195-198, 1987.

MARTINS, M. B. Invasão de fragmentos florestais por espécies oportunistas de *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae). **Acta Amazônica**, v. 19, p. 265-271, 1989.

MARTINS, M. B.; PENA, J. A. N.; BITTENCOURT, R. N. Traps for tropical drosophilids survey. **Drosophila Information Service**, v. 91, p. 91-91, 2008.

MORETTI, P. A.; TOLOI, C. M. **Análise de series temporais**. 2 ed. São Paulo. Blucher, 538 p., 2006.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p. 475 – 483, 2012.

PARSONS, P. A. Biodiversity conservation under global climatic change: The insect *Drosophila* as a biological indicator? **Global Ecology and Biogeography Letters**, v.1, n.3, p.77-83, 1991.

PIRES .T, J. M.; SALOMÃO, R. P. Histórico Científico, institucional e perspectivas atuais na Área de Pesquisa Ecológica do Guamá – Apeg, da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará.Cap2. In: GOMES, J. I.; MARTINS, M. B.; MARTINS-DA-SILVA, R. C. **Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg)**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônica Oriental, p. 29 – 40, 2007.

POPPE, J. L.; VALENTE, V. L.S.; SCHMITZ, H. J. Structure of Drosophilidae Assemblage (Insecta, Diptera) in Pampa Biome (São Luiz Gonzaga, RS). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 52 (16), 2012.

POPPE, J. L.; VALENTE, V. L. V.; SCHMITZ, H. J. Population dynamics of drosophilids in the Pampa Biome in response to temperature. **Neotropical Entomology**, v.42, p. 269–277, 2013.

PRIMARCK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Ed 1. Londrina.:Planta. 328p., 2001.

RASMUSSEN, P. W.; HEISEY, D. M.; NORDHEIM, E. V.; FROST, T. M. Time Series Intervention Analysis: Unreplicated Large-scale Experiments. In: SCHEINER, S. M.; GUREVITCH, J. **Design and Analysis of Ecological Experiments**. 2 Ed. Oxford University Press, Inc. 2001.

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

ROQUE, F.; MATA, R. A.; TIDON, R. Temporal and vertical drosophilid (Insecta; Diptera) assemblage fluctuations in a neotropical gallery forest. **Biodiversity and Conservation**, v.22, p.657–672, 2013.

SAMEOTO, D. D., MILLER, R. S. Selection of Pupation Site by *Drosophila Melanogaster* and *D. Simulans*. **Ecology**, v. 49. n. 1, p. 177-180, 1968.

SENE, F. M.; VAL, F. C.; VILELA, C. R.; PEREIRA, M. A. Q. R. Preliminary data of the geographical distribution of *Drosophila* species within morphoclimate domains of Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 33, n. 22, p. 315-326, 1980

SCHMITZ, H. J.; HOFMANN, P. R. P.; VALENTE, V. L. S. Assemblages of drosophilids (Diptera, Drosophilidae) in mangrove forests: community ecology and species diversity. **Iheringia Sér. Zool.**, Porto Alegre, v. 100 (2), p. 133-140, 2010.

SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, A. L.; PEZZUTI, J. C. B. ; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D. Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, p. 218-232, 2012.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N.G.; DA ROCHA, E.J.P.; DE SOUZA, J. R. S.; DA CUNHA, A. C.; DA SILVA, R. R.; FERREIRA, D.B.S.; SANTOS, D. M.; DO CARMO, A.M.C.; DE SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; DA MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A.M.L.; MOTA, G. V.; KUHN, P.A.F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o REGCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p. 111-124, 2009.

TAVARES, J. P. N.; MOTA, M. A. S. Condições termodinâmicas de eventos de precipitação extrema em Belém-Pa durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.2, p. 207 – 218, 2012.

TIDON, R. Relationships between drosophilids (Diptera, Drosophilidae) and the environment in two contrasting tropical vegetations. **Biological Journal of Linnean Society**, v. 87, p. 233-247, 2006.

TORRES, F. R.; MADI-RAVAZZI, L. Seasonal variation in natural populations of *Drosophila* spp. (Diptera) in two woodlands in the State of São Paulo, Brazil. **Iheringia Série Zoologia**, Porto Alegre. v. 96, n 4, p. 437-444, 2006.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife, Brasil, p. 522, 2005.

WHEELER, M. R.; KAMBYSELLIS, M. P. **Notes on the Drosophilidae (Diptera) of Samoa**. University of Texas Publications, 6615, 533-565. 1966.

WOLDA, H. Seasonal Fluctuations in Rainfall, Food and Abundance of Tropical Insects. **Journal of Animal Ecology**, v. 47, n. 2, p. 369-381, 1978.

CAPÍTULO 3

A SAZONALIDADE DA ASSEMBLEIA DE DROSOFILÍDEOS (INSECTA; DIPTERA) DETERMINADA PELA CHUVA.

Ana Luisa Brasil de Carvalho

Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Estado do Pará.

Adriano Marlisom Leão de Sousa

Universidade Federal Rural da Amazônia

Marlúcia Bonifácio Martins

Coordenação de Zoologia, Museu Paraense Emílio Goeldi.

RESUMO

A sazonalidade ambiental gerada a partir de variações temporais nos elementos climáticos pode alterar a estrutura de uma comunidade? Este trabalho testa a influencia da sazonalidade pluviométrica sobre a estrutura da assembleia de drosofilídeos, avaliando seu efeito indireto e direto sobre a abundância e riqueza de espécies. Para tal, foram realizadas coletas mensais ao longo de quatro anos, em um remanescente de floresta. Os dados de drosofilídeos frugívoros foram obtidos através de emergência a partir de recursos naturais e coleta em armadilhas com isca. Os dados sobre a precipitação acumulada ao longo dos meses foram obtidos através da estação do INMET/Belém.

Os drosofilídeos responderam a precipitação, refletindo os efeitos desta variável sobre a disponibilidade e qualidade de frutos utilizados como sítio de criação. A frutificação das espécies vegetais ocorreu geralmente na estação chuvosa, favorecendo a emergência e abundância das espécies. Series temporais obtidas através das iscas demonstraram o aumento mensal da abundância de drosofilídeos nas estações chuvosas. Já a riqueza de espécies ao longo dos meses não mostrou relação com pluviosidade. A assembleia de drosofilídeos apresentou comportamento sazonal em reflexo à sazonalidade climática da região amazônica. A estação chuvosa concentrou as condições adequadas para o desenvolvimento e sobrevivência dos drosofilídeos, favorecendo ainda a disponibilidade e qualidade dos frutos utilizados como recursos. Nossos resultados enfatizam a importância da sazonalidade ambiental em explicar os padrões temporais nas comunidades, e que mudanças climáticas associadas à modificação da sazonalidade pluviométrica podem comprometer a abundância e diversidade local de espécies, afetando a estrutura da comunidade.

PALAVRAS-CHAVE: Drosophilidae; Frutificação; Pluviosidade; Series temporais;

INTRODUÇÃO

As espécies de *Drosophilidae* (Diptera, Insecta), conhecidas como “moscas-das-frutas”, são consideradas excelentes modelos biológicos, e entre as espécies, as pertencentes ao gênero *Drosophila* Fallen, 1823, se destacam pela grande diversidade no Brasil (SCHMITZ et al., 2010). A distribuição destes organismos está fortemente relacionada à heterogeneidade ambiental, como as flutuações de variáveis climáticas e a disponibilidade de recursos, utilizados como sítio de alimentação e criação (CARSON, 1971; VALADÃO et al., 2010). Alguns trabalhos (PIPKIN, 1965; MARTINS, 1987) têm ressaltado a importância da disponibilidade de recursos entre os períodos de floração e frutificação, como condicionantes das variações na abundância de algumas espécies de *Drosophila*.

As florestas tropicais se destacam pela variedade de nichos ecológicos e grande variedade de recursos disponíveis para os drosofilídeos, principalmente aqueles de origem vegetal como frutos e flores (CARSON, 1971). Elementos meteorológicos como a temperatura, umidade e precipitação estão sujeitos a variações ao longo do ano e possuem uma relação estreita com a floresta (ALENCAR, 1994). Os elementos climáticos podem atuar indiretamente sobre as populações destes animais através da influência sobre processos biológicos das fenofases das espécies florestais (PINTO et al., 2005); que implicará na disponibilidade de recursos para os drosofilídeos. Também há possibilidade de influência direta de elementos do clima como, por exemplo, as variações em temperatura como modeladores da estrutura da assembleia de drosofilídeos (POPPE et al., 2013);

Para regiões tropicais, como a Amazônia, a precipitação corresponde a um dos elementos climáticos de maior importância, distinguindo a sazonalidade da região em “Período seco” e “Período chuvoso” (SILVA JÚNIOR et al., 2012; TAVARES, MOTA, 2012). Desta maneira, o máximo da precipitação anual ocorre durante o verão e outono austral (dezembro a maio), e os menores valores são registrados no inverno e primavera (julho a novembro), onde são observados longos períodos de estiagem (SOUZA et al., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2010). O regime de precipitação sobre a Amazônia apresenta variação espaço-temporal condicionado pelas interações de diferentes sistemas meteorológicos, que podem promover a intensificação ou déficit de chuvas (SOUZA et al., 2009; ALBUQUERQUE et al., 2010; MOURA, VITORINO, 2012).

A fenologia de muitas espécies vegetais na região amazônica aparece associada ao regime pluviométrico, no entanto, os ciclos fenológicos de plantas tropicais são complexos, apresentando padrões irregulares e de difícil reconhecimento (ALENCAR, 1994; MUNIZ, 2008).

Cenários futuros apontam para mudanças na dinâmica de chuvas na Amazônia, como a redução da precipitação, aumento na frequência de eventos extremos de seca e na duração da estação seca (MARENGO et al., 2012). Inferir o impacto e a forma de adaptação dos sistemas ecológicos frente às mudanças climáticas requer melhor compreensão das respostas dos ecossistemas, e das espécies que a compõem. Neste trabalho avaliamos a condicionante da sazonalidade pluviométrica sobre a assembleia de drosofilídeos tanto em seus efeitos indiretos (disponibilidade de recursos) como diretos sobre a riqueza e abundância das espécies, e testamos a influência do regime de chuvas na estruturação desta comunidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado em um fragmento de floresta e localizado na região metropolitana de Belém, no estado do Pará, Brasil. Este remanescente de floresta tropical é conhecido por Reserva do Mocambo ($1^{\circ}26'27.04''$ S $48^{\circ}24'50.57''$ W), e corresponde a 5,7 hectares de floresta ombrófila densa e faz parte da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá – APEG (PIREST, SALOMÃO, 2007) (Figura 1). A floresta apresenta temperatura média anual de $24,8^{\circ}\text{C}$ e umidade média de 94% (BASTOS et al., 2007). Esta floresta é a de maior biomassa dentre as fitofisionomias presentes num raio de 200 km no entorno do município e possui grande número de espécies vegetais e conseqüentemente uma variedade de frutos que podem servir como sítio de criação para os drosofilídeos (MARTINS; SANTOS, 2007).

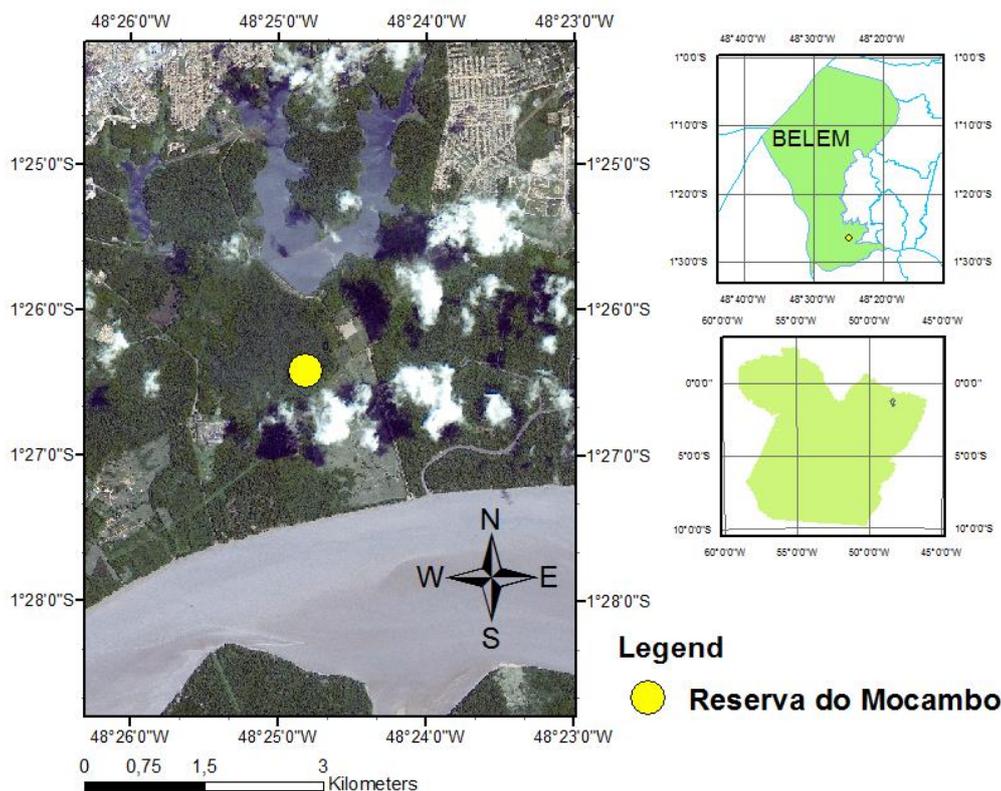


Figura 11. Carta imagem com a localização da coordenada central da área estudada, Reserva do Mocambo - APEG.

Coleta de Dados

As coletas de drosofilídeos frugívoros ocorreram mensalmente no período de quatro anos, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013. Foram utilizados dois métodos para a captura de indivíduos adultos: coleta de recursos (frutos em decomposição) para a emergência de adultos, e armadilha com isca (MARTINS et al., 2008).

Os frutos, quando encontrados no solo, foram levados ao laboratório e acondicionados em frascos individuais contendo areia e cobertos por organza, para o aguardo da emergência de indivíduos adultos. Quando encontradas quantidades de frutos superiores a 20 unidades de frutos por espécie foi considerado como 100% de disponibilidade do recurso para os drosofilídeos, sendo esta quantidade levada para o laboratório. Foram selecionados exemplares das espécies vegetais de frutos coletados nas trilhas para identificação no Herbário João Murça Pires e pelo auxílio de especialistas do herbário do Museu Paraense Emílio Goeldi. Também foram utilizadas informações da literatura (FALCÃO, CLEMENT, 1998; ARAGÃO et al., 2007;

CAVALCANTE, 2010) para a descrição das características do fruto e período de frutificação.

A cada visita na área foram instaladas quatorze armadilhas com isca de banana dispostas em três trilhas, duas de 200m e uma de 160m, sendo cada armadilha instalada distante 50m entre si, permanecendo no campo por um período de 48h. Todos os adultos de drosofilídeos capturados foram mantidos em álcool absoluto. A identificação das espécies de Drosophilidae foi realizada a partir da observação da morfologia da terminália do macho (WHEELER, KAMBYSELLIS, 1966). Somente os dados referentes aos machos foram computados nas análises quantitativas, já que as fêmeas são raramente determinadas em nível de espécie.

As variáveis climatológicas testadas foram obtidas a partir da estação do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET localizada a aproximadamente 1 km da reserva. Para as análises foram utilizados dados da precipitação acumulada mensal, com valores acumulados em milímetros.

Análise de Dados

Para verificar a correlação entre a disponibilidade de frutos e número de emergidos com a precipitação mensal foi utilizado o método de *Spearman*, assumindo o grau de significância de $<0,05$, dado que a maioria dos dados não apresentou distribuição normal. A mesma análise foi utilizada para avaliar a correlação da disponibilidade de frutos e número de emergidos sobre os drosofilídeos capturados com armadilha. As análises de correlação foram realizadas com auxílio da plataforma R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

A avaliação da influência da sazonalidade pluviométrica sobre os dados mensais de abundância e riqueza de drosofilídeos foi realizada a partir de análises de séries temporais. Para tal, foram utilizados o número médio de indivíduos e riqueza total por mês coletados com armadilhas, por apresentarem maior abundância de drosofilídeos. As análises e identificação dos modelos de séries temporais seguiu a metodologia Box & Jenkins, baseada no ajuste de modelos a séries temporais de valores observados onde o melhor modelo deve ser parcimonioso (RASMUSSEN et al., 2001; MORETTIN, TOLOI, 2006). O Critério de informação de Akaike – AIC também foi utilizado na escolha do modelo, onde menores valores de AIC são preferíveis (MORETTIN, TOLOI, 2006). Esta análise foi realizada com auxílio do software Gretl 1.9.14.

RESULTADOS

Comportamento mensal da precipitação

A figura 2 apresenta a variação mensal da precipitação em anos de estudo, no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013. É possível observar a ocorrência dos períodos chuvosos e de estiagem, contudo, há variação na quantidade pluviométrica entre os anos.

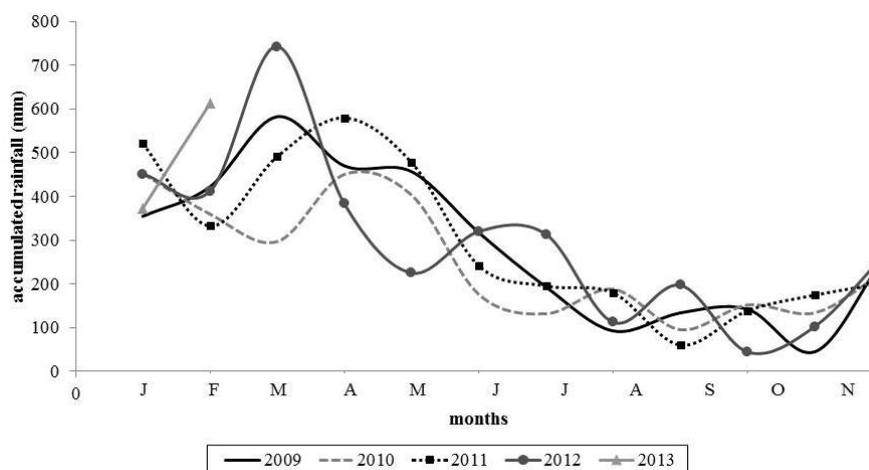


Figura 12. Variação mensal e interanual da precipitação acumulada (mm)

Composição da assembleia de drosofilídeos na Reserva do Mocambo

No decorrer de 49 meses de coletas foram obtidos 34041 drosofilídeos, dos quais 3719 emergidos de frutos e 30325 capturados com isca. Neste período foram identificadas 30 espécies de Drosophilidae, distribuídas entre os gêneros *Drosophila* Fallén 1823, *Scaptodrosophila* Duda 1923, *Zaprionus* Coquillett 1901. As espécies emergidas dos frutos representaram um subconjunto das capturadas com isca (Tabela 1).

Tabela 1. Espécies capturadas com armadilhas (A) e emergidas dos recursos (R), na Reserva do Mocambo, Belém, PA. No período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2010.

Gênero	Espécie	A	R
Drosophila			
	AC10001(sp. nova)	X	
	<i>D. ananassae</i> Doleschall 1858	X	
	<i>D. austrosaltans</i> Spassky 1957	X	
	<i>D. camargoi</i> Dobzhansky, Pavan, 1950	X	X
	<i>D. canalinea</i> Patterson, Mainland 1944	X	
	<i>D. coffeata</i> Williston 1896	X	
	<i>D. cuaso</i> Bächli, Vilela, Ratcov 2000	X	
	<i>D. equinoxialis</i> Dobzhansky 1946	X	
	<i>D. fulvimacula</i> Patterson, Mainland 1944	X	
	<i>D. fumipennis</i> Duda 1925	X	
	<i>D. impudica</i> Duda, 1927	X	
	<i>D. magalhaesi</i> Mourão, Bicudo 1967	X	
	<i>D. malerkotliana</i> Parshad, Paika 1964	X	X
	<i>D. melanogaster</i> Meigen 1830	X	X
	<i>D. nebulosa</i> Sturtevant 1916	X	
	<i>D. neochracea</i> Wheeler, 1959	X	
	<i>D. neocordata</i> Magalhães 1956	X	
	<i>D. paramediostriata</i> Townsend, Wheeler 1955	X	X
	<i>D. paulistorum</i> Dobzhansky, Pavan, 1949	X	X
	<i>D. prosaltans</i> Duda 1927	X	
	<i>D. simulans</i> Sturtevant 1919	X	X
	<i>D. sturtevanti</i> Duda 1927	X	X
	<i>D. subsaltans</i> Magalhães 1956	X	
	<i>D. tropicalis</i> Burla, Cunha, 1949	X	X
	<i>D. tuchaua</i> Pavan 1950	X	
	<i>D. willistoni</i> Sturtevant 1916	X	X
	H06003	X	
	H07004	X	
Scaptodrosophila			
	<i>S. latifasciaeformis</i> Duda, 1940	X	
Zaprionus			
	<i>Z. indianus</i> Gupta, 1970	X	X

Recursos naturais e emergência de drosofilídeos

Foram coletados 336 frutos de sete espécies vegetais, todas nativas de floresta ombrófila densa (Tabela 2). O período de frutificação na Reserva do Mocambo ocorreu geralmente no início e final do ano, sendo possível observar variações na extensão deste

período (Figura 3). A ocorrência mensal dos frutos esteve relacionada de forma significativa com a precipitação ($p=0,01$; $\rho: 0,30$).

Tabela 2. Frutos encontrados nas trilhas na Reserva do Mocambo, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.

Nome Científico	Família	Nome vulgar	Total	
			N	%
<i>Anacardium giganteum</i> Hanc. Ex Engl	Anacardiaceae	Cajuí	116	34,5
<i>Fusaea longifolia</i> Aubl Safford	Annonacea	-	1	0,2
<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke	Apocynaceae	Amapá	122	36,3
<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Fabaceae	Acapu	1	26,8
<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz et Pavon) Radlk	Sapotaceae	Abiurana	90	0,3
<i>Clusia grandiflora</i> Splitg	Clusiaceae	Cebola-brava	5	1,5
<i>Theobrama subincanum</i> Mart.	Sterculiaceae	Cupuí	1	0,3

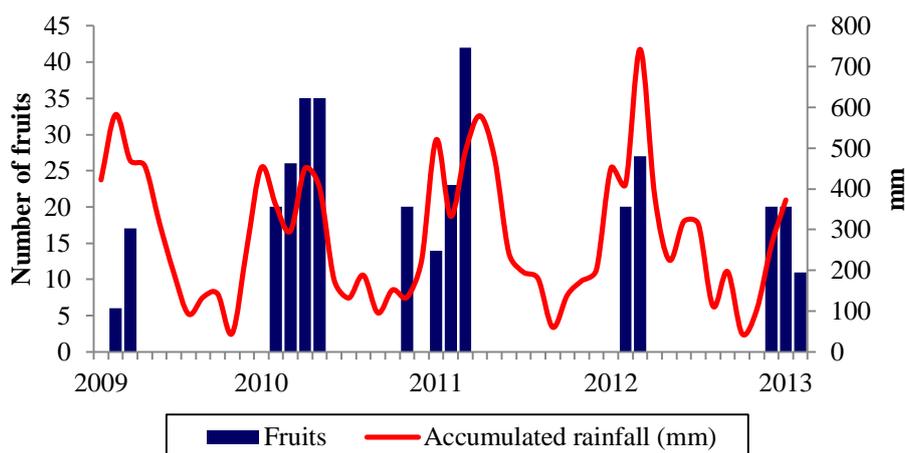


Figura 13. Período de ocorrência e quantidade de frutos nas trilhas, e valores mensais de precipitação acumulada (mm).

Somente quatro espécies de fruto apresentaram emergências de drosofilídeos:

Anacardium giganteum (Anacardiaceae), conhecido com cajuí, é nativa e ocorre em toda Amazônia, comumente encontrada no Pará em mata alta de terra firme e várzea. Foi coletado em 2010 (abril), 2011 (janeiro e fevereiro) e 2012 (fevereiro, novembro e dezembro).

Fusaea longifolia (Annonacea) ocorre desde o Maranhão até Roraima, sendo encontrada em mata primária de terra firme. Foi coletado somente em 2009 (fevereiro).

Parahancornia amapa (Apocynaceae), conhecido como amapá, é uma árvore de grande porte (atingindo de 35 a 40m de altura), sendo uma espécie típica da Amazônia brasileira, especialmente no Pará. Foi coletado em 2009 (fevereiro e março), 2010 (janeiro e dezembro), em 2011 e 2012 (janeiro e fevereiro) e 2013 (janeiro).

Pouteria caimito (Sapotaceae) é encontrado em estado silvestre por toda a Amazônia sendo conhecido por Abiu ou “abiurana”. Foi coletado em 2010 (janeiro, fevereiro e outubro) e em 2012 (fevereiro).

Destes frutos emergiram 10 espécies de Drosophilidae, quatro delas emergiram de apenas um tipo de fruto (Tabela 3). As espécies do subgrupo Willistoni (*D. willistoni* e *D. paulistorum*) e a espécie exótica *D. malerkotliana* foram as mais representativas quanto a numero de emergentes destes recursos.

Tabela 3. Número de indivíduos de Drosophilidae emergidos de frutos encontrados nas trilhas na Reserva do Mocambo, no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.

Espécies de Drosophilidae	Espécies de planta				Total	
	<i>A. giganteum</i>	<i>P. amapa</i>	<i>Po. caimito</i>	<i>F. longifolia</i>	N	%
	<i>Drosophila willistoni</i>	1046	749	44	14	1853
<i>D. malerkotliana</i>	963	359	33	8	1363	36,6
<i>D. paulistorum</i>	335	62	28	-	425	11,4
<i>D. tropicalis</i>	22	3	9		34	0,9
<i>D. stutervanti</i>	-	22	1	5	28	0,8
<i>D. simulans</i>	4	-	-	-	4	0,1
<i>D. camargoi</i>	-	3	-	-	3	0,1
<i>D. paramediostriata</i>	-	3	-	-	3	0,1
<i>D. melanogaster</i>	-	1	-	-	1	0,0
<i>Zaprionus indianus</i>	2	0	2	1	5	0,1

As espécies de frutos *Anacardium giganteum* e *Parahancornia amapa* foram as que apresentaram maior número de indivíduos, com 64% e 32% do total de emergidos, respectivamente. Quanto ao número de espécies o fruto de *A. giganteum* apresentou seis espécies associadas, enquanto que *P. amapa* registrou nove espécies, mostrando ser este um recurso importante para a maioria das espécies.

O fruto de *Pouteria caimito* esteve disponível para os drosofilídeos em dois períodos distintos. A maior abundância e riqueza para *P. caimito* foi no período chuvoso onde seis espécies de drosofilídeos emergiram, com 102 indivíduos, já no período de

estiagem emergiram nove indivíduos, sendo estes das espécies mais abundantes (*D. willistoni*, *D. paulistorum* e *D. malerkotliana*).

A única ocorrência de *Fusaea longifolia* registrou 28 indivíduos e quatro espécies de *Drosophila*. Este recurso registrou maior número de emergências de *D. willistoni*.

As emergências foram estritamente correlacionadas com a quantidade de recursos ($p=0,000$; $r^2= 0,97$) e com a precipitação ($p\text{-value}= 0,032$; $r^2= 0,30$). A figura 4 apresenta os emergidos em relação à precipitação acumulada mensal.

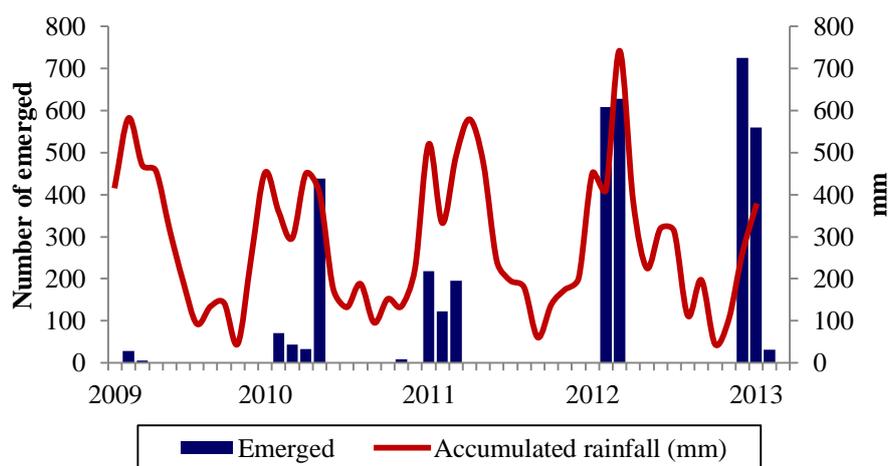


Figura 14. Quantidade de emergidos e a precipitação acumulada mensal (mm), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.

A quantidade de emergidos dos frutos foi positivamente relacionada com a quantidade de frutos nas trilhas ($p\text{-value}= 0,002$; $r^2= 0,43$) e com a abundância de drosofilídeos coletados nas iscas ($p\text{-value}= 0,001$; $r^2= 0,44$) e (Figura 5 e 6).

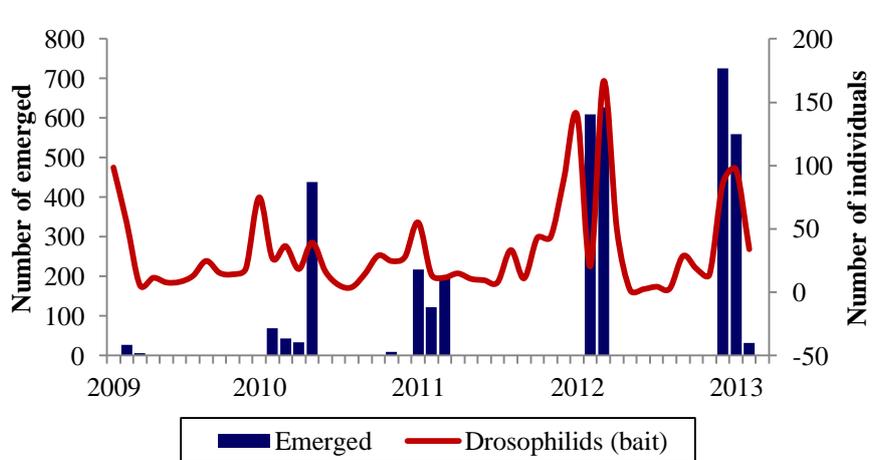


Figura 15. Quantidade de emergidos em recursos naturais e número médio de indivíduos capturados com isca, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.

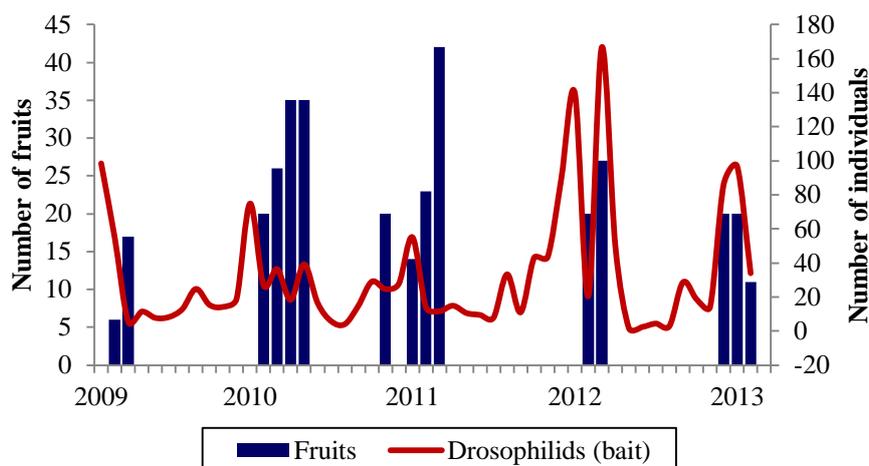


Figura 16. Quantidade de frutos e número médio de indivíduos capturados com isca, de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013.

Comportamento mensal de drosofilídeos capturados com isca em relação a precipitação

Dado o fato da correlação positiva entre o número de emergidos e capturado nas iscas ao longo dos meses e a relação de ambos com a quantidade de frutos e de precipitação, os dados de coleta com isca foram utilizados para testar efeitos da sazonalidade da precipitação sobre a comunidade.

A abundância mensal, observada a partir das iscas, esteve relacionada positivamente com a precipitação ($p=0,000$). O modelo de séries temporais para os dados mensais de abundância foi o autoregressivo de ordem $p=12$ com uma entrada exógena, que corresponde à precipitação acumulada no mês (Tabela 4). Este modelo segue a seguinte fórmula:

$$ARX(12) = Y_t = \varphi_2 Y_{t-2} + \varphi_{12} Y_{t-12} + B X_t + \varepsilon_t$$

Onde φ corresponde o coeficiente autoregressivo; B a componente externa; e ε_t o ruído branco.

Tabela 4. Parâmetros do modelo para abundância, ARX (12), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 meses.

<i>Parâmetros</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>Z</i>	<i>p-valor</i>	
φ_2	0,302318	0,126762	2,3849	0,01708	**
φ_{12}	0,372159	0,137608	2,7045	0,00684	***
Precipitation	0,108348	0,0219297	4,9407	<0,00001	***

* significant; AIC = 476,56

Este modelo evidencia que a abundância em cada mês (Y_t) reflete positivamente o efeito da abundância de dois meses anteriores (φ_2), e o efeito do acumulado mensal da precipitação no mês amostrado (BX_t). Observa-se ainda este padrão é um evento cíclico anual, φ_{12} . O modelo corrobora com o observado nas coletas, onde os maiores valores para a abundância ocorreram no final e início de cada ano, período mais intenso de chuvas, sendo repetido anualmente. A partir deste modelo foi possível obter abundância mensal ajustada (Figura 7).

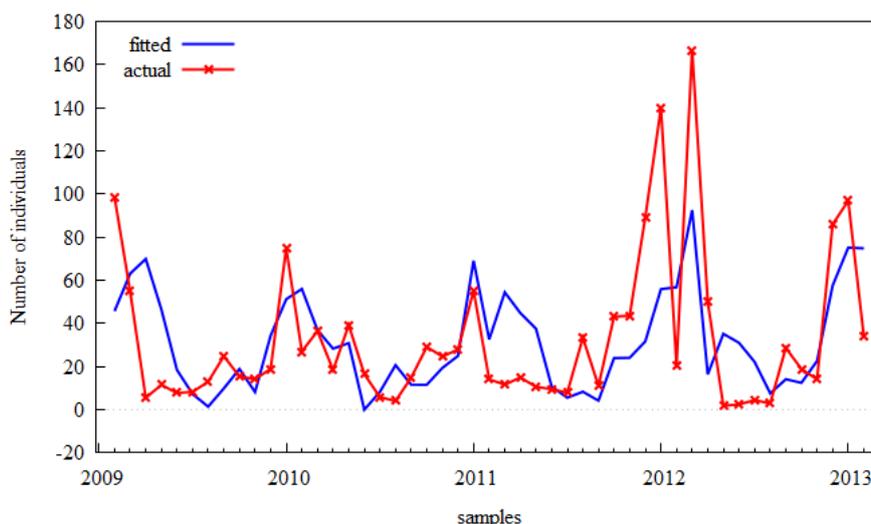


Figura 17. Abundância mensal observada e abundância ajustada no modelo ARX (12), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 observações.

A Figura 8 apresenta os correlogramas dos resíduos para as funções de autocorrelação - FAC e autocorrelação parcial - FACP, mostrando que os parâmetros do modelo ARX (12) estiveram dentro da variação esperada para ser aleatório, fazendo deste um modelo em potencial. A análise de QQ-plot mostra que a maioria dos dados se encontra sobrepostos à reta, indicando a normalidade dos dados (Figura 9).

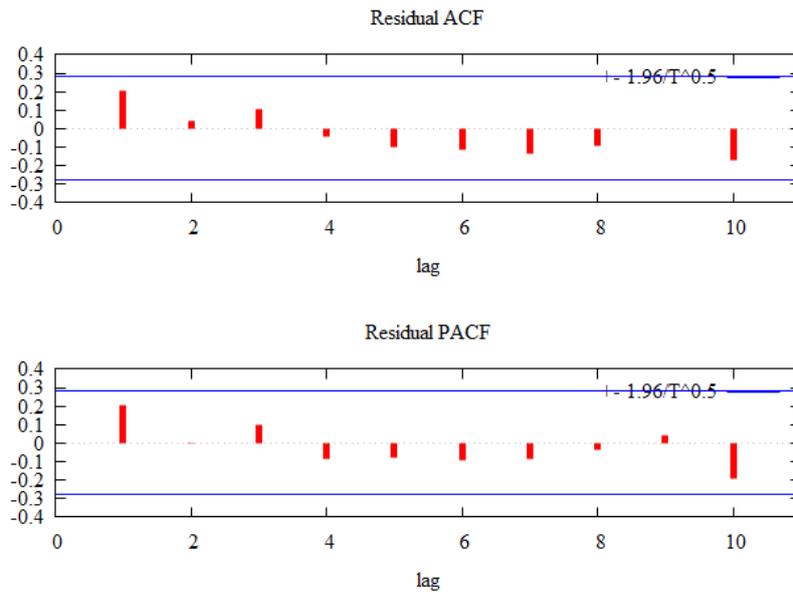


Figura 18. Correlograma dos resíduos no modelo ARX (12) para a abundância mensal, no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 observações.

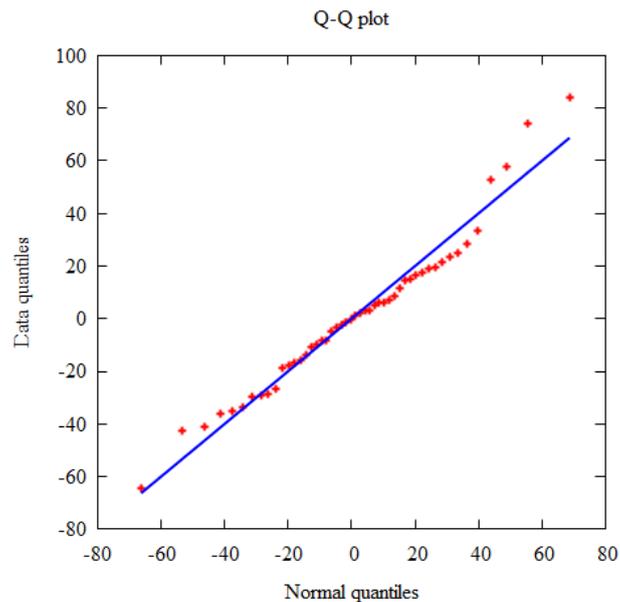


Figura 19. QQ-plot da série mensal de abundância no modelo ARX (12).

Para a riqueza mensal de drosofilídeos o modelo de série temporal ajustado foi o autoregressivo de médias móveis - *ARMA*, de ordem $p=2$ e $q=1$. Neste modelo não houve a incorporação de variáveis exógenas, mostrando que a riqueza mensal varia em função dela mesma. Os parâmetros do modelo estão descritos na tabela 5, e a equação deste modelo é:

$$ARMA(2,1) = Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} - \varphi_2 Y_{t-2} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

Onde φ corresponde ao coeficiente autoregressivo; θ o coeficiente de médias móveis; e ε o erro aleatório.

Tabela 5. Parâmetros do modelo para riqueza, ARMA (2,1), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 meses.

Parâmetros	Coefficiente	Erro Padrão	Z	p-valor	
φ_1	1,39168	0,166298	8,3686	<0,00001	***
φ_2	-0,392072	0,165975	-2,3622	0,01817	**
θ_1	-0,946104	0,086378	-10,9531	<0,00001	***

* significant; AIC = 247,39

O modelo ARMA (2,1) mostra que a riqueza mensal é efeito acumulativo do número de espécies de até dois meses anteriores, sem relação aparente com as variáveis climáticas testadas. A partir deste modelo foi possível estabelecer a riqueza ajustada (Figura 10).

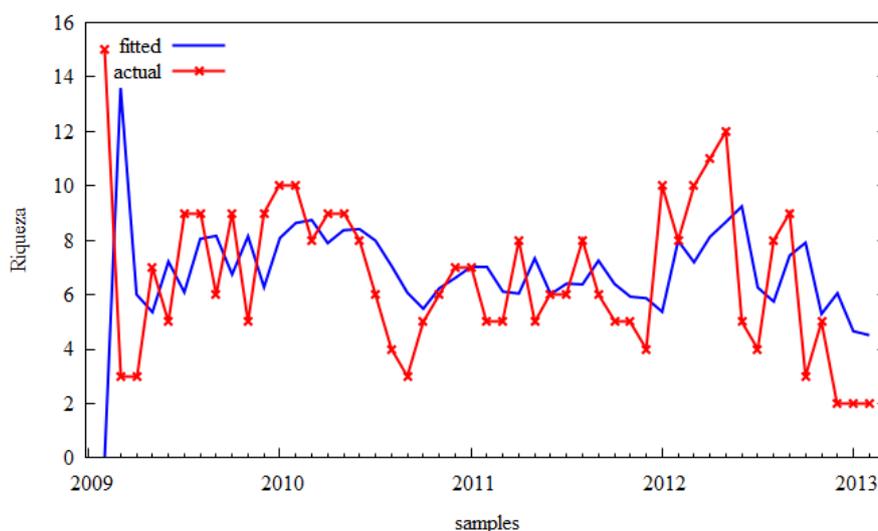


Figura 20. Riqueza mensal efetiva e ajustada no modelo ARMA (2,1), no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 observações.

Os correlogramas dos resíduos para FAC e FACP indicam que os parâmetros de modelo estão com variação adequada para ser considerado aleatório (Figura 11), e a análise QQ-plot mostra a maioria dos dados sobrepostos à reta, indicando a normalidade dos dados de riqueza (Figura 12). Estes dados comprovam a potencialidade do modelo ARMA (2,1) para a série mensal de riqueza de drosofilídeos.

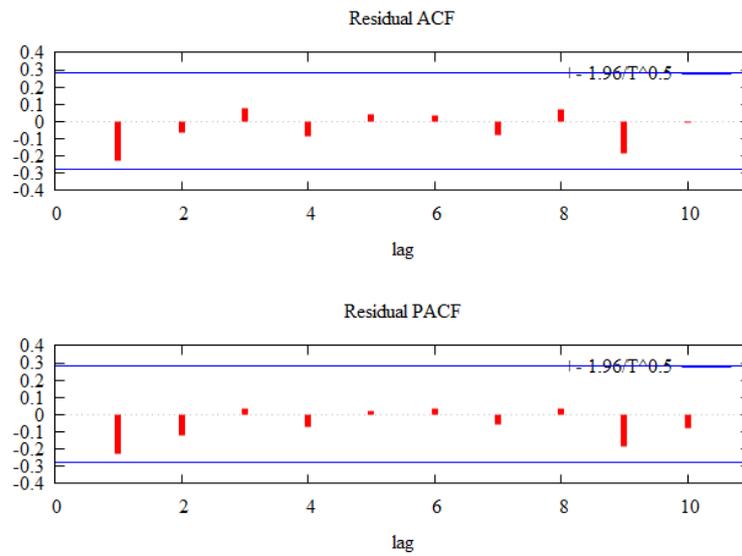


Figura 21. Correlograma dos resíduos no modelo ARMAX (2,1) para a riqueza mensal, no período de fevereiro de 2009 a fevereiro de 2013, em 49 observações.

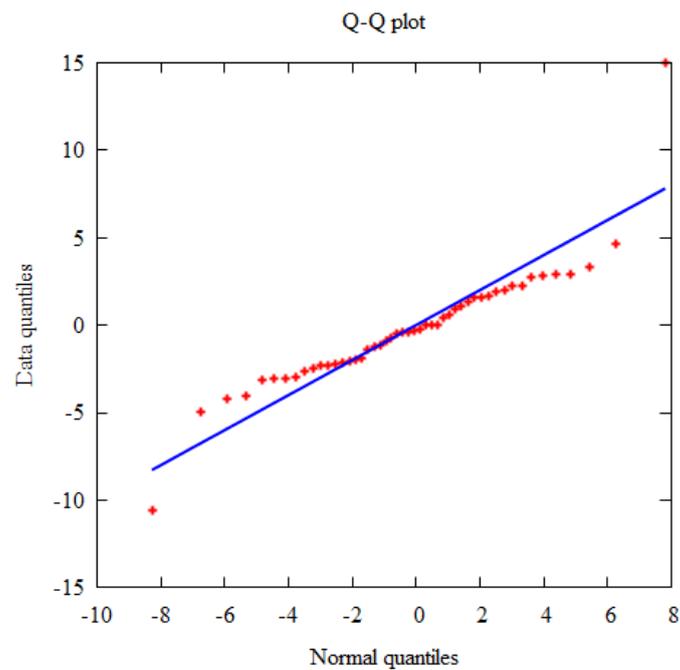


Figura 22. QQ-plot da série mensal de abundância no modelo ARMA (2,1).

DISCUSSÃO

A sazonalidade ambiental pode explicar o padrão cíclico de atividades exercidas pelos organismos, incluindo mudanças no tamanho das populações que compõe a comunidade, através de adaptações sazonais relacionadas a fatores ambientais (WOLDA, 1988; BIZZO et al., 2010). Neste trabalho a sazonalidade regida pela pluviosidade estimulou a assembleia de drosofilídeos tanto indiretamente, através da fenofase de frutificação de espécies vegetais, como diretamente através do aumento na abundância de indivíduos. Contudo, a riqueza mensal não mostrou relação com as variações mensais da precipitação, indicando que a presença de espécies segue padrões condicionando por outros parâmetros.

Em regiões tropicais a fenologia das plantas é dirigida por uma variedade de fatores, incluindo os elementos climáticos como precipitação, irradiação e temperatura (MUNIZ, 2008). A frutificação e posteriormente queda dos frutos maduros da maioria das espécies vegetais encontradas neste trabalho ocorreram no período mais intenso de chuvas, que abrange o verão e outono austral.

As fenofases de floração, frutificação e mudança foliar de espécies vegetais na região amazônica, possuem um padrão relacionado com a pluviosidade, onde a floração tende a ocorrer no período de estiagem, e a frutificação e queda dos frutos no período chuvoso. O tipo de fruto produzido pela espécie vegetal também é relevante neste contexto. Espécies vegetais que produzem frutos carnosos tendem a frutificar na estação chuvosa, pois a disponibilidade de água pode ser um fator importante para esta fenofase. Já frutos secos com sementes pequenas podem frutificar na estação seca (ALENCAR, 1994).

Os frutos de *Anacardium giganteum* e *Parahancornia amapa* são frutos do tipo baga, simples e carnosos (MARTINS, SANTOS, 2007; CAVALCANTE, 2010), e foram encontrados no período chuvoso apresentando quantidades expressivas de emergências da maioria das espécies drosofilídeos. Os frutos são recursos capazes de sustentar grande densidade e diversidade de moscas, porém, estes dois casos podem ou não ocorrer na mesma espécie de fruto, deste modo, existem espécies vegetais onde os frutos registram grandes densidades, enquanto outras espécies uma maior diversidade (ROQUE et al., 2009). No presente estudo, a maior quantidade de emergências ocorreu no fruto de *A. giganteum* enquanto que o fruto de *P. amapa* sustentou maior riqueza.

Diferente das demais espécies, o fruto de *Pouteria caimito* apresentou mais de um pico de frutificação, sendo registrado no período chuvoso (janeiro e fevereiro) e também no período seco (outubro). Este padrão foi também registrado por Falcão & Clemente (1999) que encontraram mais de um pico de floração e frutificação ao longo do ano para esta espécie vegetal. A maior quantidade de emergência e de espécies de drosofilídeos utilizando este fruto ocorreu na estação chuvosa, sugerindo que mesmo com a disponibilidade na época de estiagem este recurso não foi utilizado com a mesma intensidade que na época chuvosa. A fauna microbiana associada aos frutos podem ser modificados periodicamente, fazendo com que o fruto possa ser menos utilizado em determinado período (MORAIS et al., 1995; VALADÃO et al., 2010).

É frequente observar que algumas espécies de drosofilídeos apresentam certo grau de especificidade quanto ao sítio de alimentação, sendo maior a especificidade quando diz respeito ao local em que a fêmeas depositam seus ovos (CARSON, 1971). As espécies *Drosophila camargoi*, *D. paramediotriata* e *D. melanogaster* emergiram exclusivamente do fruto de *Parahancornia amapa*, e *D. simulans* apresentou uma emergência no fruto de *Anacardium giganteum*, mostrando a importância dessas espécies de frutos para as populações dessas espécies.

As espécies do subgrupo Willistoni (*Drosophila willistoni*, *D. paulistorum* e *D. tropicalis*) e a espécie exótica *D. malerkotliana* emergiram da maioria das espécies de frutos, corroborando a versatilidade ecológica dessas espécies (MARTINS, SANTOS, 2007). A espécie africana *Zaprionus indianus*, que recentemente colonizou a América do Sul e que havia sido coletada anteriormente na Amazônia somente em isca de banana (FURTADO, 2009; AMADOR, 2011), emergiu de três espécies de frutos, mesmo que em baixa quantidade. Isto mostra que além do alto potencial dispersivo, esta espécie possui abrangência na utilização de frutos nativos da floresta amazônica.

O comportamento sazonal na abundância de drosofilídeos capturados com isca evidencia que período chuvoso contribui efetivamente para o aumento no número de indivíduos, sugerindo que a época chuvosa seja propícia para o desenvolvimento, emergência e sobrevivência de indivíduos. Tal efeito repercute sobre a estrutura da assembleia nos meses consecutivos.

O comportamento mensal da riqueza variando em função do próprio número de espécies de drosofilídeos, indica que a atividade das espécies pode estar sendo influenciada pela dinâmica das populações, controlada por fatores intrínsecos. A riqueza pode refletir efeitos das interações competitivas que podem atuar como fator limitante

na abundância e distribuição das espécies (MARTINS, 1987). Outro fator determinante pode ser a capacidade de dispersão horizontal ou vertical das espécies, visto que algumas espécies tropicais são capazes de se expor a habitats alternativos em diferentes épocas do ano (ROQUE et al., 2013).

A variabilidade pluviométrica na Amazônia está relacionada a fenômenos meteorológicos, que são modulados por mecanismos oceano-atmosfera de diferentes escalas de tempo e determinam a quantidade pluviométrica (MOURA, VITORINO, 2012). A ocorrência de eventos extremos como El Niño Oscilação Sul – ENOS e o Dipolo do Atlântico pode modificar o regime de chuvas promovendo o déficit ou intensificando a variabilidade existente (SOUZA et al., 2004; SOUZA et al., 2009). A intensidade desses fenômenos pode determinar o início e fim da estação chuvosa na Amazônia, assim como a duração e intensidade da estação seca (MARENGO et al., 2001; MARENGO et al., 2011). Diante de um cenário de mudanças climáticas a ocorrência desses fenômenos pode se tornar mais intensa e frequente (MARENGO et al., 2012).

Espécies vegetais da Amazônia possuem adaptação à seca sazonal, no entanto a exposição em anos seguidos de seca-extrema pode levar ao aumento relativo na mortalidade das árvores (DAVISON et al., 2012). Este comportamento foi observado a partir de experimentos de exclusão de precipitação, que simulam anos seguidos de seca, na Floresta Nacional do Tapajós e na Flona Nacional de Caxiuanã (NEPSTA et al., 2007; COSTA et al., 2010). A fenologia das espécies vegetais também responde a ocorrência e a intensidade de eventos meteorológicos. Eventos moderados de El Niño podem favorecer a reprodução de espécies vegetais, aumentando a produção de flores e sementes, em contrapartida, ocorrências extremas deste fenômeno levam a mortalidade (WRIGHT, CALDERÓN, 2006).

Mudanças climáticas que venham a intervir sobre a sazonalidade pluviométrica da região, podem causar modificações nos padrões fenológicos observados até o momento, e comprometer a estrutura da assembleia. A abundância das populações das espécies pode ser afetada através de modificações fenológica das espécies vegetais, e conseqüentemente a oferta periódica de seus recursos, e intensificar a exposição dessas espécies a ambientes inóspitos temporalmente para o seu desenvolvimento e sobrevivência, refletindo nas gerações posteriores.

CONCLUSÃO

Este trabalho evidencia uma relação estreita entre a sazonalidade na precipitação e o comportamento sazonal da assembleia dos drosofilídeos. A variação no regime de chuvas ao longo dos meses surte efeito sobre a disponibilidade e qualidade de frutos que são utilizados com recursos, afetando indiretamente as populações das espécies a eles associadas. A estação chuvosa concentra as condições adequadas, favorecendo o desenvolvimento e garantindo a sobrevivência destes organismos.

Mudanças climáticas associadas à modificação da sazonalidade da precipitação, envolvendo a duração dos períodos chuvosos e de estiagem, podem comprometer a abundância e diversidade local de espécies, afetando a estrutura da comunidade. O monitoramento temporal desses padrões possibilita a melhor compreensão da dinâmica das espécies em seu ambiente, e a inferência do grau de impacto de mudanças ambientais sobre a diversidade local.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA JUNIOR, J. A. Precipitação nas mesorregiões do Estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). *Revista Brasileira de Climatologia*, v.6, 2010.
- ALENCAR, J. C. Fenologia de cinco espécies arbóreas tropicais de Sapotacea correlacionada a variáveis climáticas na Reserva Ducke, Manaus, AM. *Acta Amazônica*, v. 24 (3/4), p. 161 – 182, 1996.
- AMADOR, R. B., MARTINS, M. B.; FURTADO, I. S. Is *Zaprionus indianus* invading a preserved Amazon forest? *Drosophila Information Service*, v. 94, p. 73, 2011.
- ARAGÃO, I. L. G.; SILVA, P. J. D. Análise morfométrica de frutos e sementes de *Acapu* (*Vouacapoua Americana* Aubl., *Caesalpiniaceae*) procedentes de duas áreas de Floresta de Terra Firme do estado do Pará. Cap 10. In: GOMES, J. I.; MARTINS, M. B.; MARTINS-DA-SILVA, R. C. **Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg)**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônica Oriental, p. 317 – 330, 2007.
- BASTOS, T. X.; GOMES, J. I.; RODRIGUES, S. T. Aspectos bioclimáticos de uma Área de Conservação Florestal Urbana na Amazônia Brasileira. Cap 13. In: GOMES, J. I.; MARTINS, M. B.; MARTINS-DASILVA, R. C. **Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg)**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônica Oriental, p. 317 – 330, 2007.
- BIZZO, L.; GOTTSCHALK, M. S.; DE TONI, D. C.; HOFMANN, P. R. P. Seasonal dynamics of a drosophilid (Diptera) assemblage and its potencial as bioindicator in open environments. *Iheringia, Sér. Zool.*, Porto Alegre, v. 100(3), p. 185-191, 2010.
- CARSON, M. The ecology of *Drosophila* breeding sites. **Harold L. Lyon Arborectum Lecture**, Honolulu, University of Hawaii, n. 2, p. 1-27, 1971.
- CAVALCANTE, P.B. **Frutas Comestíveis da Amazônia**. 5. Ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi; Companhia Souza Cruz indústria e comércio, 279p., 2010.
- COSTA, A. C. L.; GALBRAITH, D.; ALMEIDA, S.; PORTELA, B. T. T.; DA COSTA, M.; DE ATHAYDES, J. ; BRAGA, A. P.; DE GONÇALVES, P. H. L.; DE OLIVEIRA, A. A. R ; FISHER, R.; PHILLIPS, O. L.; METCALFE, D. B.; LEVY, P.; MEIR, P. Effect of 7 yr of experimental drought on vegetation dynamics and biomass storage of an eastern Amazonian rainforest. *New Phytologist*, v. 187, 2010.
- DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C.; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; BUSTAMENTE, M. M. C.; COE, M. T.; DEFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA JR, C. M.; WOFSEY, S. C. The Amazon basin in transition. *Nature*, v. 481, 2012.
- FALCÃO, M. A., CLEMENT, C. R. Fenologia e produtividade do Abiu (*Pouteria caimito*) na Amazônia Central. *Acta Amazônica*, v. 29(1), p. 3-11, 1999.

FURTADO, I.S., MARTINS, M. B.; COSTA, J. E. First record of *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) in the Urucu Petroleum Province in Amazonas, Brazil. **Drosophila Information Service**, v. 92, p. 17-18, 2009.

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V. E.; FILIZOLA, N. P.; WAINER, I. C. Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, 2001.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, 2011.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M.; NOBRE, C. A. Extreme climatic events in the Amazon basin: Climatological and hydrological context of recent floods. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, p. 73–85, 2012.

MARTINS, M. B. Variação espacial e temporal de algumas espécies e grupos de *Drosophila* em duas reservas de matas isoladas, nas vizinhanças de Manaus (Amazonas, Brasil). **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, n.3, p. 195-198, 1987.

MARTINS, M.B.; SANTOS, R.C.O. Sítios de Criação de *Drosophila* na Reserva do Mocambo, Belém, Pará. Cap 16. In: GOMES, J. I.; MARTINS, M. B.; MARTINS-DASILVA, R. C. **Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg)**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônica Oriental, p. 317 – 330, 2007.

MARTINS, M. B.; PENA, J. A. N.; BITTENCOURT, R. N. Traps for tropical drosophilids survey. **Drosophila Information Service**, v. 91, p. 91-91, 2008.

MORAIS, P.B.; MARTINS, M. B.; KLACZKO, L. B. Yeast Succession in the Amazon Fruit *Parahancornia amapa* as Resource Partitioning among *Drosophila* spp. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, n. 12, p. 4251–4257, 1995.

MORETTI, P. A.; TOLOI, C. M. **Análise de series temporais**. 2 ed. São Paulo, Blucher, 538 p., 2006.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p. 475 – 483, 2012.

MUNIZ, F. H. Padrões de floração e frutificação de árvores da Amazônia Maranhense. **Acta Amazônica**, v. 38, n.4, p. 617 – 626, 2008.

NEPSTAD, D. C.; TOHVER, I. M.; RAY, D.; MOUTINHO, P.; CARDINOT, G. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an amazon forest. **Ecology**, v.88, n.9, 2007.

PINTO, A. M.; RIBEIRO, R. J.; ALENCAR, J. C.; BARBOSA, A. P. Fenologia de *Simarouba amara* Aubl. na reserva florestal Adolpho Ducke, Manaus, AM. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 3, p. 347 – 352, 2005.

PIREST, J. M.; SALOMÃO, R. P. Histórico Científico, institucional e perspectivas atuais na Área de Pesquisa Ecológica do Guamá – Apeg, da Embrapa Amazônia

Oriental, Belém, Pará. Cap2. In: GOMES, J. I.; MARTINS, M. B.; MARTINS-DASILVA, R. C. **Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg)**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônica Oriental, p. 29 – 40, 2007.

PIPKIN, S. B. The influence of adult and larval food habits on population size of Neotropical ground feeding *Drosophila*. **The American Midland Naturalist**, v. 74 (1), 1965.

POPPE, J. L.; VALENTE, V. L. V.; SCHMITZ, H. J. Population dynamics of drosophilids in the Pampa Biome in response to temperature. **Neotropical Entomology**, v.42, p. 269–277, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.r-project.org/>. 2012.

RASMUSSEN, P. W.; HEISEY, D. M.; NORDHEIM, E. V.; FROST, T. M. Time Series Intervention Analysis: Unreplicated Large-scale Experiments. In: SCHEINER, S. M.; GUREVITCH, J. **Design and Analysis of Ecological Experiments**. 2 Ed. Oxford University Press, Inc, 2001.

ROQUE, F.; VALL, J.D.; TIDON, R. Breeding sites of drosophilids (Diptera) in savanna. I – Fallen fruits of *Emmo tumnites* (Icacinaceae), *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) and *Anacardium humile* (Anacardiaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n.2, p. 308 – 313, 2009.

SCHMITZ, H.J.; HOFMANN, P.R.P.; VALENTE, V. L. S. Assemblages of drosophilids (Diptera, Drosophilidae) in mangrove forests: community ecology and species diversity. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 100, n. 2, p.133-140, 2010.

SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D. Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 218-232, 2012.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influence of El niño, La niña and Atlantic Dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 2. p. 305-318, 2000.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, 113-122, 2004.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N.G.; DA ROCHA, E.J.P.; DE SOUZA, J. R. S.; DA CUNHA, A. C.; DA SILVA, R. R.; FERREIRA, D.B.S.; SANTOS, D. M.; DO CARMO, A.M.C.; DE SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; DA MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A.M.L.; MOTA, G. V.; KUHN, P.A.F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o REGCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, 111-124, 2009.

TAVARES, J. P. N.; MOTA, M. A. S. Condições termodinâmicas de eventos de precipitação extrema em Belém-Pa durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.2, p. 207 – 218, 2012.

VALADÃO, H.; HAY, J. D. V.; TIDON, R. Temporal Dynamics and Resource Availability for Drosophilid Fruit Flies (Insecta, Diptera) in a Gallery Forest in the Brazilian Savanna. **International Journal of Ecology**, 2010

WHEELER, M. R.; KAMBYSELLIS, M. P. **Notes on the Drosophilidae (Diptera) of Samoa**. University of Texas Publications, 6615, 533-565. 1966.

WRIGHT, S. J.; CALDERÓN, O. Seasonal, El Niño and longer term changes in flower and seed production in a moist tropical forest. **Ecology Letters**, v. 9, p. 35–44, 2006.

WOLDA, H. Seasonal Fluctuations in Rainfall, Food and Abundance of Tropical Insects. **Journal of Animal Ecology**, v. 47, n. 2, p. 369-381, 1978.

ANEXO

**Nota a ser submetida a revista “Drosophila Information Service”
EMERGÊNCIA DE *Zaprionus indianus* DE FRUTOS NATIVOS EM UM
FRAGMENTO FLORESTAL EM BELÉM, PARÁ, BRASIL.**

Zaprionus indianus Gupta, 1970 (Diptera: Drosophilidae) é uma espécie invasora em expansão geográfica, tem sua origem no continente africano (TIDON *et al.*, 2003). Chegou à região neotropical possivelmente pelo sudeste do Brasil, tendo seu primeiro registro em frutos de caqui no estado de São Paulo em 1999 (VILELA, 1999). A ocorrência de *Z.indianus* em frutos também já foi registrada em frutos de figo (*Ficus carica* L.; Moraceae) em São Paulo, em frutos de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* MART.; Rhamnaceae) no Rio Grande do Norte, e frutos de faia (*Emmotum nitens* Miers; Icacinaceae) e mangaba (*Hancornia speciosa* Gomez; Apocynaceae) no Distrito Federal (TIDON *et al.*, 2003; ROQUE *et al.*, 2009; FERNANDES; ARAÚJO, 2011).

Na região amazônica, o primeiro registro de *Z.indianus* data de 2000 em Tomé-açu/PA (TIDON *et al.*, 2003) através de isca de banana. Em 2008, esta mosca africana foi coleta com isca na província petrolífera do URUCU em Coari/AM, área alterada pela abertura de várias clareiras (FURTADO *et al.*, 2009). Em ambiente de floresta esta espécie foi coletada pela primeira vez em 2010, também com isca de banana, na Floresta Nacional de Caxiuanã/ PA, uma área de conservação bem preservada (AMADOR *et al.*, 2011). Espécies de drosofilídeos têm sido monitoradas na Reserva do Mocambo, em Belém/PA desde 1986 (SANTOS; MARTINS, 2007), contudo, a partir de 2009 registramos pela primeira vez a ocorrência de *Z.indianus* a partir de isca de banana e também através de emergência em frutos nativos da região amazônica. São estes frutos de fusáia (*Fusaea longifolia* Aubl Safford; Annonacea), cajuí (*Anacardium giganteum* Hanc. Ex Engl; Anacardiaceae) e abiu (*Pouteria caimito* Radlk; Sapotaceae) (CAVALCANTE, 1998). As observações aqui obtidas contribuem, não só para o entendimento da expansão geográfica desta espécie, mas para a ampliação do conhecimento sobre sua versatilidade ecológica, demonstrando sua capacidade para utilizar frutos nativos em território amazônico.

References: Tidon, R., D.F. Leite, and B.F.D. Leão 2003, *Biol. Conserv.* 112: 299-305; Vilela, C. R., 1999, *Dros. Inf. Serv.* 82, p. 37; Roque, F; J.D. Vall, and R. Tidon, 2009, *Revista Brasileira de Entomologia.* v. 53, n. 2, p. 308 – 313; Fernandes, D. R.R., E. L. ARAÚJO, 2011, *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP,* v. 33, n. 4, p. 1356-1358. Furtado, I.S., M.B. Martins, and J.E. Costa, 2009, *Dros. Inf. Serv,* 92, p. 17-18. Amador, R. B., M. B. Martins and I. S. Furtado, 2011, *Dros. Inf. Serv.* 94, p. 73. Santos, R.C.O. and M. B. Martins, 2007, cap 16, in: *Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg),* p. 317 – 330. Cavalcante, P.B., 1998, *Frutas Comestíveis da Amazônia,* 4 Ed.