

**Programa de Pós Graduação em Ecologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília**

Renata Alves da Mata

Diversidade das assembléias de Drosofilídeos (Insecta, Diptera) no Cerrado

Tese submetida ao Programa de Pós -
Graduação em Ecologia, Instituto de
Biologia da Universidade de Brasília, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Doutor em Ecologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosana Tidon

Brasília, abril de 2007

O presente trabalho foi realizado com bolsa do CNPq, no Laboratório de Biologia Evolutiva da Universidade de Brasília, dirigido pela Prof^a. Dr^a. Rosana Tidon, e com bolsa sanduíche da CAPES, no laboratório *Spatial, Physiological and Conservation Ecology*, no departamento de Conservação Ecológica (*Department of Conservation Ecology*) da Universidade de Stellenbosch, África do Sul, dirigido pela Prof^a. Dr^a. Melodie McGeoch.

Para o meu pai, **Adval Alves da Mata** (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

À minha família, que é a minha base. À minha mãe e ao João, que estiveram comigo em todas as horas, me dando todo apoio que precisei. À minha madrinha “Tia Joaquina” por ser sempre presente de maneira fundamental durante toda a minha formação. Aos meus avós, Dona Maria e Senhor Geraldo, pelo carinho, torcida e incentivo.

Ao Eric pelo amor, amizade, compreensão, respeito, e que apesar da distância, foi companheiro e cúmplice, dando apoio a todas as minhas decisões.

À minha orientadora, À Prof^ª. Dr^ª. Rosana Tidon, por acreditar em mim, e por tantas oportunidades oferecidas. Pela disponibilidade de discutir, sugerir, e dar importantes orientações sempre que necessário. Pelo exemplo de trabalho com responsabilidade, respeito e colaboração mútua.

À Prof^ª. Dr^ª. Melodie McGeoch, por me apresentar um universo novo de possibilidades, pela generosidade e paciência com que me recebeu, pelo grande exemplo de inteligência, competência e humanidade. Por me mostrar como é possível usar tudo isso para contribuir para o desenvolvimento de uma sociedade mais justa.

À Prof^ª. Dr^ª. Nilda Diniz, pela amizade, idéias e “toques” fundamentais em todos estes anos trabalhando juntas.

A todos os meus companheiros de laboratório, pela amizade e ajuda nos momentos finais da tese, em especial, Francisco, Henrique, Juliana e Luciana, que fazem do local de trabalho um ambiente de colaboração e respeito mútuos.

À Mieko e Roberta pela ajuda no trabalho de campo, em especial, ao Senhor Antônio, grande amigo e companheiro, sem o qual não teria conseguido realizar as coletas de dados.

Aos meus amigos Sul Africanos, Cang, Cori, Carmem, Jesse, Georgina, Lizel, Mawethu, Melodie, Ndivhuwo, Pete, Sonja e Zipho, pela maravilhosa hospitalidade e cordialidade com me trataram, tornando os meus dias como estrangeira possíveis e felizes.

Aos meus colegas de campo no Paranã, especialmente, Daniel e Carlos, os meus anjos da guarda. A presença deles em um momento crítico permitiu com que eu terminasse essa tese.

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia, representado pelos Professores Dr^ª. Helena Castanheira e Dr. John Hay. Muito obrigada a vocês, pois sempre que precisei obtive apoio e amparo.

À Prof^ª. Dr^ª. Carolyn Elinore Barnes Proença, pelo auxílio na confecção do *abstract*.

Ao Prof. Dr. Paulo de Marco Jr e ao Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ) pela qualidade do curso de Ecologia Quantitativa, o qual contribuiu para as análises de dados da tese.

Aos órgãos financiadores dessa pesquisa: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Ministério do Meio Ambiente (MMA/PROBIO) que financiou e forneceu o apoio logístico para as expedições no Vale do Paranã.

ÍNDICE

CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1. Perturbação antrópica afeta a composição e invasibilidade das assembléias de drosofilídeos do Cerrado	3
INTRODUÇÃO	3
METODOLOGIA.....	6
Área de estudo, amostragem e identificação das espécies.....	6
Análise de Dados	8
RESULTADOS.....	10
DISCUSSÃO.....	12
Implicações para a Conservação.....	17
REFERÊNCIAS.....	21
2. Assembléias de drosofilídeos (Insecta, Diptera) como um sistema bioindicador de distúrbio humano no bioma Cerrado	34
INTRODUÇÃO	34
METODOLOGIA.....	38
Área de estudo, amostragem e identificação das espécies.....	38
Análise de dados	40
Assembléias de drosofilídeos como indicadoras.....	40
Espécies como indicadoras.....	41
Espécies características.....	42
Espécies detectoras.....	43
Validação em dois estágios	45
RESULTADOS.....	46
Assembléias de drosofilídeos como indicadoras.....	46
Espécies como indicadores	47
Espécies características	47
Espécies detectoras	49
Validação em dois estágios	49
DISCUSSÃO.....	50
Assembléias como Indicadores.....	50
Espécies como Indicadores.....	51
IndVal e validação em dois estágios	54
Drosofilídeos como indicadores de distúrbio humano e de mudanças nos habitats do Cerrado	57
REFERÊNCIAS.....	61
3. Caracterização das assembléias de Drosophilidae (Insecta, Diptera) em três áreas potenciais para conservação em uma região ameaçada do bioma Cerrado	77
INTRODUÇÃO	77
MÉTODOS	80
Área de estudo, amostragem e identificação das espécies.....	80
Análise dos dados	81
RESULTADOS.....	82
DISCUSSÃO.....	84
REFERÊNCIAS.....	90
CONSIDERAÇÕES FINAIS	102

RESUMO

Este trabalho investigou os padrões de diversidade de drosofilídeos em diferentes habitats e áreas do Cerrado. Os objetivos do estudo foram contribuir para o conhecimento da diversidade dos invertebrados do bioma, que é pouco conhecida, e gerar subsídios para o estabelecimento de medidas de conservação e manejo mais eficientes para as comunidades de invertebrados, os quais geralmente não são beneficiados pelas estratégias de conservação genéricas. Desta maneira, três temas foram investigados neste trabalho. 1) A relação entre perturbação antrópica e a invasibilidade das comunidades, 2) O potencial bioindicador dos drosofilídeos e 3) A caracterização de três áreas prioritárias para a conservação em uma região ameaçada do bioma. Para a investigação do primeiro tema, foram comparados habitats perturbados e não perturbados em uma reserva ecológica no Distrito Federal. No segundo tema, o potencial indicador dos drosofilídeos foi testado em duas reservas ecológicas e ambientes urbanos, também no Distrito Federal. Finalmente, no terceiro tema três áreas consideradas prioritárias para a conservação na Região do Vale do Paranã foram caracterizadas pelas assembléias de drosofilídeos. Os resultados das três investigações mostraram que as assembléias das matas perturbadas são mais propensas à invasão, e que as espécies exóticas – juntamente com as neotropicais típicas de savanas e amplamente distribuídas no bioma - têm maior poder invasor. O potencial dos drosofilídeos como bioindicadores foi confirmado, com o estabelecimento de um conjunto de variáveis indicadoras, em nível de assembléia e de espécie. A caracterização das áreas prioritárias no Vale do Paranã pelas assembléias de drosofilídeos indica que a formação em mosaico bem como os ambientes florestados da região devem ser preservados. Em conclusão, este trabalho mostrou que drosofilídeos são úteis em estudos com biodiversidade e conservação e estimula a realização de pesquisas futuras que testem as hipóteses levantadas nesta investigação.

Palavras chave: bioindicador, conservação, *Drosophila*, invasibilidade, Vale do Paranã, *Zaprionus*.

ABSTRACT

This study investigated the diversity patterns of drosophilid assemblages in different habitats and areas of the Cerrado biome, central Brazil. The goals of the study were to contribute to the knowledge of invertebrate diversity in this biome, as it is poorly known, and to provide support for establishing more efficient conservation and management strategies, since invertebrates have not generally benefited from generic conservation strategies. In this way, three aspects were investigated: 1) the relationship between human disturbance and community invasibility, 2) drosophilid potential indicator, and 3) the characterization of threatened areas with high conservation value. To investigate the first, disturbed and undisturbed habitats were compared in an ecological reserve in the Federal District, Brazil. In the second subject, the drosophilid potential indicator was tested in two ecological reserves and urban environments, also in the Federal District. Finally, for the third approach, three areas showing high conservation value in the Parana Valley had their drosophilid assemblages characterized. The results of the three investigations showed that drosophilid assemblages of disturbed gallery forests were more likely to be invaded, and that the exotic species - along with neotropical species that are typical of savanna habitats, and widely distributed in the Cerrado biome - showed higher invasive potential. The drosophilid potential as bioindicator was confirmed, with the establishment of a set of variables, at assemblage and species level. The characterization of the areas with high conservation value in the Parana Valley based on the drosophilid assemblages indicated that the mosaic formation, as well as forest environments of this region must be preserved. In conclusion, this study showed that drosophilids are useful in biodiversity and conservation studies and stimulates future research that tests the hypotheses proposed in this investigation.

Key words: bioindicators, conservation, *Drosophila*, invasibility, Parana Valley, *Zaprionus*.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desenvolvimento das sociedades atuais é insustentável do ponto de vista ambiental, pois este ocorre em uma escala de tempo muito rápida, quando comparada com aquela ao longo da qual o atual padrão de biodiversidade se estabeleceu. A diversidade biológica é o resultado de processos e eventos evolutivos que vêm acontecendo durante bilhões de anos. Contudo, está sendo destruída pelas atividades antrópicas em níveis comparados com as extinções em massa. A perda e fragmentação de habitats naturais, introdução de espécies exóticas, poluição, mudanças climáticas, entre outros, são algumas atividades humanas que estão gerando um problema de escala global: a perda mundial de biodiversidade, uma mudança ambiental irreversível. A diversidade biológica é um componente fundamental para a manutenção da vida na Terra, e o declínio da mesma afeta negativamente a estabilidade dos ecossistemas e a qualidade da vida humana.

O estudo da diversidade não é importante apenas para a biologia da conservação. Muitas questões sobre como a diversidade foi gerada e como é regulada nos ambientes tropicais ainda não foram completamente elucidadas. Ecossistemas tropicais, como o Cerrado, por exemplo, são mais complexos e comportam uma proporção de biodiversidade muito maior e, ao mesmo tempo, são mais ameaçados e pouco estudados quando comparados com os temperados. Assim, mesmo as investigações de caráter descritivo, que visem acumular dados sobre a história natural da fauna e flora destes ecossistemas, ainda pouco conhecidos, são essenciais para a formulação de generalizações e hipóteses a serem testadas por pesquisas futuras.

Neste contexto, o estudo das assembléias de drosofilídeos (organismos amplamente usados como modelos em biologia) no bioma Cerrado (um ecossistema tropical) é

extremamente oportuno. O principal objetivo do presente trabalho foi gerar subsídios para a implementação de medidas de manejo e uso sustentável desse bioma, bem como elucidar como as assembléias de drosofilídeos do Cerrado são estruturadas nas diferentes áreas e hábitats do bioma. Especificamente, esse trabalho investigou se a perturbação antrópica influencia a composição e invasibilidade das assembléias em uma área de reserva do Cerrado (Capítulo 1); testou o potencial bioindicador dos drosofilídeos (Capítulo 2), e caracterizou três áreas prioritárias para a conservação em uma região ameaçada do bioma (Capítulo 3).

1. Perturbação antrópica afeta a composição e invasibilidade das assembléias de drosofilídeos do Cerrado

INTRODUÇÃO

Os efeitos de distúrbios naturais interessam aos ecólogos desde há muito tempo, pois eles estão entre os principais fatores na estruturação e manutenção da dinâmica das comunidades biológicas (Pickett *et al.*, 1989; Huston, 1998). Entretanto, a intensidade e frequência das perturbações aumentaram excessivamente nas últimas décadas devido às atividades antrópicas, que atualmente estão relacionadas com o declínio da biodiversidade (Dirzo & Raven, 2003). Dentre os vários processos associados às perturbações antrópicas que ameaçam a biodiversidade, as invasões biológicas (entrada e estabelecimento de uma espécie em áreas onde não era encontrada anteriormente) estão entre os mais preocupantes. Isto porque a invasão por espécies exóticas ameaça tanto ecossistemas naturais, causando extinção das espécies nativas, como os agrícolas, promovendo perdas substanciais da produção (Lonsdale, 1999; Prieur-Richard & Lavorel, 2000). Assim, medidas que tenham como objetivo prevenir a invasão, evitar ou minimizar o impacto da mesma na diversidade nativa são imprescindíveis para qualquer projeto de conservação.

O estudo das invasões biológicas acendeu o interesse em investigar quais as características das comunidades que contribuem para a invasibilidade. O principal objetivo destas investigações é prever quais ecossistemas, ambientes ou habitats são mais propensos à invasão, já que a invasibilidade é um componente essencial da estabilidade dos ecossistemas (Lonsdale, 1999; Davis *et al.*, 2005). O fato de que as comunidades perturbadas são mais propensas à invasão é amplamente reconhecido. As explicações para este padrão geralmente são baseadas em processos locais, tais como as interações bióticas e

as condições abióticas dos habitats (Hobbs & Huenneke, 1992; Davis *et al.*, 2000). Contudo, considerando que as comunidades locais estão conectadas através da migração de espécies (Leibold *et al.*, 2004), alguns autores também sugerem que processos atuando em escalas mais amplas, tais como fatores históricos que determinam o conjunto regional de espécies, também devem ser incorporados nas explicações para a estrutura das assembléias naturais, e, conseqüentemente, na invasibilidade das mesmas (Zobel, 1997; Ejrnaes *et al.*, 2006). Entretanto, estudos observacionais, que verifiquem o impacto do distúrbio na invasibilidade de assembléias locais em condições naturais, principalmente nas assembléias de animais terrestres, são escassos.

O bioma Cerrado corresponde a um complexo de savanas sazonais que originalmente cobriam cerca de 2 milhões de km² grande parte do interior da América do Sul. Esse é o segundo maior bioma brasileiro em extensão, ficando atrás apenas da Amazônia (Ratter *et al.*, 1997), e é também um dos 25 *hotspots* do mundo, apresentando altas taxas de diversidade e endemismo para alguns táxons (Myers *et al.*, 2000). O Cerrado é um bioma altamente heterogêneo, com ambientes florestais, savanas e campos formando um complexo mosaico vegetal. Tal estrutura foi determinada pela interação entre diversos fatores tais como sazonalidade, topografia, características edáficas e flutuações climáticas do quaternário (Oliveira & Marquis, 2002). Contudo, atividades como grandes monoculturas (como plantações de soja), fazendas de gado, bem como a expansão urbana, têm transformado e ameaçado intensamente este importante ecossistema tropical, de maneira que, nas últimas décadas, as áreas naturais tornaram-se fragmentos em meio a uma matriz agropastoril ou urbana (Silva *et al.*, 2006). Especificamente, atividades como desmatamento e queimadas freqüentes e intensas transformam habitats originalmente florestados em formas mais abertas (Pivello & Coutinho, 1996), facilitando a invasão por gramíneas

exóticas que modificam e ameaçam as comunidades vegetais nativas (Klink, 1996; Pivello *et al.*, 1999a; 1999b).

Apesar do enorme valor de conservação e do alto grau de ameaça, a preservação do Cerrado ainda não atingiu o status da Amazônia e da Mata Atlântica (Marris, 2005). Menos de 2% do território do bioma está protegido em unidades de conservação (Silva *et al.*, 2006), e mesmo estas áreas estão sob pressão dos efeitos antrópicos que ocorrem no entorno. O Cerrado ainda é relativamente desconhecido, e embora existam estudos enfocando o efeito da perturbação antrópica na vegetação, para as comunidades animais estes são bem mais escassos, situação que se agrava para os artrópodes. Entretanto, Andersen (2004) enfatizou que programas que almejem conservar a biodiversidade devem obrigatoriamente incluir os insetos porque, além de representarem uma grande proporção da diversidade do planeta e de desempenharem um papel essencial para o funcionamento dos ecossistemas, estes organismos também fornecem respostas mais rápidas e acuradas às modificações dos habitats do que outros táxons, como por exemplo, plantas e vertebrados. Por este motivo, as assembléias de insetos são extremamente apropriadas para refletir as condições no ambiente onde vivem (Brown, 1991; 1997; Kremen *et al.*, 1993; McGeoch, 1998; Hilty & Merelender, 2000;).

Existe uma grande necessidade de estudos que apontem quais são os fatores determinantes da invasibilidade das comunidades, preferencialmente enfocando a dinâmica de assembléias de espécies em condições naturais. As assembléias de drosofilídeos (Insecta, Diptera) são extremamente sensíveis à heterogeneidade natural do Cerrado, incluem espécies nativas e exóticas à região Neotropical (Tidon *et al.*, 2003; Ferreira & Tidon 2005, Tidon, 2006) e, portanto, correspondem a um ótimo modelo para investigar a relação entre a perturbação antrópica e a invasibilidade das comunidades. Considerando que medidas de manejo para o bioma Cerrado, quando existem, são limitadas a uma parte irrisória da

biodiversidade do local, estudos que visem auxiliar na elaboração de medidas de conservação e manejo das áreas protegidas do bioma, e que englobem uma maior proporção da biodiversidade (e.g. insetos), são extremamente necessários (Brown & Gifford, 2002). Neste trabalho, foi investigado o impacto da perturbação antrópica nas assembléias de drosofilídeos do Cerrado, bem como a relação entre essas perturbações e a invasibilidade das comunidades. Especificamente, foram abordadas duas questões: (1) Qual é o efeito do distúrbio humano nas assembléias de drosofilídeos do Cerrado? (2) Comunidades perturbadas são mais propensas à invasão?

METODOLOGIA

Área de estudo, amostragem e identificação das espécies

As coletas foram realizadas na Reserva Ecológica do IBGE (RECOR; 15° 56'S; 47° 53'W), localizada a 35km ao sul da cidade de Brasília, e que perfaz uma área de proteção ambiental com extensão de 10.000ha (Figura 1). A RECOR, criada em 1971, é umas das Áreas Núcleo da Reserva da Biosfera do Cerrado, e representa bem a heterogeneidade e variedade de hábitats do bioma. Esta reserva engloba muitas fitofisionomias do Cerrado, as quais se traduzem em pequenas manchas de diferentes tamanhos e formas, o que resulta em um mosaico vegetal bastante complexo. Além disso, antes de se tornar uma área protegida, parte da reserva correspondia a um complexo de chácaras. Desta maneira, áreas cuja vegetação reflete distúrbios humanos (tais como matas de galeria em estágio de sucessão ou áreas construídas) ainda podem ser encontradas nas adjacências dos hábitats naturais não perturbados.

Para verificar se os distúrbios refletidos pela vegetação interferem nas assembléias de drosofilídeos, e com o intuito de representar a maior diversidade de habitats possível, foram distribuídos 24 pontos amostrais em sítios com diferentes fitofisionomias (Figura 1). Devido às pequenas dimensões, à proximidade e à interconectividade entre as mesmas, apenas uma armadilha foi usada por sítio, já que estas devem ser situadas pelo menos a 100m uma da outra para garantir independência entre as amostras.

Visando distinguir entre as respostas devido à perturbação antrópica ou à variabilidade natural, os 24 sítios amostrais foram classificados em grupos *a priori*, considerando o tipo de ambiente (floresta ou savana) e ocorrência de distúrbio (não perturbado ou perturbado) (Tabela I). Sítios com vestígios de atividades humanas foram classificados como perturbados. Estes foram caracterizados pela presença de: matas de galeria em estágio de sucessão, bordas (sítios localizados até 10m da estrada de terra), áreas construídas (restaurante, alojamento) ou fogo (savanas que foram submetidas à queimadas bianuais). Sítios que não apresentaram nenhum dos impactos mencionados foram classificados como não perturbados. Os tipos de vegetação caracterizados por uma camada vegetacional herbácea, com apenas algumas árvores esparsas, foram considerados como ambientes de savana (Oliveira-Filho & Ratter, 2002). Aqueles que apresentaram uma camada vegetacional predominantemente arbórea, com dossel fechado, ao longo de cursos de água, foram classificados como matas de galeria (Oliveira-Filho & Ratter, 2002). Assim, quatro grupos de habitats foram definidos: 1) matas de galeria não perturbadas (mg), 2) matas de galeria perturbadas (mgp), 3) savanas não perturbadas (sv) e 4) savanas perturbadas (svp).

Doze coletas mensais foram realizadas, entre maio de 2001 e abril de 2002. As coletas de drosofilídeos foram realizadas mediante a utilização de armadilhas com iscas (banana e laranja fermentadas com *Saccharomyces cerevisiae*), conforme proposto por Medeiros & Klaczko (1999). A identificação das moscas consistiu na análise da morfologia externa, com

o auxílio de estereomicroscópio, por meio de chaves de identificação e descrições taxonômicas. Espécies crípticas foram identificadas mediante a avaliação da genitália masculina (Dobzhansky & Pavan, 1943; Pavan & Cunha, 1947; Freire-Maia & Pavan, 1949; Frota-Pessoa, 1954; Val, 1982; Vilela & Bachli, 1990; Vilela, 1992).

Análise de Dados

Os números de indivíduos de cada espécie, capturados no curso do período deste estudo, foram somados para cada sítio amostral. Para avaliar a adequação da amostra e comparar a riqueza entre os habitats, curvas de acumulação (Jackknife 1; EstimateS 7,5; Colwell, 2005), com os respectivos intervalos de confiança foram produzidas para cada tipo de habitat.

A abundância total das moscas coletadas em cada sítio foi subdividida em duas categorias: espécies endêmicas da região Neotropical e espécies exóticas. O Modelo Linear Generalizado (GLM) (McCullagh & Nelder, 1989) foi utilizado para determinar diferenças significativas ($\alpha = 0,05$) nas médias das abundâncias absolutas das espécies neotropicais e exóticas entre os quatro habitats estudados. Os Modelos Lineares Generalizados são uma extensão dos modelos lineares e são considerados mais flexíveis, pois permitem a não linearidade dos dados e oferecem uma série de opções para a distribuição das variáveis além da distribuição normal (Quinn & Keough, 2002). Para essa análise, foi assumida a distribuição de Poisson para as variáveis, bem como a relação log-linear entre as variáveis de assembléia e os habitats. A *deviance* foi utilizada como medida do teste de aderência (Collett, 1991). Além da abundância absoluta, a abundância relativa também foi analisada.

Como a soma das abundâncias relativas das espécies neotropicais e exóticas é sempre 1, assumiu-se que apenas uma das duas variáveis mostraria a variação de ambas entre os habitats. Desta maneira, apenas as exóticas foram submetidas à análise. Como esta variável atendeu as premissas para estatística paramétrica, a análise de variância (ANOVA) foi utilizada para determinar diferenças significativas entre os quatro tipos de habitats. Em ambas as análises (GLM e ANOVA) foi utilizado o intervalo de confiança das médias das variáveis em cada habitat para identificar quais deles variaram entre si ($\alpha = 0,05$). Estas análises foram efetuadas com a utilização do programa Statistica V 6.0.

Diferenças na composição das assembléias de drosofilídeos entre os habitats, considerando as abundâncias de todas as espécies individualmente (variáveis dependentes), também foram examinadas mediante a utilização da estatística não paramétrica multivariada. A dissimilaridade de Bray Curtis foi calculada para cada par de sítios, e a análise multidimensional não-métrica (*non-Metric Multidimensional Scaling* – nMDS) foi utilizada para apresentar as relações entre os sítios amostrais em uma ordenação (Clarke & Warwick, 2001). Para essas análises, os dados de abundância foram transformados em raiz quadrada dupla (*double square-root*), que atribui o mesmo peso para espécies raras e abundantes, e relativizados (*standardized*), para retirar o efeito do tamanho da amostra.

Para testar se existem diferenças significativas na composição das assembléias entre os diferentes habitats, foi utilizada a análise de similaridade (*Analysis of Similarity* - ANOSIM)(Clarke & Warwick, 2001). Esta análise produz uma estatística (valor de R) baseada na matriz de dissimilaridade entre as amostras, que retrata as diferenças observadas entre habitats, contrastada com as diferenças entre réplicas dentro de um mesmo habitat. Este valor varia entre -1 e 1; quanto mais próximo de 1, maior as diferenças entre os habitats, enquanto que quando o valor de R se aproxima de zero, significa que não existem diferenças entre os mesmos. A significância desta estatística é determinada por um teste de

permutação. No presente trabalho, utilizamos o valor de R global (teste multivariado) e a significância desse valor como critério para a determinação de diferenças entre os habitats. Como a significância do teste é altamente dependente do tamanho da amostra, no caso das comparações par a par (quando as réplicas dentro de cada habitat tornam-se menores do que as réplicas consideradas no teste global), o critério mais importante para interpretar quais habitats diferiram entre si foi o valor de R entre cada par de habitats (Clarke & Warnick, 2001); a significância dos valores foi útil para acessar a robustez dos resultados.

Para identificar quais as espécies foram mais responsáveis pelas semelhanças (similaridade) e pelas diferenças (dissimilaridade) entre as assembléias determinadas *a posteriori* pelo ANOSIM, foi utilizada a análise das porcentagens da similaridade (*Similarity Percentages Analysis- SIMPLER*) (Clarke & Warwick, 2001). Em geral, muitas espécies contribuem para explicar tanto a similaridade dentro dos grupos, como a dissimilaridade entre os grupos, e a porcentagem de similaridade/dissimilaridade médias de cada espécie (contribuição %) foi usada como um critério para identificar as espécies que mais contribuíram para as semelhanças e diferenças dentro e entre as assembléias. Estas análises foram realizadas com a utilização do programa PRIMER v5 (Clarke & Gorley, 2001).

RESULTADOS

Foram identificadas 37 espécies de drosofilídeos, sendo 31 endêmicas da região Neotropical e seis 6 exóticas (Anexo 1). Considerando a amostra total, as espécies mais abundantes foram *Zaprionus indianus* (37%), *Drosophila sturtevantii* (12%), e *D. simulans* (11%). Dentre os 19.952 indivíduos analisados, 51% pertencem às espécies neotropicais. Entretanto, estes números variaram entre os tipos de habitats.

A curva de acumulação de espécies atingiu a assíntota para ambos os grupos classificados como savanas (Figura 2). Entretanto, esta estabilidade não foi atingida nas matas de galeria não perturbadas e perturbadas (Figura 2). A riqueza de espécies não mostrou diferenças significativas entre as savanas perturbadas e não perturbadas (Figura 2).

A média da abundância absoluta das espécies neotropicais foi maior nas matas não perturbadas, mas essa diferença não foi significativa ao nível de 5% (Wald $X^2_{(3)} = 7,32$, $p=0,06$) quando foi realizada a comparação com os outros habitats. As espécies exóticas por outro lado, foram claramente mais abundantes nas savanas do que nas florestas (Wald $X^2_{(3)} = 13,74$, $p=0,003$). Embora a média da abundância das espécies exóticas tenha sido maior nas matas perturbadas do que nas não perturbadas, bem como nas savanas perturbadas do que nas não perturbadas, essas diferenças não foram significativas (Figura 3A). Entretanto, a análise da abundância relativa das espécies exóticas entre os habitats (ANOVA, $F_{(3,23)} = 21,73$, $p<0,0001$) mostrou que as florestas perturbadas têm uma média significativamente maior do que as matas não perturbadas (Figura 3B).

A investigação das abundâncias individuais das espécies também mostrou que a composição das assembléias de drosofilídeos diferiu significativamente entre os habitats ($R_{\text{global}} = 0,55$; $p=0,001$). As comparações par-a-par entre os habitats mostraram que tanto as matas de galeria não perturbadas quanto as perturbadas diferiram das savanas. Quando as matas de galeria não perturbadas foram comparadas com as perturbadas, o valor de R foi bastante alto (0,82), indicando que estes habitats apresentam assembléias diferentes. Entretanto, as savanas não perturbadas e perturbadas revelaram assembléias semelhantes, uma vez que o valor de R foi extremamente baixo (0,03). A ordenação das assembléias de drosofilídeos (Figura 4) mostra claramente os três grupos distintos: matas não perturbadas, matas perturbadas e savanas (não perturbadas e perturbadas).

As porcentagens de contribuição das espécies que melhor caracterizaram os três grupos *a posteriori* (baseados nas assembléias de drosofilídeos) e daquelas que melhor discriminaram entre eles são mostradas na tabela II. As matas de galeria perturbadas são intermediárias entre as matas não perturbadas e as savanas (Figura 4). É importante ressaltar que estes ambientes apresentaram uma assembléia diferente não por conter espécies únicas, mas sim por combinar a fauna das matas de galeria não perturbada e das savanas. Dentre as oito espécies que foram restritas a um único hábitat, *D. atrata*, *D. austrosaltans*, *D. bandeirantum*, *D. neoguaramunu* e *D. paraguayensis* ocorreram na mata de galeria não perturbada (Anexo1). Outras espécies, as quais foram muito abundantes nos ambientes de savanas e escassas nas matas não perturbadas (tais como *D. cardini*, *D. mercatorum* e *Z. indianus*), apresentaram uma abundância relativamente maior nas matas perturbadas. A tabela III mostra as médias e os erros padrão da abundância de algumas das espécies consideradas importantes na caracterização e discriminação dos hábitats.

DISCUSSÃO

Este estudo investigou o efeito da perturbação antrópica nas assembléias de drosofilídeos e na invasibilidade das comunidades em hábitats perturbados e não perturbados. Os resultados mostraram que embora a riqueza não tenha variado significativamente, a abundância das espécies e a composição das assembléias foram diferentes entre os hábitats. A não significância das comparações entre a riqueza foi causada provavelmente pelo tamanho pequeno das amostras de matas (as quais foram insuficientes para que a curva de acumulação atingisse a assíntota), já que as matas de galeria são mais ricas para vários táxons, como demonstrado para plantas (Mendonça *et al.*, 1998), mamíferos (Redford & Fonseca, 1986; Vieira & Palma, 2005), aves (Silva, 1995),

borboletas (Brown, 2000) e vespas (Diniz & Kitayama, 1998). Mesmo para drosofilídeos, há evidências de que as matas de galeria comportam um maior número de espécies do que as savanas (Tidon, 2006).

Nas matas preservadas, a composição de espécies de drosofilídeos é extremamente singular, e caracteriza-se pela maior proporção de espécies neotropicais (dominada por *D. willistoni*), e pela ocorrência de espécies restritas a este ambiente (*D. atrata*, *D. bandeirantorum*, *D. neoguaramunu* e *D. paraguayensis*). Essas espécies provavelmente se originaram em ambientes florestados da América do Sul/Brasil (Val *et al.*, 1981), e possivelmente, evoluíram junto com as matas de galeria no Cerrado. Tendo em vista que a curva de acumulação não atingiu a assíntota, é provável que novas coletas aumentem a riqueza de espécies nessas matas, principalmente a de espécies raras. Florestas perturbadas, em contraste, perdem a singularidade por dois motivos principais. Primeiro, porque elas não comportam algumas espécies registradas nas matas não perturbadas. Segundo, porque elas mesclam elementos florestais com savânicos. Em comparação com as matas conservadas, nas perturbadas houve um aumento da proporção de espécies neotropicais típicas de savana (*D. cardini*, *D. mercatorum* e *D. sturtevanti*) (Sene *et al.*, 1980) bem como de exóticas (*D. simulans*, *Z. indianus*) (Tidon *et al.*, 2005), mostrando que estes habitats são mais suscetíveis à invasão.

Assim, nossos dados estão de acordo com a hipótese de que o distúrbio facilita a invasão por espécies não residentes (Hobbs & Huenneke, 1992). Para comunidades de plantas, este padrão tem sido explicado pela hipótese da flutuação de recursos que se baseia no pressuposto de que a competição se torna menos intensa na medida em que a quantidade de recursos disponíveis aumenta. O distúrbio pode aumentar a disponibilidade de recursos limitantes (luz, nutrientes e água) através da destruição da vegetação nativa, e também pelo aumento dos recursos locais. Espécies que não ocorriam anteriormente no local encontram

uma maior facilidade para invadir o mesmo, já que a intensidade de competição seria menor devido a redução ou ausência das nativas e/ou do aumento dos recursos limitantes (Davis *et al.*, 2000). Entretanto, não está claro se esta hipótese pode ser aplicada para animais (Davis *op. cit.*).

No bioma Cerrado, algumas perturbações antrópicas freqüentes (e.g. desmatamento) conduzem à abertura do dossel das florestas, modificando o microclima do local e tornando-as mais parecidas com os ambientes de savanas (Pivello & Coutinho, 1996; Henriques, 2005). A alteração ambiental permite a invasão pelas gramíneas exóticas em um ambiente originalmente florestado, fato que pode causar o declínio da vegetação nativa e tornar a futura regeneração da vegetação original extremamente improvável ou muito difícil (Klink, 1996; Pivello, 1999a,b). O processo de conversão de habitats afeta também outros organismos, como mostrado pelas assembléias de drosofilídeos. As matas não perturbadas correspondem a um ambiente particular, que permite a sobrevivência das espécies adaptadas. Tidon (2006) sugeriu que as matas oferecem um microhabitat com condições climáticas mais estáveis para os drosofilídeos em relação aos ambientes abertos. Além disso, devido a maior heterogeneidade ambiental (conferida, entre outros pela estratificação vertical da vegetação) e variedade de recursos, oferecem uma grande variedade de nichos, suportando uma maior quantidade de espécies quando comparados com os ambientes abertos. A mudança provocada pela remoção ou abertura do dossel inicialmente altera as condições abióticas dos habitats, promovendo a perda das espécies não adaptadas às novas condições, bem como a invasão das matas perturbadas pelas espécies exóticas e neotropicais típicas de savanas. Tal fato mostra que alterações nos fatores abióticos (provocadas pelo impacto da perturbação humana na vegetação) afetam a abundância e a composição das espécies de drosofilídeos, tornando-as mais suscetíveis a invasão.

As atividades antrópicas, tais como destruição e fragmentação de habitats, são frequentemente refletidas pelas comunidades de artrópodes. Os distúrbios humanos promovem mudanças na composição das comunidades e na abundância das diferentes espécies, sendo que, geralmente, espécies diferentes apresentam respostas diferentes à perturbação; algumas aumentam a abundância em ambientes alterado pelo homem, enquanto outras diminuem ou tornam-se ausentes em habitats perturbados (Spitzer, *et al.*, 1997; Didham *et al.*, 1998; Floren *et al.*, 2001; Beck *et al.*, 2006; Uehara-Prado *et al.*, 2007). Em um estudo em florestas neotropicais, Brown (1997) encontrou que a diversidade de borboletas foi correlacionada com a heterogeneidade ambiental e distúrbios humanos, refletindo alterações no uso da terra e intensidade do distúrbio. A diversidade foi maior nos níveis baixos de distúrbio (próximos ou abaixo da intensidade dos naturais), embora algumas espécies muito sensíveis tenham sido eliminadas. Porém nos níveis altos de distúrbio humano (conversão de habitats naturais em ambientes agrícolas), a diversidade diminuiu, o que eventualmente conduz a uma simplificação irreversível do ambiente.

Embora relativamente escassos, alguns estudos mostram que o aumento de espécies exóticas de artrópodes está correlacionado com as atividades antrópicas. Suarez *et al.* (1998) encontraram forte correlação entre a invasão pela formiga argentina (*Linepithema humile*) e o efeito de borda. A degradação da vegetação, frequentemente associada ao processo de fragmentação, promove o efeito de borda, o que pode facilitar a invasão por essa espécie. Os autores sugerem, portanto, que a presença e a dispersão desta espécie em determinado habitat pode ser dependente da existência de distúrbio humano. Borges *et al.* (2006) encontraram que a maior riqueza de espécies exóticas de artrópodes está correlacionada com a presença de atividades humanas, e que enquanto tais variáveis explicam melhor a variação na riqueza de exóticas, variáveis climáticas e geográficas explicam melhor a riqueza de nativas.

Nossos dados não mostraram diferenças entre as assembléias de drosofilídeos procedentes de savanas não perturbadas e perturbadas. Nesse tipo de vegetação, tanto os sítios perturbados como os preservados foram caracterizados pela alta abundância de *D. mercatorum* e *Z. indianus*, além de outras espécies amplamente distribuídas no bioma Cerrado (Tidon, 2006) e muito abundantes em ambientes abertos e urbanos (Ferreira & Tidon, 2005; Tidon, 2006). Hoffmann & Andersen (2003), em um trabalho que revisou as respostas das comunidades de formigas ao distúrbio na Austrália, também não verificaram impacto do mesmo nas comunidades nos ambientes abertos. Enquanto observaram respostas destas comunidades em florestas, onde o distúrbio causa uma forte mudança na estrutura da vegetação, a comunidade praticamente não variou nas vegetações abertas, onde o distúrbio não provoca grandes alterações dessa natureza. O fato do distúrbio não causar uma mudança muito marcada na estrutura de vegetações naturalmente abertas também pode explicar porque as assembléias de drosofilídeos não variaram entre savanas não perturbadas e perturbadas.

Registros palinológicos mostram que os primeiros indícios para a existência de ambientes abertos, bem como para a ocorrência do fogo datam de pelo menos 32 mil anos atrás, sugerindo que queimadas naturais participam na determinação dos ambientes abertos do Cerrado há muito tempo (Ledru, 2002; Salgado-Labouriau, 2005). As atividades humanas, contudo, as quais intensificaram enormemente a ação do fogo no século passado, desempenham papel essencial na manutenção desses ambientes abertos. Provavelmente devido às queimadas freqüentes, muitas das fitofisionomias abertas não correspondem à forma potencial esperada para determinada área, onde características climáticas e edáficas permitiriam a existência de, por exemplo, florestas estacionais decíduais (Eiten, 1972; Pivello & Coutinho, 1996; Henriques, 2005). Assim, as assembléias de drosofilídeos das fisionomias abertas, caracterizadas principalmente pelas espécies exóticas e neotropicais

amplamente distribuídas, parecem estar adaptadas a estes ambientes historicamente perturbados, e essas adaptações provavelmente fornecem resistência aos distúrbios mais recentes. Didham & Watts (2005) sugeriram que comunidades regidas por fortes fatores abióticos, como no caso das savanas, são submetidas a uma forte seleção direcional para características que permitiram a sobrevivência das espécies às condições adversas. Assim, estas espécies podem compartilhar características, que foram estabelecidas na comunidade pelas fortes pressões de seleção exercida por estes habitats.

Em geral, espécies invasoras são localmente abundantes, amplamente distribuídas, tolerantes a fatores estressantes, generalistas, além de associadas ao homem (Sax *et al.*, 2002). Muitas dessas espécies são exóticas, entretanto, também existem espécies nativas que apresentam estas características. Para drosofilídeos, frequências altas de exóticas têm sido frequentemente associadas a níveis de antropização elevados. Tais espécies, geralmente, apresentam alto potencial colonizador, o que permite a invasão e dispersão em vários tipos de ambientes, especialmente aqueles com distúrbios humanos (Lewontin, 1965; Mayr, 1965; Parsons, 1983; Ferreira & Tidon, 2005). Os resultados aqui apresentados mostram que não apenas as espécies exóticas (definidas como originárias fora de região Neotropical), mas também neotropicais abundantes em savanas e com ampla distribuição no bioma invadem ou aumentam as densidades em matas de galeria perturbadas. O distúrbio humano tornou a assembléia das matas de galeria mais vulnerável à invasão por espécies exóticas e neotropicais abundantes nos ambientes abertos e amplamente distribuídas no bioma Cerrado.

Implicações para a Conservação

Apesar das matas de galeria ocuparem menos de 10% de toda a extensão do Cerrado, este ambiente detém grande parte da biodiversidade do bioma, sendo que muitas espécies

demonstram preferência, ou são de alguma forma associadas a esses ambientes, fato que tem sido demonstrado para plantas (Mendonça *et al.*, 1998), mamíferos (Redford & Fonseca, 1986; Vieira & Palma, 2005), aves (Silva, 1995), borboletas (Brown, 2000) e vespas (Diniz & Kitayama, 1998), entre outros. A alteração na estrutura das mesmas causadas pelo distúrbio humano provocou alterações nas assembléias de drosofilídeos, como o aumento das invasões, o que também pode acontecer com outros organismos. Isto sugere que as matas de galeria desempenham um papel essencial na manutenção da biodiversidade do bioma, e a perda ou alteração destes habitats poderá causar a diminuição da heterogeneidade e um empobrecimento deste rico ecossistema.

Tem sido proposto na literatura, que as intensas atividades humanas estão aumentando a similaridade de comunidades originalmente diferentes, através da substituição das espécies especialistas e restritas por aquelas generalistas e cosmopolitas, o que causaria uma homogeneização biológica (McKinney, 2006). Isto provocaria mudanças irreversíveis nos ambientes naturais, como a diminuição da biodiversidade regional e global, além de importantes conseqüências ecológicas e evolutivas (Olden & Rooney, 2006). Esse estudo mostrou uma maior similaridade taxonômica entre as assembléias de cerrados e matas perturbadas em relação àquela entre os cerrados e matas não perturbadas, devido à ausência de espécies raras e invasão pelas espécies dominantes nos cerrados e de distribuição ampla. Isto sugere que, em longo prazo, a perpetuação dos atuais distúrbios humanos, que destroem ou degradam as matas de galeria, poderá levar a um aumento da similaridade das comunidades originalmente diferentes.

Considerando que a composição de qualquer comunidade local resultará da interação dos processos bióticos e abióticos dentro da comunidade e da dispersão das espécies entre as comunidades (Leibold *et al.*, 2004), a resposta dos ambientes à mudança ambiental vai depender do número e da identidade de espécie disponíveis no conjunto regional (Norberg

et al., 2004). Desta maneira, conservar espécies raras, prever ou minimizar o efeito das invasões será possível apenas através do conhecimento profundo do ambiente em questão, das espécies que ocorrem no mesmo, bem como da dinâmica entre o regime ambiental e as características das espécies. Silva & Santos (2005) chamaram a atenção para a manutenção dos processos biogeográficos que determinam o conjunto regional de espécies em qualquer planejamento bioregional de conservação. Estes autores verificaram que a avifauna do Cerrado é composta em grande parte por elementos da Mata Atlântica e Amazônia, e que tais espécies concentram-se nos ambientes florestados do Bioma. Assim, não apenas estes ambientes florestados devem ser preservados, mas também, os processos de produção de espécies e intercâmbio entre biomas devem ser mantidos.

Marvier *et al.* (2004) propuseram que uma abordagem focada no ambiente mais do que na espécie pode ser bem mais eficiente e vantajosa para a conservação e o manejo da biodiversidade. Em face da grande frequência das invasões em praticamente todas as regiões do mundo, é impossível estabelecer estratégias para todas as espécies invasoras. Assim, a habilidade de reconhecer ambientes resistentes à invasão, ou ainda não invadidos, bem como o estabelecimento de estratégias para prevenir ou minimizar os impactos das mesmas na comunidade nativa, devem adotar uma abordagem focada no ambiente ou ecossistema. Para isso, a utilização de ferramentas biológicas, como bioindicadores pode ser essencial.

O presente estudo também reforça o uso de drosofilídeos, que são organismos sensíveis às perturbações ambientais, como ferramentas biológicas para acessar e monitorar tendências da biodiversidade. De acordo com Kremen *et al.* (1993), artrópodes podem fornecer sinais antecipatórios, mostrando o efeito do distúrbio nos habitats, os quais não suportariam espécies de vertebrados por muito mais tempo. Muitos táxons indicadores respondem às modificações ambientais mais rapidamente do que vertebrados, os quais provavelmente exibiriam sinais evidentes apenas muito tarde para a elaboração de medidas

mitigadoras. Parson (1991, 1995) foi o primeiro a sugerir que algumas espécies de drosofilídeos poderiam atuar como indicadoras. Na região Neotropical, *D. willistoni* já foi considerada como um indicador de áreas florestais preservadas, e *D. simulans* como indicador de perturbadas (Saavedra *et al.*, 1995), embora este potencial nunca tenha sido testado mediante um protocolo rigoroso. Desta maneira, este trabalho corrobora o alto potencial dos drosofilídeos para bioindicação, uma vez que os mesmos foram sensíveis ao distúrbio antrópico e refletiram este efeito, e ainda, recomenda que as assembléias sejam formalmente desenvolvidas como indicadores para o bioma Cerrado.

REFERÊNCIAS

- Andersen, A.N. (2004) Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australia rangelands, with particular reference to ants. *Austral Ecology*, **29**, 87-92.
- Beck, J., Kitching, I.J. & Linsenmair, K.E. (2006) Extending the study of range-abundance relations to tropical insects: sphingid moths in Southeast Asia. *Evolutionary Ecology Research*, **8**, 677-690.
- Borges, P.A.V., Lobo, J.M., de Azevedo, E.B., Gaspar, C.S., Melo, C. & Nunes, L.V. (2006) Invasibility and species richness of island endemic arthropods: a general model of endemic vs. exotic species. *Journal of Biogeography*, **33**, 169-187.
- Brown, K.S. (1991). Conservation of Neotropical environments: insects as indicators. In *The conservation of insects and their habitats* (eds N.M. Collins & J.A. Thomas), Vol. Royal Entomological Society Symposium XV, pp. 349-404. Academic Press, London.
- Brown, K.S. (1997) Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*, **1**, 25-42.
- Brown, K.S. (2000). Insetos indicadores da história, composição, diversidade e integridade de Matas Ciliares. In *Matas Ciliares: conservação e recuperação* (eds R.R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho), pp. 223-232. EDUSP, São Paulo.
- Brown, K.S. & Gifford, D.R. (2002). Lepidoptera in the Cerrado landscape and conservation of vegetation, soil, and topographical mosaics. In *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna* (eds P.S. Oliveira & R.J. Marquis), pp. 398. Columbia University Press, New York.
- Clarke, K.R. & Gorley, R.N. (2001) PRIMER V5: user Manual/ Tutorial. PRIMIER-E, Plymouth, UK.
- Clarke, K.R. & Warwick, R.M. (2001) *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd Edition edn. PRIMIER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Collett, D. (1991) *Modeling Binary Data* Chapman & Hall, London, UK.
- Colwell, R.K. (2005) EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples, pp. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Davis, M.A., Grime, J.P. & Thompson, K. (2000) Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology*, **88**, 528-534.
- Davis, M.A., Thompson, K. & Grime, J.P. (2005) Invasibility: the local mechanism driving community assembly and species diversity. *Ecography*, **28**, 696-704.
- Didham, R.K., Hammond, P.M., Lawton, J.H., Eggleton, P., & Stork, N.E. (1998) Beetle species responses to tropical forest fragmentation. *Ecological Monographs*, **68**, 295-323.
- Didham, R.K., Watts, C.H. & Norton, D.A. (2005) Are systems with strong underlying abiotic regimes more likely to exhibit alternative stable states? *Oikos*, **110**, 409-416.
- Diniz, I.R. & Kitayama, K. (1998) Seasonality of vespidae species (Hymenoptera : Vespidae) in a central Brazilian cerrado. *Revista De Biologia Tropical*, **46**, 109-114.

- Dirzo, R. & Raven, P.H. (2003) Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*, **28**, 137-167.
- Dobzhansky, T. & Pavan, C. (1943) Studies on Brazilian species of *Drosophila*. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, **36**, 1 - 72.
- Eiten, G. (1972) The Cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review*, **38**, 201-341.
- Ejrnaes, R., Bruun, H.H. & Graae, B.J. (2006) Community assembly in experimental Grasslands: Suitable environment or timely arrival? *Ecology*, **87**, 1225-1233.
- Ferreira, L. & Tidon, R. (2005) Colonizing potential of Drosophilidae (Insecta, Diptera) in environments with different grades of urbanization. *Biodiversity and Conservation*, **14**, 1809-1821.
- Floren, A. & Linsenmair, K.E. (2001) The influence of anthropogenic disturbances on the structure of arboreal arthropod communities. *Plant Ecology*, **153**, 153-167.
- Freire-Maia, A. & Pavan, C. (1949) Introdução ao estudo da drosófila. *Cultus*, **1**, 3-66.
- Frota-Pessoa, O. (1954) Revision of the *tripunctata* group of *Drosophila* with description of fifteen new species (Drosophilidae, Diptera). *Arquivos do Museu Paranaense*, **10**, 253-304.
- Henriques, R.P.B. (2005). Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma Cerrado. In *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação* (eds A. Scariot, J. Souza-Silva & J. Felfili), pp. 439. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.
- Hilty, J. & Merenlender, A. (2000) Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*, **92**, 185-197.
- Hobbs, R.J. & Huenneke, L.F. (1992) Disturbance, Diversity, and Invasion - Implications for Conservations. *Conservation Biology*, **6**, 324-337.
- Hoffmann, B.D. & Andersen, A.N. (2003) Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups. *Austral Ecology*, **28**, 444-464.
- Huston, M.A. (1998) *Biological Diversity. The Coexistence of Species on Changing Landscapes* Cambridge University Press, Cambridge.
- Klink, C.A. (1996) Germination and seedling establishment of two native and one invading African grass species in the Brazilian cerrado. *Journal of Tropical Ecology*, **12**, 139-147.
- Kremen, C., Colwell, R.K., Erwin, T.L., Murphy, D.D., Noss, R.F. & Sanjayan, M.A. (1993) Terrestrial arthropod assemblages - their use in conservation planning. *Conservation Biology*, **7**, 796-808.
- Ledru, M.P. (2002). Late Quaternary history and evolution of the cerrados as revealed by palinological records. In *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna* (eds P.S. Oliveira & R.J. Marquis), pp. 398. Columbia University Press, New York.
- Leibold, M.A., Holyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chase, J.M., Hoopes, M.F., Holt, R.D., Shurin, J.B., Law, R., Tilman, D., Loreau, M. & Gonzalez, A. (2004) The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*, **7**, 601-613.
- Lewontin, R.C. (1965). Selection for colonizing ability. In *The Genetic of Colonizing Species* (eds H.G. Baker & G.L. Stebbins), pp. 77--91. Academic Press, New York.

- Lonsdale, W.M. (1999) Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology*, **80**, 1522-1536.
- Marris, E. (2005) The forgotten ecosystems. *Nature*, **437**, 944-945.
- Marvier, M., Kareiva, P. & Neubert, M.G. (2004) Hábitat destruction, fragmentation, and disturbance promote invasion by hábitat generalists in a multispecies metapopulation. *Risk Analysis*, **24**, 869-878.
- Mayr, E. (1965). Summary. In *The genetics of colonizing Species* (eds H.G. Baker & G.L. Stebbins), pp. 553-562. Academic Press, New York.
- McCullagh, P. & Nelder, J.A. (1989) *Generalized Linear Models* Chapman & Hall, London, UK.
- McGeoch, M.A. (1998) The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, **73**, 181-201.
- McKinney, M.L. (2006) Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, **127**, 247-260.
- Medeiros, H.F. & Klaczko, L.B. (1999) A weakly biased *Drosophila* trap. *Drosophila Information Service*, **82**, 100-102.
- Mendonça, R.C., Felfili, J.M., Walter, B.M.T., Silva Júnior, M.C., Rezende, A.V., Filgueiras, T.S. & Nogueira, P.E. (1998). Flora vascular do cerrado. In *Cerrado: Ambiente e Flora* (eds S.M. Sano & A.M. Almeida), pp. 288-556. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Planaltina.
- Myers, N., Mittermeyer, R.A., Mittermeyer, C.G., Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000) Biodiversity spots for conservation priorities. *Nature*, **403**, 853-858.
- Norberg, J. (2004) Biodiversity and ecosystem functioning: A complex adaptive systems approach. *Limnology and Oceanography*, **49**, 1269-1277.
- Olden, J.D. & Rooney, T.P. (2006) On defining and quantifying biotic homogenization. *Global Ecology and Biogeography*, **15**, 113-120.
- Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (2002) *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna* Columbia University Press, New York.
- Oliveira-Filho, A.T. & Ratter, J.A. (2002). Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna* (eds P.S. Oliveira & R.J. Marquis), pp. 398. Columbia University Press, New York.
- Parsons, P.A. (1983) *The Evolutionary Biology of Colonizing Species*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pavan, C. & Cunha, A.B. (1947) Espécies brasileiras de *Drosophila*. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, **86**, 20 - 64.
- Pickett, S.T.A., Kolasa, J., Armesto, J.J. & Collins, S.L. (1989) The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos*, **54**, 129-136.
- Pivello, V.R., Carvalho, V.M.C., Lopes, P.F., Peccinini, A.A. & Rosso, S. (1999a) Abundance and distribution of native and alien grasses in a "cerrado" (Brazilian savanna) biological reserve. *Biotropica*, **31**, 71-82.

- Pivello, V.R. & Coutinho, L.M. (1996) A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. *Forest Ecology and Management*, **87**, 127-138.
- Pivello, V.R., Shida, C.N. & Meirelles, S.T. (1999b) Alien grasses in Brazilian savannas: a threat to the biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, **8**, 1281-1294.
- Prieur-Richard, A.H. & Lavorel, S. (2000) Invasions: the perspective of diverse plant communities. *Austral Ecology*, **25**, 1-7.
- Quinn, G.P. & Keough, M.J. (2002) *Experimental Design and Data Analysis for Biologists* Cambridge University Press, Cambridge.
- Ratter, J.A., Ribeiro, J.F. & Bridgewater, S. (1997) The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany*, **80**, 223-230.
- Redford, K.H. & Fonseca, G.A.B. (1986) The role of gallery forest in the zoogeography of the cerrado's non-volant mammalian fauna. *Biotropica*, **18**, 126-135.
- Saavedra, C.C.R., Callegari-Jacques, S.M., Napp, M. & Valente, V.L.S. (1995) A Descriptive and Analytical Study of 4 Neotropical Drosophilid Communities. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, **33**, 62-74.
- Salgado-Labouriau, M.L. (2005). Alguns aspectos sobre a Paleocologia dos Cerrados. In *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação* (eds A. Scariot, J.C. Souza-Silva & J. Felfili), pp. 439. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.
- Sax, D.F., Gaines, S.D. & Brown, J.H. (2002) Species invasions exceed extinctions on islands worldwide: A comparative study of plants and birds. *American Naturalist*, **160**, 766-783.
- Sene, F.M., Val, F.C., Vilela, C.R. & Pereira, M.A.Q.R. (1980) Preliminary data on the geographical distribution of *Drosophila* species within morpho-climatic domains of Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, **33**, 315-326.
- Silva, J.F., Farinas, M.R., Felfili, J.M. & Klink, C.A. (2006) Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*, **33**, 536-548.
- Silva, J.M.C. (1995) Birds of the Cerrado region, South America. *Steenstrupia*, **21**, 69-92.
- Silva, J.M.C. & Santos, M.P.D. (2005). A importância relativa dos processos biogeográficos na formação da avifauna do Cerrado e de outros biomas brasileiros. In *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação* (eds A. Scariot, J.C. Souza-Silva & J. Felfili), pp. 439. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.
- Spitzer, K., Jaros, J., Havelka, J. & Leps, J. (1997) Effect of small-scale disturbance on butterfly communities of an Indochinese montane rainforest. *Biological Conservation*, **80**, 9-15.
- Suarez, A.V., Bolger, D.T. & Case, T.J. (1998) Effects of fragmentation and invasion on native ant communities in coastal southern California. *Ecology*, **79**, 2041-2056.
- Tidon, R. (2006) Relationships between drosophilids (Diptera, Drosophilidae) and the environment in two contrasting tropical vegetations. *Biological Journal of the Linnean Society*, **87**, in press.
- Tidon, R., Leite, D.F., Ferreira, L. & Leão, B.D. (2005). Drosophilídeos (Diptera, Drosophilidae) do Cerrado. In *Ecologia e Biodiversidade do Cerrado* (eds A. Scariot, J. Felfili & J.C.S.E. Silva). Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

- Tidon, R., Leite, D.F. & Leão, B.F.D. (2003) Impact of the colonization of *Zaprionus* (Diptera, Drosophilidae) in different ecosystems of the Neotropical Region: 2 years after the invasion. *Biological Conservation*, **112**, 299-305.
- Uehara-Prado, M., Brown, K.B. & Freitas, A.V.L. (2007) Species richness, composition and abundance of fruit-feeding butterflies in Brazilian Atlantic Forest: comparison between a fragmented and a continuous landscape. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **16**, 43-54.
- Val, F.C. (1982) The male genitalia of some Neotropical *Drosophila*: Notes and illustrations. *Papéis Avulsos de Zoologia*, **34**, 309-347.
- Val, F.C., Vilela, C.R. & Marques, M.D. (1981). Drosophilidae of the Neotropical region. In *Genetics and Biology of Drosophila* (eds M. Ashburner, H.L. Carson & J.N. Thompson Jr), Vol. 3a, pp. 123-168. Academic Press, New York.
- Vieira, E.M. & Palma, R.T. (2005). Pequenos mamíferos de Cerrado: distribuição dos gêneros e estrutura das comunidades nos diferentes habitats. In *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação* (eds A. Scariot, J.C. Souza-Silva & J. Felfili). Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.
- Vilela, C.R. (1992) On the *Drosophila tripunctata* species group (Diptera, Drosophilidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, **36**, 197-221.
- Vilela, C.R. & Bachli, G. (1990) Taxonomic studies on Neotropical species of seven genera of Drosophilidae (Diptera). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, **63**, 1-332.
- Zobel, M. (1997) The relative role of species pools in determining plant species richness. An alternative explanation of species coexistence? *Trends in Ecology & Evolution*, **12**, 266-269.

Tabela I – Caracterização dos sítios onde as coletas de drosofilídeos foram realizadas

Sítio	Vegetação	Tipo	Distúrbio
1-3	mata de galeria	floresta	-
4-6	mata de galeria	floresta	sucessão
7-9	cerrado sentido restrito	savana	-
10	campo cerrado	savana	-
11	campo sujo	savana	-
12	campo limpo	savana	-
13-16	cerrado sentido restrito	savana	borda
17	cerrado sentido restrito	savana	área construída
18	campo cerrado	savana	área construída
19-20	campo cerrado	savana	borda
21-22	campo sujo	savana	fogo
23-24	campo sujo	savana	borda

Descrições detalhadas dos tipos de vegetação podem ser encontradas em Oliveira & Marquis (2002). Os sítios classificados como perturbados foram: **bordas**: sítios localizados até 10 metros da estrada de terra; **fogo** – sítios submetidos a queimadas bianuais; **áreas construídas** – sítios nos arredores de áreas com construções antrópicas, como alojamento e restaurante; **sucessão** – sítios onde a floresta foi cortada e encontra-se em estágio de sucessão.

Tabela II – Similaridade média dentro das assembléias de drosofilídeos, dissimilaridade média entre as assembléias, e as contribuições relativas das espécies que melhor caracterizaram ou discriminaram as assembléias bem definidas, as quais corresponderam as da mata de galeria não perturbada (mg), da mata de galeria perturbada (mgp), e a das savanas não perturbadas e perturbadas (sv + svp).

Hábitats	Similaridade média	Espécies	Contribuição %
mg	79,65	<i>D. willistoni</i>	13,90
		<i>D. sturtevanti</i>	11,11
mgp	76,46	<i>D. sturtevanti</i>	14,14
		<i>D. simulans</i> [†]	11,15
sv + svp	78,65	<i>Z. indianus</i> [†]	14,87
		<i>D. mercatorum</i>	11,22
Hábitats	Dissimilaridade média	Espécies	Contribuição %
mg x mgp	29,62	<i>D. willistoni</i>	7,83
		<i>D. paraguayensis</i>	6,81
mg x sv	39,70	<i>D. willistoni</i>	8,80
		<i>Z. indianus</i> [†]	8,11
mgp x sv	29,38	<i>Z. indianus</i> [†]	7,29
		<i>D. nigricruria</i>	6,38

[†]Espécie exótica

Tabela III - Média e erro padrão das abundâncias das espécies neotropicais e exóticas, bem como de algumas espécies de drosofilídeos nas matas de galeria não perturbadas (mg), matas de galeria perturbadas (mgp), savanas não perturbadas (sv) e savanas perturbadas (svp).

Abundância	n	mg (n=3)	mgp (n=3)	sv (n=8)	svp (n=10)
Neotropicais	10111	578,33 (89,04)	334,67 (86,49)	318,25 (33,87)	482,60 (71,22)
Exóticas	9841	38,00 (5,00)	132,67 (51,60)	387,37 (55,52)	623 (121,91)
<i>D. cardini</i>	1956	11 (2,85)	35 (10,26)	65 (12,44)	129 (32,11)
<i>D. hydei</i>	318	0	8 (4,36)	6 (1,41)	25 (6,42)
<i>D. mercatorum</i>	2075	16 (3,06)	25 (15,90)	98 (14,34)	117 (19,15)
<i>D. nebulosa</i>	1271	96 (51,67)	38 (18,32)	55 (12,78)	43 (5,02)
<i>D. nigricruria</i>	311	1 (0,33)	2 (1,67)	9 (3,72)	23 (11,81)
<i>D. paraguayensis</i>	12	4 (1,53)	0	0	0
<i>D. simulans</i> [†]	2218	22 (2,52)	92 (43,28)	81 (14,42)	123 (18,53)
<i>D. sturtevanti</i>	2337	116 (15,71)	177 (63,70)	56 (10,06)	101 (11,20)
<i>D. willistoni</i>	1304	290 (61,53)	32 (10,17)	20 (8,34)	18 (5,03)
<i>Z. indianus</i> [†]	7309	9 (1,53)	36 (14,31)	300 (46,98)	478 (113,50)

[†]Espécie exótica

Mapa de Vegetação - RECOR

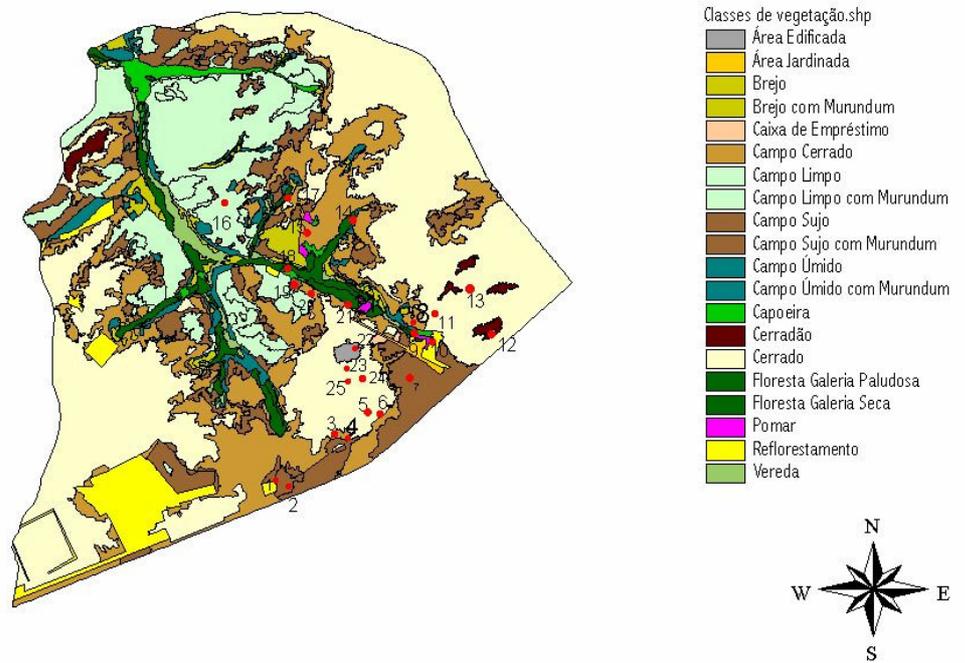


Figura 1. Mapa de Vegetação da Reserva Ecologia do IBGE (RECOR) mostrando a diversidade de fitofisionomias contidas na área e a localização dos 25 pontos amostrais distribuídos ao longo da reserva (o ponto amostral 9 foi retirado das análises por ser um *outlier*).

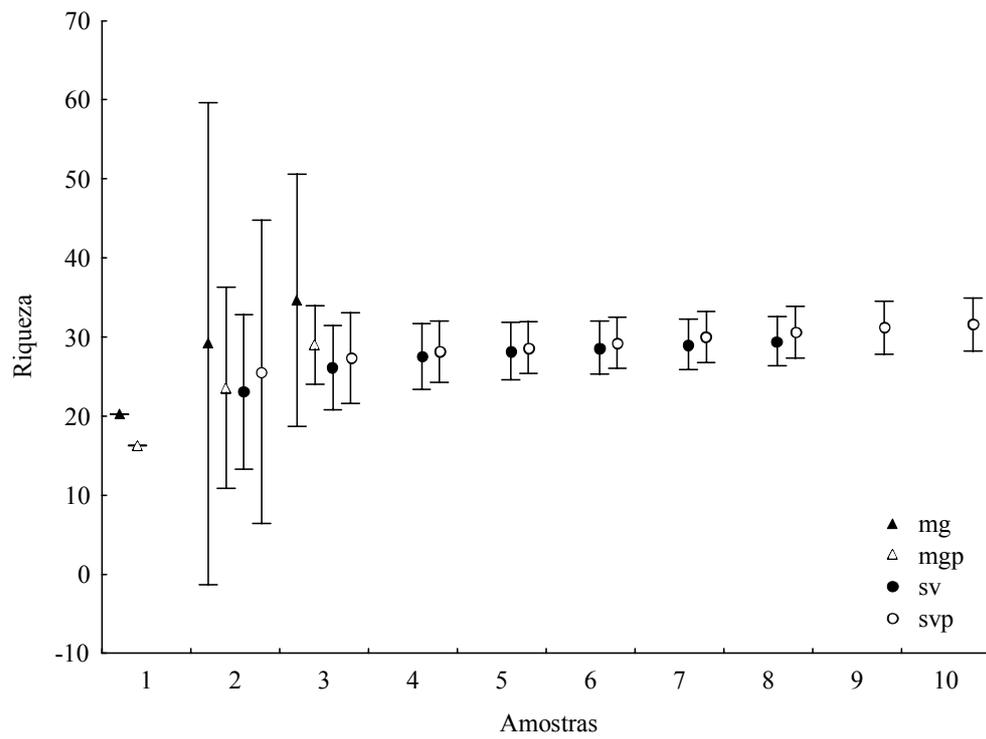


Figura 2 – comparação entre as curvas de acumulação (Jackknife 1) de espécies de drosofilídeos em mata de galeria não perturbada (mg), mata de galeria perturbada (mgp), savanas não perturbadas (sv), savanas perturbadas (svp).

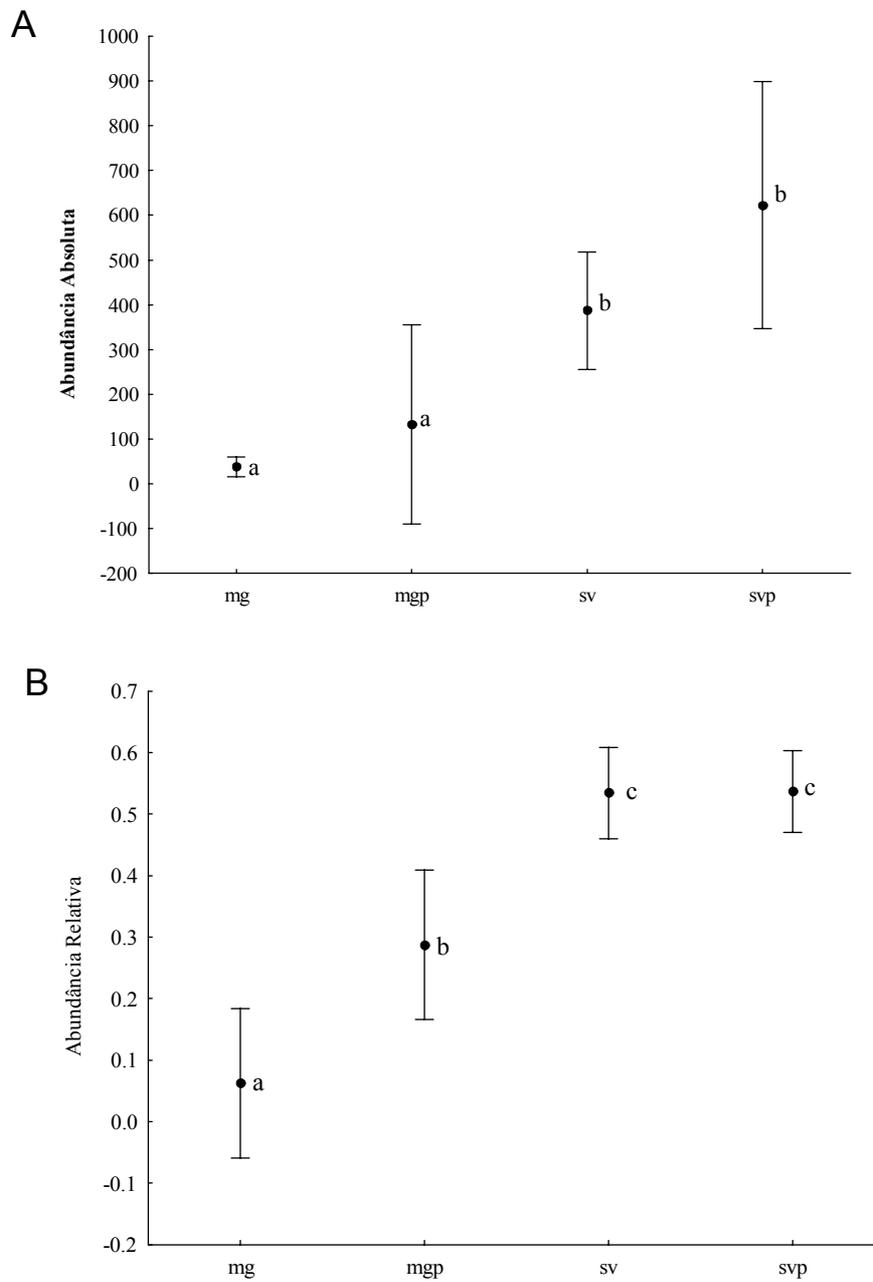


Figura 3 – Médias da abundância absoluta (A) e relativa (B) das espécies exóticas nas matas de galeria não perturbadas (mg), nas matas de galeria perturbadas (mgp), nas savanas não perturbadas (sv) e nas savanas perturbadas (svp). Letras diferentes indicam diferença significativa.

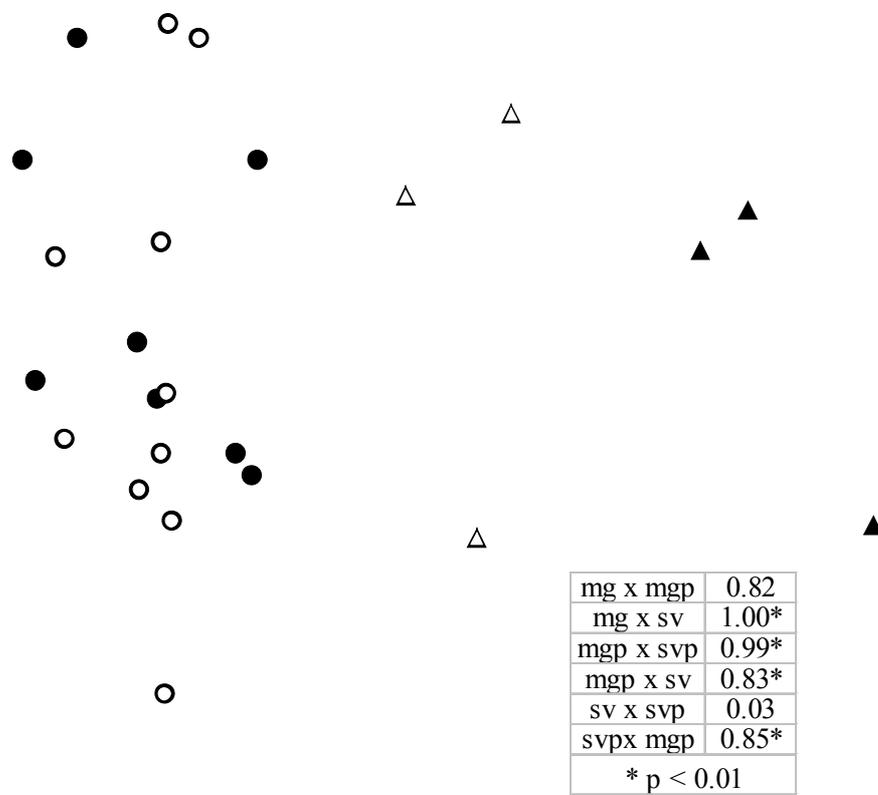


Figura 4 – Ordenação propiciada pela Análise Multidimensional não-Métrica (nMDS) baseada nas abundâncias de drosofilídeos, mostrando a similaridade relativa entre as amostras procedentes de: ▲. matas de galeria não perturbadas; △. matas de galeria perturbadas; ●. savanas não perturbadas; ○ savanas perturbadas. (R global = 0.55; p<0.001; stress = 0.14).

Anexo 1 - Lista das espécies de drosofilídeos identificadas no presente estudo mostrando a abundância das mesmas, o número total de indivíduos e de espécies em cada tipo de hábitat, e a abundância total de cada espécie coletada.

Espécies	Hábitats				Total
	mg	mgp	sv	svp	
Neotropicais					
<i>Drosophila sturtevantii</i> Duda, 1927	347	532	448	1010	2337
<i>D. mercatorum</i> Patterson & Wheeler, 1942	48	76	785	1166	2075
<i>D. cardini</i> Sturtevant, 1916	34	105	523	1294	1956
<i>D. willistoni</i> Sturtevant, 1916	869	97	156	182	1304
<i>D. nebulosa</i> Sturtevant, 1916	287	115	439	430	1271
<i>D. hydei</i> Sturtevant, 1921	0	24	44	250	318
<i>D. nigricruria</i> Patterson & Mainland, 1943	2	5	73	231	311
<i>D. prosaltans</i> Duda, 1927	17	10	21	94	142
<i>D. ornatifrons</i> Duda, 1927	49	10	6	17	82
<i>D. paranaensis</i> Barros, 1950	0	1	10	51	62
<i>D. polymorpha</i> Dobzhansky & Pavan, 1943	22	11	5	15	53
<i>D. fuscolineata</i> Duda, 1925	8	9	3	19	39
<i>D. cardinoides</i> Dobzhansky & Pavan, 1943	0	0	5	32	37
<i>D. mediotriata</i> Duda, 1925	7	1	10	11	29
<i>D. aragua</i> Vilela & Pereira, 1982	4	3	11	1	19
<i>D. maculifrons</i> Duda, 1927	7	0	2	8	17
<i>D. paraguayensis</i> Duda, 1927	12	0	0	0	12
<i>D. mediopunctata</i> Dobzhansky & Pavan, 1943	8	2	0	1	11
<i>D. bocainensis</i> Pavan & Cunha, 1947	0	1	2	5	8
<i>D. atrata</i> Burla & Pavan, 1953	5	0	0	0	5
<i>D. repleta</i> Wollaston, 1858	0	0	0	4	4
<i>D. schildi</i> Malloch, 1924	3	0	1	0	4
<i>D. ararama</i> Pavan & Cunha, 1947	1	0	0	2	3
<i>D. fumipennis</i> Duda, 1925	0	0	1	2	3
<i>D. guaru</i> Dobzhansky & Pavan, 1943	1	1	0	0	2
<i>D. neocardini</i> Streisinger, 1946	1	0	0	1	2
<i>D. austrosaltans</i> Spassky, 1957	1	0	0	0	1
<i>D. bandeirantium</i> Dobzhansky & Pavan, 1943	1	0	0	0	1
<i>D. medioimpressa</i> Frota-Pessoa, 1954	1	0	0	0	1
<i>D. neoguaramuru</i> Frydenberg, 1956	0	1	0	0	1
<i>D. fasciola</i> (aff) Williston, 1896	0	0	1	0	1
Exóticas					
<i>Zaprionus indianus</i> Gupta, 1970	27	107	2398	4777	7309
<i>D. simulans</i> Sturtevant, 1919	66	276	646	1230	2218
<i>D. malerkotliana</i> Parshad & Paika, 1964	7	9	21	98	135
<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis</i> Duda, 1940	3	1	26	76	106
<i>D. busckii</i> Coquillett, 1901	0	0	7	33	40
<i>D. immigrans</i> Sturtevant, 1921	11	5	1	16	33
Número de indivíduos	1849	1402	5645	11056	19952
Número de espécies	28	23	26	28	37

2. Assembléias de drosofilídeos (Insecta, Diptera) como um sistema bioindicador de distúrbio humano no bioma Cerrado

INTRODUÇÃO

A relativa falta de informação sobre biodiversidade, especialmente nas partes mais ricas do mundo, aliadas às rápidas taxas de perda de biodiversidade devido às atividades humanas, se traduz em um enorme desafio para a biologia da conservação. Por este motivo, a Convenção para a Diversidade Biológica (CDB) estabeleceu um conjunto de metas para reduzir a perda da biodiversidade global até o ano de 2010 (Nações Unidas, 2002). Entretanto, esta meta só será atingida efetivamente com o uso de abordagens que retirem o máximo de informações com recursos mínimos. Bioindicadores, que ao mesmo tempo refletem e representam o estado do ambiente, fornecem essa ferramenta. Desta maneira, o desenvolvimento de indicadores está entre os planos estratégicos para avaliar e monitorar o progresso das metas estabelecidos pela CDB.

Embora a utilização de organismos bioindicadores seja considerada uma maneira relativamente barata, fácil e eficiente para avaliar e refletir sobre as condições ambientais (Dale & Beyeler, 2001), eles foram desenvolvidos apenas para poucas áreas geográficas e alguns táxons, geralmente os carismáticos, tais como mamíferos e aves. Tal limitação gera um viés na aplicação dessas ferramentas, tendo em vista que muitas das medidas elaboradas através da utilização de apenas algumas espécies não se traduzem na conservação eficiente da biodiversidade como um todo. Assim, é extremamente necessário reverter este desequilíbrio e melhorar a prática da bioindicação, concentrando esforços em uma maior proporção da biodiversidade biológica, como nas áreas tropicais, e nos táxons menos conhecidos e mais diversos (Dobson, 2005).

O uso de espécies ou grupos de espécies para refletir algum componente do ambiente ou biodiversidade está longe de ser novo, mas devido às duras críticas das últimas décadas, este tem passado por um processo de avaliação e a literatura especializada recente mostra um progresso considerável no desenvolvimento teórico e metodológico acerca do estabelecimento de bioindicadores (Landres, 1988; Noss, 1990; Caro & O'Doherty, 1999; Hilty & Merrellender, 2000). Tem sido extremamente recomendado que a seleção de um bom indicador deva ser suportada com embasamento teórico de qualidade e siga um protocolo rigoroso (Niemi & McDonald, 2004). Este deve essencialmente incluir uma clara definição dos objetivos do estudo bioindicador, bem como da escala na qual o estudo será conduzido, a adequação *a priori* do referido táxon a critérios de seleção, o estabelecimento das relações entre os indicadores e o ambiente e ainda a realização de testes de hipóteses (McGeoch, 1998). Um processo de dois estágios, geralmente, mediante a utilização de duas amostras independentes no tempo ou no espaço (no qual o indicador é inicialmente identificado e depois verificado) também deve existir para se estabelecer o grau de confiança no qual os indicadores possam ser aplicados (McGeoch *et al.*, 2002). Uma outra recomendação importante se refere à necessidade de se desenvolver um conjunto de variáveis indicadoras (sistema bioindicador) mais do que um único indicador (i.e. uma única espécie) (Hilty & Merrellender, 2000). A existência de tais recomendações e das novas metodologias disponíveis é considerada uma melhora substancial para a aplicação de bioindicadores. Apesar disso, apenas poucos estudos testaram efetivamente tal protocolo (McGeoch, 2007).

Outro importante fator para o progresso da bioindicação é a pesquisa envolvendo insetos, uma vez que tais investigações têm melhorado o rigor da bioindicação, propondo protocolos e métodos estatísticos para a análise de dados (McGeoch, 2007). Embora uma avaliação rigorosa ainda não tenha sido realizada para a maioria dos grupos, os insetos são

freqüentemente considerados indicadores potenciais (Brown, 1991, 1997; Kremen *et al.*, 1993; McGeoch, 1998; Hilty & Merelender, 2000; Andersen, 2004). Medindo-se em termos de biomassa e dominância numérica e ecológica, os insetos são os maiores constituintes dos ecossistemas terrestres. Assim, quando se fala em extinção e perda de biodiversidade faz-se referência quase que exclusivamente a este grupo. Além disso, estes artrópodes possuem um papel essencial para o equilíbrio dos ecossistemas: reciclam nutrientes, polinizam plantas, dispersam sementes, mantêm a estrutura e a fertilidade do solo, controlam populações de outros organismos e são a maior fonte de nutrientes para outros táxons (Samways, 2005).

Drosofilídeos, em particular, são excelentes organismos para a pesquisa biológica e nenhum outro modelo tem sido tão amplamente estudado (Powell, 1997). Atualmente esta família inclui mais de 3500 espécies descritas (Bächli, 2006). Estas moscas são pequenas, numerosas, têm um ciclo de vida curto e são facilmente coletadas e manipuladas no laboratório. Algumas espécies, que exploram uma grande variedade de recursos, evoluíram em associação com o homem e dispersaram-se em várias regiões do planeta. Outras, mais especialistas, são restritas a um único tipo ambiente (Powell, 1997). Como resultado, a família é amplamente distribuída pelo mundo, e as diferentes espécies podem ser encontradas em todas as regiões biogeográficas, em uma variedade de habitats, de ambientes naturais e conservados aos ambientes urbanos (Wheller, 1981, 1986).

Parsons (1991, 1995) foi o primeiro a sugerir os drosofilídeos como bioindicadores. Após estes estudos, vários trabalhos mostraram estreitas associações entre drosofilídeos e o ambiente, revelando que estes são extremamente sensíveis a mudanças nas condições dos habitats onde ocorrem (Karan *et al.*, 1998; Jenkins & Hoffmann, 2001; Van Klinken & Walter, 2001; Hoffmann *et al.*, 2003). Estudos em ambientes urbanos também mostram que a riqueza destes insetos tende ser menor em níveis de urbanização altos (McCoy, 1962;

Belo & Oliveira Filho, 1976; Shorrocks, 1977; Parsons, 1982; Valente *et al.*, 1989; Goñi *et al.*, 1997; Avondet *et al.*, 2003). Embora frequentemente sugeridos como potenciais bioindicadores, estudos envolvendo insetos raramente incluem uma avaliação rigorosa desta potencialidade (McGeoch, 2007).

O bioma Cerrado é um exemplo de um ecossistema com alto valor para a conservação, porém extremamente ameaçado. Embora seja a savana mais rica do mundo, o Cerrado apresenta apenas 2% do seu território protegido em unidades de conservação (Silva *et al.*, 2006), e, por esta razão, foi considerado um dos 25 *hotspots* do mundo (Myers *et al.*, 2000). Apesar disto, a conservação da biodiversidade desse bioma ainda não atingiu o status das florestas tropicais úmidas, tais como a Amazônia e Mata Atlântica (Marris, 2005) e está sendo extensivamente transformado em sistemas agropastoris e urbanos (Klink & Machado, 2005). Assim, estudos visando o desenvolvimento de ferramentas para a diagnose, monitoramento, manejo e conservação da biodiversidade são urgentes no Cerrado.

Em face da grande demanda para aumentar as opções taxonômicas e geográficas para bioindicadores, principalmente nas áreas mais ricas e relativamente menos conhecidas, o presente estudo propõe um sistema bioindicador de distúrbio humano, utilizando as assembléias de drosofilídeos no bioma Cerrado. Além disso, este trabalho avalia um protocolo estabelecido na literatura especializada e recente, através do teste do potencial de drosofilídeos como indicadores de distúrbio humano no Cerrado. Neste contexto, os principais objetivos deste estudo foram: **(1)** estabelecer um conjunto de variáveis indicadoras de habitats não perturbados e perturbados do Cerrado incluindo variáveis: **(i)** em nível de assembléia (abundância das espécies neotropicais, das exóticas, das amplamente distribuídas e das restritas), e **(ii)** em nível de espécie (diferentes espécies indicadoras); e **(2)** testar o protocolo de validação de indicadores em dois estágios (*Two-*

stage indicator validation; McGeoch *et al.*, 2002) em dois ambientes contrastantes do bioma (cerrado sentido restrito e mata de galeria).

METODOLOGIA

Área de estudo, amostragem e identificação das espécies

O bioma Cerrado corresponde a um complexo de savanas sazonais que com aproximadamente dois milhões de km², cobre grande parte do interior do Brasil. Esse é o segundo maior bioma brasileiro em extensão, ficando atrás apenas da Amazônia (Ratter *et al.*, 1997). Este bioma, que inclui ambientes florestais, savanas e campos, apresenta alta heterogeneidade ambiental natural como resultado da interação entre diversos fatores tais como sazonalidade, topografia, características edáficas e flutuações climáticas do quaternário (Oliveira & Marquis, 2002). O clima do Cerrado é tropical com inverno seco (Aw no sistema de referência de Koeppen) em 95% do bioma, mudando para ameno Cw nas altas altitudes, e a precipitação é extremamente sazonal, caracterizada pela estação seca bem definida de maio a setembro (Oliveira & Marquis, 2002). Apesar da alta riqueza e endemismo, atividades como grandes monoculturas (por exemplo, a soja), fazendas de gado, bem como a expansão urbana, têm transformado extensivamente este bioma. Estas transformações estão ameaçando o Cerrado que infelizmente ainda não recebeu a mesma atenção dispensada às florestas tropicais (Klink & Machado, 2005). Extensivas e detalhadas informações sobre o Cerrado podem ser encontradas em Eiten (1972), Ratter *et al.* (1997), Ribeiro & Walter (1998) e Oliveira & Marquis (2002).

A amostragem foi realizada em um ambiente urbano e duas reservas biológicas, compreendendo quatro tipos de habitats (matas de galeria não perturbadas, matas de

galeria perturbadas, cerrados e ambientes urbanos). Estes locais foram mensalmente amostrados mediante armadilhas com iscas por pelo menos 12 meses. Detalhes do desenho amostral estão apresentados na Tabela I, e a descrição dos habitats pode ser encontrada em Ferreira & Tidon (2005), Tidon (2006), e Mata & Tidon (*manuscrito em revisão para publicação*, capítulo 1).

O ambiente urbano correspondeu à cidade de Brasília, planejada e inaugurada em 1960 no centro do Cerrado, e sob grande desenvolvimento demográfico desde então. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população total do Distrito Federal era de 12.700 quando a capital estava em construção e atingiu dois milhões no ano 2000. Ambas as reservas biológicas avaliadas no presente estudo estão localizadas nas vizinhanças dessa área urbana. O Parque Nacional de Brasília (PNB) foi criado em 1961, localiza-se a 10km a nordeste de Brasília e cobre uma área de 30.000ha. A reserva Ecológica do IBGE (RECOR), localizada a 35km ao sul de Brasília, é parte da reserva núcleo da Biosfera para o Cerrado, e foi criada em 1971. Esta faz parte de uma área de proteção ambiental com uma extensão de 10.000ha.

Na cidade de Brasília, três sítios urbanos foram amostrados, cada um contendo 15 armadilhas dispostas ao longo de um transecto, com 20 metros de distância entre elas. Em cada uma das reservas (PNB e RECOR I), foram amostrados um cerrado sentido restrito e uma mata de galeria totalizando 4 sítios. Em cada sítio foram dispostas 10 armadilhas em um transecto de 100 metros, com um intervalo de 10 metros de distância entre elas. Uma amostra independente, na RECOR, foi realizada em um período e sítios diferentes daqueles amostrados na RECOR I. Nesta amostra (RECOR II), 15 sítios de coleta (cada um contendo uma armadilha), localizados em diferentes fitofisionomias (dispostos a pelo menos 100m de distância), foram classificados em três grupos de habitats: (1) mata de galeria não perturbada, (2) mata de galeria perturbada, (3) cerrados. Em um estudo prévio,

Mata & Tidon (*em revisão para publicação*, capítulo 1) encontraram que as diferentes fitofisionomias abertas de Cerrado na RECOR apresentam a mesma assembléia de drosofilídeos. Por este motivo, o último grupo inclui todos os sítios localizados em formações abertas e não perturbadas de Cerrado.

A identificação das moscas consistiu na análise da morfologia externa, com o auxílio de estereomicroscópio, por meio de chaves de identificação e descrições taxonômicas. Espécies crípticas foram identificadas mediante a avaliação da genitália masculina (Dobzhansky & Pavan, 1943; Pavan & Cunha, 1947; Freire-Maia & Pavan, 1949; Frota-Pessoa, 1954; Val, 1982; Vilela & Bachli, 1990; Vilela, 1992).

Análise de dados

Assembléias de drosofilídeos como indicadores

As abundâncias de espécies foram classificadas em categorias, uma vez que as espécies diferem em termos de origem biogeográfica (espécies endêmicas da região neotropical ou exóticas) e padrão de distribuição (espécies com distribuição ampla ou restrita). As espécies amplamente distribuídas corresponderam àquelas que ocorreram em todos os 19 sítios. As classificadas como espécies relativamente mais restritas (quando comparadas às amplamente distribuídas) corresponderam a todas as demais espécies, e ocorreram em menos que 16 sítios. Os seguintes parâmetros foram submetidos à análise estatística: (1) abundância de neotropicais, (2) abundância de exóticas, (3) abundância de restritas (4) abundância de amplamente distribuídas. Estes quatro parâmetros serão tratados como variáveis de assembléia.

O modelo linear generalizado (McCullagh & Nelder, 1989) foi utilizado para determinar diferenças significativas (nível de significância $p < 0,05$) nas médias das variáveis acima mencionadas entre os quatro habitats estudados. Este modelo é considerado mais flexível e apropriado quando as variáveis ou os erros não atendem à distribuição normal, como na maioria dos dados de natureza biológica (Quinn & Keough, 2002), e como foi o caso dessas variáveis de assembléia. Muitas vezes, mesmo depois de transformadas, algumas variáveis não atendem a distribuição normal, e, além disso, é melhor modelar os dados absolutos do que transformados. Para essa análise, foi assumida a distribuição de Poisson para as variáveis, a relação entre as variáveis de assembléia e os habitats foi estabelecida através do modelo log-linear e a *deviance* foi utilizada como medida do teste de aderência (Collett, 1991). Para identificar quais habitats variaram entre si, foi utilizado o intervalo de confiança das médias das variáveis em cada habitat. Estas análises foram efetuadas com a utilização do programa Statistica V 6.0.

Espécies como indicadoras

Além da investigação em nível de assembléia, espécies indicadoras também foram procuradas. Para encontrar espécies que caracterizam habitats foi utilizado o método Valor Indicador (*Indicator Value Method - IndVal*), desenvolvido por Dufrêne & Legendre (1997), que combina medidas do grau de especificidade de uma espécie em um estado ecológico (por exemplo, um tipo de habitat), e a fidelidade (ou frequência de ocorrência) desta espécie dentro daquele estado. Este método fornece, um valor indicador (IndVal) para cada espécie, na forma de porcentagem, baseado em dois critérios:

$$\text{Medida de especificidade: } A_{ij} = N_{\text{indivíduos}_{ij}}/N_{\text{indivíduos}_i}$$

Onde $N_{\text{indivíduos}_{ij}}$ é a média do número de espécies i no grupo de sítios j , e $N_{\text{indivíduos}_i}$ é a soma do número de indivíduos da espécie i em todos os grupos;

$$\text{Medida de fidelidade: } B_{ij} = N_{\text{sítios}_{ij}}/N_{\text{sítios}_j}$$

Onde $N_{\text{sítios}_{ij}}$ é o número de sítios no hábitat j onde a espécie i está presente, $N_{\text{sítios}_j}$ é o número total de sítios naquele hábitat. A porcentagem do valor indicador para a espécie i no hábitat j é:

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

O IndVal representa um avanço metodológico significativo nos estudos com bioindicação, e este apresenta várias vantagens em relação às outras análises usadas para encontrar espécies indicadoras (por exemplo, TWINSPAN), como discutido por McGeoch & Chown (1998). Segundo estes autores, dentre as várias vantagens estão: o método é robusto a diferenças na metodologia e no tamanho da amostra, deriva indicadores de qualquer classificação de sítios, *a priori* ou *a posteriori*, ou ainda, hierárquica ou não hierárquica. A associação entre cada espécie e o sítio ou hábitat onde ocorrem pode ser determinada independentemente do procedimento de agrupamento e também independente das outras espécies, e ainda, a significância de cada indicador é subsequente estabelecida usando um procedimento de randomização. Além disso, através deste método é possível não apenas identificar as espécies características (Dufrêne & Legendre, 1997), as quais são essenciais para diagnósticos, mas também as espécies detectoras, mais úteis no monitoramento (McGeoch *et al.*, 2002).

Espécies características

Espécies características são aquelas que apresentam alta especificidade e fidelidade a um tipo de hábitat particular, e apresentarão um grande IndVal. Estas espécies tornam o

indicador mais confiável não apenas porque são específicas àquela localidade, mas também, porque elas apresentam alta probabilidade de serem amostradas durante o período do estudo (McGeoch & Chown, 1998).

Primeiro, para obter uma visão geral das preferências de habitats das espécies, o conjunto de dados foi explorado conjuntamente (PNB + RECOR I + RECOR II + Brasília), em uma única matriz que separou os tipos de habitats seguindo um agrupamento hierárquico. A primeira partição (ou coluna) foi a partição trivial, onde todos os dados pertenciam a um único grupo. A segunda partição classificou os sítios em reservas ecológicas e ambientes urbanos (ur). A terceira partição dividiu as reservas ecológicas entre matas de galeria (mg) e cerrados (ce). Finalmente, a quarta partição dividiu as matas de galeria entre não perturbadas (mg) e perturbadas (mgp). O componente de agrupamento hierárquico de sítios do método de Dufrêne & Legendre (1997) não foi utilizado aqui, uma vez que os habitats já eram conhecidos *a priori*. Como sugerido por Dufrêne & Legendre (*op cit*), através da observação de como o IndVal de cada espécie muda ao longo da matriz hierárquica, é possível inferir as dimensões das distribuições das espécies.

As espécies com IndVal significativamente maior que 70% nas últimas partições foram consideradas como espécies características daquele habitat particular. Aqui o procedimento de randomização foi usado para testar a significância das medidas do IndVal de cada espécie. As espécies características dos ambientes urbanos e das matas de galeria perturbadas foram identificadas usando esta matriz.

Espécies detectoras

Embora o reconhecimento de espécies características seja importante para estudos de acesso e diagnóstico ambiental, elas provavelmente não apresentarão valor para o monitoramento tendo em vista que podem se tornar vulneráveis, devido à presença do

distúrbio. Além disso, espécies características também não fornecem informações sobre a direção da mudança ecológica, devido à especificidade das mesmas a um único estado ecológico. As espécies generalistas, provavelmente também não responderão tão rapidamente às modificações nos habitats. Espécies com níveis moderados de especificidade a determinado ambiente, por outro lado, apresentariam maior chance de migrar para habitats adjacentes, e, portanto de invadir habitats em processo de modificação. Tais espécies, definidas originalmente como “detectoras” (Van Rensburg *et al.*, 1999; McGeoch *et. al.*, 2002), são extremamente úteis para monitorar mudanças nas condições destes ambientes.

Devido à intensa transformação a que o Cerrado está sendo submetido, este representa uma ótima oportunidade para se testar a predição original para espécies detectoras. De acordo com Pivello & Coutinho (1996), quando os ambientes florestados são submetidos ao distúrbio humano (e.g. desmatamento) tornam-se mais abertos e conseqüentemente mais similares aos ambientes de savana. Mata & Tidon (*em revisão para publicação*, capítulo 1) mostraram que as assembléias de drosofilídeos são capazes de refletir a alteração humana na vegetação de matas, uma vez que matas de galeria perturbadas mostraram assembléias diferentes das não perturbadas. É importante salientar que não está sendo assumido que estes últimos são ambientes perturbados, já que existem cerrados naturais no bioma. O que está sendo considerado é que as matas de galeria perturbadas apresentam condições intermediárias entre matas não perturbadas e cerrados.

Desta maneira, com o intuito de testar a predição original para espécies detectoras (Van Rensburg *et al.*, 1999; McGeoch *et al.*, 2002) o IndVal das espécies foi comparado usando a seguinte combinação de habitats: **1)** matas de galeria não perturbadas x matas de galeria perturbadas x cerrados. Além disso, também foi testada uma segunda predição, proposta no presente trabalho, de que algumas espécies que apresentam baixa preferência

(baixos IndVals) em ambientes não perturbados apresentam preferência maior (IndVals maior) em matas perturbadas e ambientes urbanos, independente de apresentarem preferência moderada por um hábitat particular. Essa predição foi testada mediante a comparação das seguintes combinações de hábitats: **2)** matas de galeria não perturbadas x matas de galeria perturbadas; **3)** matas de galeria não perturbadas x ambientes urbanos; **4)** cerrados não perturbados x ambientes urbanos.

De acordo com a definição original, na primeira previsão foram consideradas espécies detectoras aquelas apresentando simultaneamente preferência moderada para os cerrados (IndVal entre 50% e 70%), baixa para matas de galeria não perturbadas (entre 5% e 49%), e ainda, com maior IndVal para mata de galeria perturbada do que para não perturbada. De acordo com a segunda previsão, espécies que aumentaram o IndVal (> 20%) nos hábitats perturbados ou ambientes urbanos, em comparação com os não perturbados, independente da preferência moderada por um hábitat específico, também foram identificadas como possíveis espécies detectoras.

Validação em dois estágios

Espécies indicadoras dos ambientes classificados como não perturbados foram testadas através do protocolo sugerido por McGeoch (1998), em um processo denominado validação do indicador em dois estágios (*two-stage indicator validation*; McGeoch *et al.*, 2002). De acordo com este protocolo, uma vez que a relação entre as espécies e o ambiente é estabelecida, a robustez da mesma deve ser testada através da reamostragem do mesmo ambiente em uma condição espacial ou temporal diferente (outra localidade na região onde o bioindicador vai ser usado ou períodos com diferentes condições climáticas). Nesta investigação, dentre os 19 sítios amostrados, apenas os sítios classificados como as matas de galeria (cinco) e os cerrados (oito) não perturbados foram incluídos nas comparações,

em duas abordagens. Primeiro, os dados do PNB e RECOR I foram combinados em uma matriz de dados para gerar o primeiro conjunto de espécies características para aqueles habitats, processo chamado de identificação. Em seguida, os mesmos foram testados seguindo a mesma abordagem, mas usando uma amostra independente RECOR II (Tabela I), o que correspondeu à validação. Aqui, as amostras independentes (PNB + RECOR I e RECOR II) permitiram este teste em dois estágios, envolvendo a identificação inicial seguida pela validação dos potenciais bioindicadores. Segundo, o conjunto de dados correspondente ao PNB, RECOR I, RECOR II (matas de galeria e cerrados não perturbadas) foram organizados em uma única matriz e submetidos à uma seleção ao acaso. Em seguida, a primeira metade dos habitats foi selecionada para gerar outro conjunto de espécies características (identificação), e finalmente, a segunda metade foi utilizada para testar os mesmos (validação). O esperado foi que os indicadores mais confiáveis seriam identificados e re-identificados pelas duas abordagens. Devido ao baixo número de observações no PNB e na RECOR I, o critério neste protocolo de validação foi a frequência na qual os IndVal foram maiores do que 70%, mais que o nível de significância; este entretanto foi utilizado para acessar a robustez dos indicadores.

RESULTADOS

Assembléias de drosofilídeos como indicadoras

Dentre os 77.286 indivíduos analisados nesta investigação, foram reconhecidas 35 espécies neotropicais e seis exóticas. Seis delas (*D. cardini*, *D. mercatorum*, *D. nebulosa*, *D. simulans*, *D. sturtevantii* e *Z. indianus*) ocorreram em todos os 19 sítios de coleta e por isso foram classificadas como amplamente distribuídas. As demais 35 espécies foram consideradas como geograficamente restritas (Anexo 1). Dentre os quatro parâmetros

analisados, as médias das espécies neotropicais e restritas foram significativamente diferentes considerando a estatística geral (*Wald statistics*) produzida pelo GLM (Tabela II). Entretanto, as comparações das médias desses parâmetros entre pares de hábitats não foram significativas (Figura 1).

Embora as médias de abundância absoluta não tenham diferido significativamente entre os pares de hábitats, foi observada uma substancial variação das abundâncias relativas destas categorias (Figura 2). Considerando as abundâncias relativas das espécies neotropicais e exóticas, as matas de galeria não perturbadas e perturbadas apresentaram padrões similares, mostrando maior predominância das neotropicais, enquanto que nos cerrados e ambientes urbanos, as espécies exóticas predominaram (Figura 2A). A observação das abundâncias relativas das espécies amplamente distribuídas e das relativamente restritas (que ocorreram em menos de 16 sítios) mostrou que estas últimas predominaram nas matas de galeria não perturbadas, enquanto que as espécies amplamente distribuídas aumentaram a predominância gradualmente nas matas de galeria perturbadas, nos cerrados, e dominaram quase que exclusivamente os ambientes urbanos (Figura 2B).

Espécies como indicadores

Espécies características

O IndVal de algumas espécies reagiu ao agrupamento proposto, no qual os 19 sítios foram hierarquicamente classificados em quatro tipos de hábitats. Na primeira classificação foram incluídos todos os sítios no mesmo grupo, que correspondeu ao bioma Cerrado. A segunda classificação separou as reservas ecológicas dos ambientes urbanos; a terceira dividiu as reservas em hábitats abertos e fechados; finalmente, a quarta

classificação dividiu as matas de galeria em ambientes não perturbados e perturbados, de maneira que a quarta classificação contemplou os quatro tipos de hábitats. A figura 3 mostra o padrão pelo qual algumas espécies aumentaram ou decresceram os respectivos IndVals, a medida que os sítios se dividiam em diferentes grupos, mediante a representação da primeira e da última classificação. Por exemplo, *Drosophila simulans*, *Zaprionus indianus*, *D. cardini*, *D. sturtevantii*, *D. mercatorum* e *D. nebulosa* atingiram o IndVal máximo no primeiro agrupamento, e esse valor foi decrescendo à medida que os sítios onde estas espécies eram abundantes dividiam-se em diferentes hábitats, de maneira que tais espécies apresentaram o menor IndVal no último agrupamento (Figura 3A). Por outro lado, o IndVal de *D. paraguayensis*, *D. melanogaster*, *D. ornatifrons*, *D. cardinoides*, *D. mediopunctata* e *D. maculifrons* foram muito baixos no primeiro agrupamento, atingindo seus valores máximos no último (Figura 3B).

A tabela III apresenta o maior IndVal de todas as espécies, indicando as preferências das mesmas por um tipo de hábitat particular. A maioria das espécies neotropicais apresentou maior IndVal para as matas de galeria não perturbadas, entretanto, para grande parte, este valor não foi alto o suficiente para que fossem consideradas características desses ambientes. Dentre as 24 espécies que preferiram as matas de galeria não perturbadas, apenas *Drosophila maculifrons*, *D. mediopunctata*, *D. ornatifrons*, *D. paraguayensis* e *D. willistoni* mostraram IndVal significativamente maiores que 70%. *Drosophila cardinoides* e *D. melanogaster* atenderam o requisito de espécies características de ambientes urbanos.

A análise da relação entre os dois componentes do IndVal (especificidade e fidelidade) mostrou que as matas de galeria não perturbadas claramente apresentaram mais espécies com alta especificidade de hábitat do que os outros tipo de ambientes. Essas matas também apresentaram várias espécies com alta fidelidade (Figura 4). Entre as 17 espécies

que foram identificadas nos ambientes urbanos, 13 apresentaram alta fidelidade, e 15 espécies mostraram apenas especificidade baixa ou moderada (Figura 4).

Espécies detectoras

Drosophila hydei e *D. paranaensis* atenderam a condição original para espécies detectoras de matas de galeria não perturbadas para perturbadas. Estas espécies mostraram preferência moderada para cerrados (IndVal entre 50 e 70%), e aumentaram os IndVal nas matas perturbadas, quando comparadas com as não perturbadas (Tabela IV, comparação 1). Quando as matas não perturbadas foram comparadas com as perturbadas, sem considerar os cerrados, estas duas espécies também aumentaram os respectivos IndVals nas matas perturbadas (Tabela VI, comparação 2), estando de acordo com a comparação 1. Da mesma maneira, *D. busckii*, *D. cardini*, *D. mercatorum*, *D. paranaensis*, *D. prosaltans*, *D. simulans*, *Scaptodrosophila latifasciaeformis* e *Zaprionus indianus* mostraram IndVals maiores em ambientes urbanos do que em matas de galeria não perturbadas (Tabela IV, comparação 3). Seis espécies (*D. busckii*, *D. immigrans*, *D. prosaltans*, *D. simulans*, *S. latifasciaeformis* e *Z. indianus*) também mostraram maior IndVal em ambientes urbanos do que nos cerrados (Tabela VI, comparação 4).

Validação em dois estágios

Embora várias espécies tenham sido identificadas como espécies características de matas de galeria não perturbadas e cerrados, apenas cinco foram identificadas e re-identificadas como espécies características pelas duas abordagens (amostra independente e seleção ao acaso) (Tabela V). *Drosophila ornatifrons*, *D. paraguayensis* e *D. willistoni* emergiram como espécies características das matas de galeria e *D. mercatorum* e *Zaprionus indianus* de cerrados. Estas espécies foram então consideradas indicadores

extremamente confiáveis das matas de galeria não perturbadas e dos cerrados, respectivamente.

DISCUSSÃO

Assembléias como Indicadores

A abundância relativa das espécies neotropicais, das exóticas e daquelas relativamente restritas foi considerada boa indicadora da presença de perturbação humana dos habitats do Cerrado em nível de assembléia. Tais resultados evidenciaram que a singularidade das matas não perturbadas, que é dada pela predominância de espécies restritas, é perdida quando estes ambientes são submetidos à perturbação antrópica e, além disso, que tanto as espécies neotropicais quanto as exóticas desempenham um papel importante na invasão das matas perturbadas e ambientes urbanos. Mata & Tidon (*em revisão para publicação*, capítulo 1) demonstraram que as assembléias de drosofilídeos das matas perturbadas tornam-se mais similares às dos cerrados, já que as assembléias dos ambientes abertos contêm espécies capazes de invadir as matas perturbadas.

Botes *et al.* (2006), estudando coleópteros em outro sistema de savana na África do Sul, demonstraram que distúrbios humanos e aqueles causados por elefantes provocaram efeitos nas assembléias de matas não perturbadas. A assembléia associada com as matas perturbadas por elefantes, dentro da área protegida, foi intermediária entre matas não perturbadas e savanas, enquanto que aquela associada ao distúrbio humano, fora da área protegida, foi marcadamente diferente e menos rica do que os demais tipos de habitats.

Tem sido proposto na literatura, que as intensas atividades humanas estão aumentando a similaridade de comunidades originalmente diferentes, através da

substituição das espécies especialistas e restritas por aquelas generalistas e cosmopolitas. Isto provocaria mudanças irreversíveis nos ambientes naturais, como a diminuição da biodiversidade regional e global, além de importantes conseqüências ecológicas e evolutivas (McKinney, 2006; Olden & Rooney, 2006). Os padrões encontrados no presente estudo demonstram um aumento da similaridade taxonômica entre cerrados e ambientes perturbados e sugerem que, em longo prazo, a perpetuação dos atuais distúrbios humanos, que no Cerrado implicaria na substituição dos habitats naturais (incluindo as matas de galeria) por ambientes urbanos e agropastoris, poderá levar a um aumento da similaridade das comunidades originalmente diferentes.

Apesar das matas de galeria ocuparem menos de 10% de toda a extensão do Cerrado, grande parte das espécies demonstra preferência ou é de alguma forma associada a esses ambientes, fato que tem sido mostrado também para plantas (Mendonça *et al.*, 1998), mamíferos (Redford & Fonseca, 1986; Vieira & Palma, 2005), aves (Silva, 1995), borboletas (Brown, 2000) e vespas (Diniz & Kitayama, 1998), entre outros. Isto sugere que as matas de galeria desempenham um papel essencial na manutenção da biodiversidade do bioma, e a perda ou alteração destes habitats poderá causar a diminuição da heterogeneidade e um empobrecimento deste rico ecossistema.

Espécies como Indicadores

A maioria das espécies com especificidade pelas matas de galeria não perturbadas não atingiu o status de indicadoras, porque não atenderam ao componente fidelidade do IndVal (Dufrêne & Legendre, 1997). Embora tais espécies demonstrem preferência por estes habitats, muitas das quais são até mesmo exclusivas deles, elas ocorreram apenas em um ou poucos sítios e em densidades muito baixas, o que significa que será extremamente

difícil e improvável encontrar estas espécies em outros sítios ou investigações (McGeoch & Chown, 1998).

Drosophila paraguayensis, *D. ornatifrons* e *D. willistoni* atenderam à condição para espécies características no processo de identificação e validação, sendo consideradas indicadores extremamente confiáveis das matas de galeria não perturbadas. As três são espécies neotropicais e pertencem a grupos de espécies que provavelmente evoluíram na América do Sul, mais especificamente em ambientes de mata (Val *et al.*, 1981). *Drosophila ornatifrons* e *D. paraguayensis* são amplamente distribuídas e muito abundantes na Mata Atlântica (Vilela, 1992). Apesar de ocorrerem também no Cerrado, estas espécies são relativamente raras e demonstram grande preferência pelas matas de galeria (Tidon *et al.*, 2005). *Drosophila willistoni* é uma espécie amplamente distribuída na América do Sul (Sene *et al.*, 1980; Val *et al.*, 1981), dominante em matas, sendo também encontrada em baixas densidades em ambientes abertos (Tidon *et al.*, 2005). Saavedra *et al.* (1995) já haviam sugerido *D. willistoni* como um indicador de ambientes conservados na Mata Atlântica.

Drosophila cardinoides e *D. melanogaster* foram consideradas indicadores de ambientes urbanos. Embora *D. cardinoides* pertença a um grupo de espécies considerado ecologicamente versátil, de origem neotropical e amplamente distribuído nas Américas (Heed & Russell, 1971), esta é uma espécie pouco abundante e relativamente restrita, quando comparada com as outras espécies do grupo, e, ainda, menos adaptada a ambientes áridos do que a espécie mais aparentada, *D. cardini* (Vilela *et al.*, 2002). *Drosophila melanogaster* é provavelmente originária do sudeste asiático, foi introduzida em várias regiões do mundo por ser associada ao homem e atualmente apresenta distribuição cosmopolita. No Brasil, entretanto, esta espécie é rara e foi coletada apenas em ambientes

abertos (Sene *et al.*, 1980) e nas proximidades de ambientes domésticos, sendo sugerida como indicadora destes ambientes (Tidon-Sklorz & Sene, 1999; Tidon *et al.*, 2005).

No presente trabalho, com exceção de *D. willistoni*, as demais quatro espécies que foram identificadas como características eficientes apresentam baixos IndVals nos primeiros agrupamentos e maiores no último, o que, de acordo com Dufrêne & Legendre (1997), sugere que as mesmas apresentam distribuições mais restritas considerando a área de estudo.

Drosophila mercatorum e *Z. indianus* foram apontadas como características de cerrados e, ao mesmo tempo, como espécies que refletem alterações nas condições do hábitat onde ocorre (espécies detectoras). As espécies mencionadas refletiram as mudanças de um estado não perturbado das matas de galeria, para o estado perturbado e ambientes urbanos. *Drosophila mercatorum* é uma espécie neotropical, amplamente distribuída na América e com provável origem na América do Sul (Val *et al.*, 1981). Ocorre em todos os tipos de ambiente do Cerrado, mas com preferência pelos ambientes abertos (Vilela *et al.*, 1983; Tidon *et al.*, 2005). *Zaprionus indianus*, espécie africana, é generalista e se adapta facilmente a diversos tipos de ambientes (Parkash & Yadav, 1993). Ela invadiu a América do Sul recentemente (Vilela *et al.*, 1999) e, desde então, se disseminou rapidamente, sendo encontrada praticamente em todo território nacional. No Cerrado, esta espécie se tornou amplamente distribuída, dominante nos ambientes abertos, apresentando baixas densidades apenas nas matas de galeria e outras formações florestais (Tidon *et al.*, 2003; Tidon *et al.*, 2005).

No geral, as dez espécies apontadas como detectoras de alteração no estado do hábitat corresponderam àquelas com ampla distribuição na região Neotropical. *Drosophila hydei* e *D. paranaensis* atenderam a condição original para espécies detectoras (McGeoch

et al., 2002), uma vez que apresentaram preferência moderada para os cerrados, muito baixa para as matas de galeria não perturbadas, aumentaram os respectivos IndVals nas perturbadas. Ambas as espécies são neotropicais, amplamente distribuídas na região, embora não muito abundantes. *Drosophila hydei* tem origem na região de transição entre as regiões Neotropical e a Neártica e tem distribuição cosmopolita (Vilela *et al.*, 1983).

As demais oito espécies detectoras atenderam a condição proposta no presente trabalho, já que aumentaram a preferência por ambientes perturbados quando comparada às matas não perturbadas. *Drosophila busckii*, *D. immigrans* e *Scaptodrosophila latifasciaeiformis* são espécies exóticas e cosmopolitas (Sene *et al.*, 1980; Val *et al.*, 1981; Toda, 1986). No Cerrado, têm sido encontradas em vários tipos de ambientes, inclusive em associação com o homem (Tidon *et al.*, 2005). *Drosophila simulans*, *D. cardini*, *D. sturtevantii*, *D. mercatorum* e *Z. indianus* foram classificadas aqui como amplamente distribuídas porque ocorreram nos 19 sítios de coleta. Além disso, tais espécies também apresentaram IndVals altos no primeiro agrupamento, que, de acordo com Dufrene & Legendre (1997), sugere uma distribuição mais ampla considerando a área de estudo desse trabalho. *Drosophila simulans*, assim como *Z. indianus*, é exótica e cosmopolita, enquanto as outras três espécies são de origem neotropical. Tais espécies apresentam maior frequência de distribuição e densidade em ambientes abertos ou secos, como o Cerrado e Caatinga, sendo consideradas espécies adaptadas às condições áridas (Sene *et al.*, 1980; Vilela *et al.*, 1983; Tidon *et al.*, 2003; Tidon *et al.*, 2005).

IndVal e validação em dois estágios

O presente estudo concorda com McGeoch & Chown (1998), quando estes autores afirmam que o uso do IndVal representa uma importante contribuição para o

desenvolvimento da pesquisa com bioindicação. Além de todas as vantagens discutidas previamente pelos autores, este método também forneceu uma informação essencial sobre as preferências das espécies de drosofilídeos, subdividindo as mesmas em assembléias diferentes, típicas do tipo de hábitat e presença de distúrbio. A sensibilidade do método na classificação das assembléias em face da grande heterogeneidade dos ambientes do Cerrado foi muito útil. A descrição de como as assembléias são organizadas, e em qual escala elas refletem a heterogeneidade ambiental, é um passo fundamental para entender os mecanismos envolvidos na regulação das mesmas, e, conseqüentemente, este método pode ser considerado uma ferramenta muito útil para o diagnóstico ambiental (Dufrene & Legendre, 1997). Além disso o IndVal identificou espécies características e detectoras, fornecendo informações complementares, com conteúdo e confiabilidade maiores do que se cada informação fosse produzida e analisada isoladamente (McGeoch *et al.*, 2002).

É importante ressaltar que o método IndVal considera a identidade de cada espécie e, portanto, produz resultados qualitativos ao invés dos resultados quantitativos produzidos por outros índices de diversidade. Por exemplo, Uehara-Prado *et al.* (2007) compararam guildas de espécies frugívoras entre áreas contínuas e fragmentadas de Mata Atlântica e não encontraram efeitos da fragmentação na riqueza das guildas. Entretanto, quando consideraram as abundâncias das espécies individualmente, eles notaram que algumas espécies muito abundantes nas áreas contínuas eram muito raras nos fragmentos e vice-versa. Embora este estudo não tenha usado o método IndVal, ele ilustra a importância de uma abordagem baseada na análise qualitativa dos dados para estudos voltados para a conservação.

A combinação do IndVal com o protocolo da validação em dois estágios realizada neste estudo encontrou um conjunto de espécies que representam indicadores robustos. Várias delas foram apontadas como características de um hábitat particular em cada

estágio, mas apenas as espécies selecionadas em ambos os estágios e nas duas abordagens foram reconhecidas como indicadores confiáveis. McGeoch *et al.* (2002) também encontraram que espécies com IndVal altos e significantes se mantiveram quando testados em diferentes localidades e períodos. Este método permitiu o refinamento de investigações em bioindicação bem como o aumento no grau de confiabilidade no qual o conjunto final de espécies possa ser considerado indicador. O protocolo de validação em dois estágios também é considerado indispensável para todos os estudos que focalizem a identificação de bioindicadores. Entretanto, o presente estudo permitiu apenas a validação das espécies características das matas e galeria e dos cerrados não perturbados. É extremamente recomendado que estudos futuros validem os demais resultados, tais como as espécies características dos ambientes urbanos e o conjunto de espécies detectoras.

Embora o conhecimento acerca das preferências de habitats das espécies em escala local é de fundamental importância para explicar os detalhes de como as assembléias são estruturadas, a determinação das características relacionadas às distribuições geográficas das espécies nas escalas amplas (levando em conta os microhabitats) pode melhorar tal explicação. Isto pode também aprimorar o entendimento dos padrões encontrados para espécies características e detectoras, e conseqüentemente, refinar o sistema bioindicador. Embora o método IndVal não seja o mais apropriado para examinar a distribuição geográfica das espécies, a observação desses valores indicadores ao longo da matriz de agrupamento hierárquico, aliada às informações disponíveis na literatura, permite a elaboração de algumas hipóteses interessantes. Pode ser proposto, por exemplo, que as espécies detectoras seriam aquelas com distribuição mais ampla, de centro, considerando a área de estudo e, portanto, com maior probabilidade de se espalhar em habitats em processo de modificação, enquanto as espécies características seriam aquelas com distribuição mais restrita, agregada ou periférica. Este trabalho recomenda que estas

hipóteses sejam testadas mediante a utilização de métodos mais apropriados em estudos futuros.

Drosofilídeos como indicadores de distúrbio humano e de mudanças nos habitats do Cerrado

McGeoch (1998) propôs um protocolo composto por uma série de passos para estudos visando o desenvolvimento de bioindicadores. Este protocolo corresponde a um processo que, para ser completado, exige acúmulo de dados acerca do possível grupo indicador, o qual geralmente demanda alguns anos de pesquisa. A seguir, serão discutidos alguns dos passos, fazendo referência ao que já existe para as espécies da família Drosophilidae. A definição clara dos objetivos e da escala (temporal e espacial) do estudo, além da escolha de um táxon que atenda a critérios de seleção para organismos bioindicadores, são os primeiros passos deste protocolo. Nos últimos 20 anos, foram estabelecidos na literatura diversos critérios para a seleção de indicadores ambientais (Landres *et al.*, 1988; Noss, 1990; McGeoch, 1998; Caro & O'Doherty, 1999; Hilty & Merelender, 2000; Dale & Beyeler, 2001; Niemi & McDonald, 2004). Alguns destes critérios podem ser mencionados, tais como custo baixo, amostragem e identificação relativamente fáceis em comparação com os vários grupos de insetos, taxonomia e ecologia bem conhecidas, dados biológicos básicos disponíveis e capacidade preditiva. Além disso, se o indicador for um táxon, este deve incluir tanto especialistas de habitat como espécies que sejam sensíveis ao estresse e distúrbio humano. Finalmente, o bioindicador deve fornecer sinais antecipatórios.

De uma maneira geral, drosofilídeos preenchem vários desses critérios. Devido ao fato destes organismos serem excelentes organismos para a pesquisa ecológica (eles são

pequenos, numerosos, fáceis e rápidos de serem coletados e manipulados no laboratório e ainda, o custo da pesquisa envolvendo os mesmos é barata), eles têm sido amplamente estudados, e conseqüentemente, existe informação de base confiável e disponível (Bächli, 2006; Grumbling & Strelets, 2006). Esta família compreende espécies especialistas e generalistas, bem como espécies com distribuição restrita ou amplamente distribuídas pelo mundo (Powell, 1997). Drosofilídeos são também estreitamente associados às variáveis ambientais, sendo extremamente sensíveis a mudanças nas condições dos habitats onde se encontram (Karan *et al.*, 1998; Jenkins & Hoffmann, 2001; Van Klinken & Walter, 2001; Avondet *et al.*, 2003; Hoffmann *et al.*, 2003). Esta característica, adicionada ao ciclo de vida curto, permite que estes organismos forneçam sinais antecipatórios, bem como possam ser usados no monitoramento de modificações das condições dos habitats.

Além de atender aos critérios de seleção, outro passo recomendado para o desenvolvimento de indicadores é disponibilidade de dados biológicos e ecológicos do possível grupo no ambiente onde o mesmo será aplicado (McGeoch, 1998). Alguns estudos existentes para o bioma corroboram o grande potencial indicador das assembléias de drosofilídeos no bioma Cerrado. Já foi demonstrado, por exemplo, que, embora a família seja distribuída em praticamente todas as diferentes formações vegetais do bioma e nas diferentes estações do ano, as assembléias de espécies variam substancialmente em abundância, riqueza e composição no espaço (de acordo com as diferentes fitofisionomias) e no tempo (nas diversas estações do ano) (Tidon, 2006); ao longo de um gradiente urbano (Ferreira & Tidon, 2005); e ainda reflete os efeitos de distúrbios antrópicos (Mata & Tidon, *em revisão para publicação*, capítulo 1).

O teste do táxon indicador potencial, particularmente usando um método eficiente, em diferentes áreas e períodos, e considerando o efeito de distúrbio, é também um passo fundamental para o desenvolvimento de bioindicadores. O presente trabalho testou o

potencial indicador das assembléias de drosofilídeos no bioma Cerrado, associando os conjuntos de dados previamente existentes em diferentes áreas, tipos de habitats e períodos, através do método Valor Indicador (Dufrêne & Legendre, 1997). Foi encontrado um conjunto de indicadores em nível de assembléia (i.e. abundância relativa das espécies neotropicais, exóticas, amplamente distribuídas e restritas) e em nível de espécie (características e detectoras), os quais juntos podem ser muito eficientes para refletir uma variedade de condições ecológicas. O uso de um conjunto de variáveis indicadoras que sejam complementares, ao invés de uma única espécie indicadora é considerado crítico e indispensável em estudos de bioindicação. Esta abordagem pode minimizar dependência de um táxon individual e melhorar a confiança do sistema, uma vez que as conclusões serão baseadas em uma maior variedade de respostas (Hilty & Merelender, 2000). Em adição, este trabalho também verificou um protocolo recentemente sugerido na literatura (e conseqüentemente pouco testado), concluindo que este, aliado ao método IndVal, representa uma excelente ferramenta para o desenvolvimento de bioindicadores. Considerando que o IndVal, bem como o protocolo sugerido por McGeoch (1998) e McGeoch *et al.* (2002) tenham sido relativamente pouco testados na literatura, este trabalho apresenta um acréscimo importante considerando o processo metodológico para o desenvolvimento de bioindicadores.

Ainda de acordo com McGeoch (1998), caso o grupo bioindicador seja comprovado pelo protocolo, recomendações de conservação devem ser propostas. Embora a conservação das matas de galeria seja garantida por lei mesmo em propriedades particulares, é sabido que estas são freqüentemente convertidas em ambientes urbanos e sistemas agropastoris. A manutenção das matas de galeria é vital para a manutenção da diversidade do Cerrado (Oliveira & Marquis, 2002) e a alteração irreversível na estrutura das mesmas causadas pelo distúrbio humano provocou alterações nas assembléias de

drosofilídeos e, provavelmente, provoca também em outros organismos que estão associados a estes ambientes. Desta maneira, este trabalho, assim como trabalhos anteriores (por exemplo, Redford & Fonseca, 1998), recomenda que a integridade destes habitats seja mantida.

De acordo com a Convenção para a diversidade biológica (CBD), para atingir os desafios e metas para reduzir a perda da diversidade biológica até 2010 será necessário estabelecer bioindicadores que sejam rigorosos, repetíveis, amplamente aceitos e facilmente entendidos. Isto é especialmente recomendado para as áreas ricas e ameaçadas e, conseqüentemente, que tenham um alto valor de conservação (Balmford *et al.*, 2005), como é o caso do bioma Cerrado. O sistema bioindicador proposto aqui, constituído por um conjunto de variáveis indicadoras em nível de assembléia e espécie, representa uma nova possibilidade para complementar os ainda poucos táxons indicadores usados no bioma, geralmente plantas e vertebrados, que, sozinhos, fornecem apenas uma visão limitada do ambiente. Desta maneira, recomenda-se também que este sistema bioindicador seja usado para refletir o efeito do distúrbio humano no princípio (ainda em tempo hábil para que medidas de mitigação possam ser desenvolvidas para o ambiente em geral), na avaliação dos programas de recuperação e monitoramento, e para refinar a seleção, planejamento e o manejo de áreas de reservas. Em adição, o estudo das assembléias naturais de drosofilídeos pode contribuir para a elucidação de mecanismos pelos quais as atividades humanas afetam a diversidade biológica, auxiliando na realização de projeções sobre o que pode acontecer no futuro. Estudos que pretendam testar este sistema bioindicador e validar alguns dos resultados encontrados aqui através da inclusão de outros tipos de habitats, usando metodologia padronizada, amostras independentes (no tempo e no espaço), bem como medir variáveis ambientais, serão essenciais para aprimorar continuamente a confiabilidade e robustez do mesmo.

REFERÊNCIAS

- Andersen, A.N. (2004) Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australia rangelands, with particular reference to ants. *Austral Ecology*, **29**, 87-92.
- Avondet, J.L., Blair, R.B., Berg, D.J. & Ebbert, M.A. (2003) *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) response to changes in ecological parameters across an urban gradient. *Environmental Entomology*, **32**, 347-358.
- Bächli, G. (2006) *TaxoDros: The database on taxonomy of Drosophilidae* consultado dezembro 2006 (<http://taxodros.unizh.ch/>).
- Balmford, A., Bennun, L., ten Brink, B., Cooper, D., Cote, I.M., Crane, P., Dobson, A., Dudley, N., Dutton, I., Green, R.E., Gregory, R.D., Harrison, J., Kennedy, E.T., Kremen, C., Leader-Williams, N., Lovejoy, T.E., Mace, G., May, R., Mayaux, P., Morling, P., Phillips, J., Redford, K., Ricketts, T.H., Rodriguez, J.P., Sanjayan, M., Schei, P.J., van Jaarsveld, A.S. & Walther, B.A. (2005) The convention on biological diversity's 2010 target. *Science*, **307**, 212-213.
- Belo, M. & Oliveira-Filho, J.J. (1976) Espécies domésticas de *Drosophila*. V: Influências de fatores ambientais no número de indivíduos capturados. *Revista Brasileira de Biologia*, **36**, 903-909.
- Botes, A., McGeoch, M.A. & Van Rensburg, B.J. (2006) Elephant- and human-induced changes to dung beetle (Coleoptera : Scarabaeidae) assemblages in the Maputaland Centre of Endemism. *Biological Conservation*, **130**, 573-583.
- Brown, K.S. (1991). Conservation of Neotropical environments: insects as indicators. In *The conservation of insects and their habitats* (eds N.M. Collins & J.A. Thomas), Vol. Royal Entomological Society Symposium XV, pp. 349-404. Academic Press, London.
- Brown, K.S. (1997) Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*, **1**, 25-42.
- Brown, K.S. (2000). Insetos indicadores da história, composição, diversidade e integridade de Matas Ciliares. In *Matas Ciliares: conservação e recuperação* (eds R.R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho), pp. 223-232. EDUSP, São Paulo.
- Caro, T.M. & O'Doherty, G. (1999) On the use of surrogate species in conservation biology. *Conservation Biology*, **13**, 805-814.
- Collett, D. (1991) *Modelling Binary Data* Chapman & Hall, London, UK.
- Dale, V.H. & Beyeler, S.C. (2001) Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, **1**, 1-9.
- Diniz, I.R. & Kitayama, K. (1998) Seasonality of vespidae species (Hymenoptera : Vespidae) in a central Brazilian cerrado. *Revista de Biologia Tropical*, **46**, 109-114.
- Dobson, A. (2005) Monitoring global rates of biodiversity change: challenges that arise in meeting the convention on Biological Diversity (CBD) 2010 goals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, **360**, 229-241.
- Dufrêne, M. & Legendre, P. (1997) Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, **67**, 345-366.

- Eiten, G. (1972) Cerrado Vegetation of Brazil. *Botanical Review*, **38**, 201-341.
- Ferreira, L. & Tidon, R. (2005) Colonizing potential of Drosophilidae (Insecta, Diptera) in environments with different grades of urbanization. *Biodiversity and Conservation*, **14**, 1809-1821.
- Freire-Maia, A. & Pavan, C. (1949) Introdução ao estudo da drosófila. *Cultus*, **1**, 3-66.
- Frota-Pessoa, O. (1954) Revision of the *tripunctata* group of *Drosophila* with description of fifteen new species (Drosophilidae, Diptera). *Arquivos do Museu Paranaense*, **10**, 253-304.
- Goñi, B., Martinez, M.E. & Daguer, P. (1997) Studies of two *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae) communities from urban Montevideo, Uruguay. *Revista Brasileira de Entomologia*, **41**, 89-93.
- Grumbling, G. & Strelets, V. (2006) *FlyBase: anatomical data, images and queries*. *Nucleic Acids Research* consultado dezembro 2006 (<http://flybase.org/34>).
- Heed, W.B. & Russel, J.S. (1971) Phylogeny and population structure in island and continental species of the *cardini* group of *Drosophila* studied by inversion analysis. *University of Texas Publication*, **6**, 91-130.
- Hilty, J. & Merenlender, A. (2000) Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*, **92**, 185-197.
- Hoffmann, A.A., Hallas, R.J., Dean, J.A. & Schiffer, M. (2003) Low potential for climatic stress adaptation in a rainforest *Drosophila* species. *Science*, **301**, 100-102.
- Jenkins, N.L. & Hoffmann, A.A. (2001) Variation in morphological traits and trait asymmetry in field *Drosophila serrata* from marginal populations. *Journal of Evolutionary Biology*, **13**, 113-130.
- Karan, D., Dahiya, N., Munjal, A., Gibert, P., Moreteau, B., Parkash, R. & David, J.R. (1998) Desiccation and starvation tolerance of adult *Drosophila*: opposite latitudinal clines in natural populations of three different species. *Evolution*, **52**, 825-831.
- Klink, C.A. & Machado, R.B. (2005) Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, **19**, 707-713.
- Kremen, C., Colwell, R.K., Erwin, T.L., Murphy, D.D., Noss, R.F. & Sanjayan, M.A. (1993) Terrestrial arthropod assemblages - their use in conservation planning. *Conservation Biology*, **7**, 796-808.
- Landres, P.B., Verner, J. & Thomas, J.W. (1988) Ecological uses of vertebrate indicator species - a critique. *Conservation Biology*, **2**, 316-328.
- Marris, E. (2005) The forgotten ecosystem. *Nature*, **437**, 944-945.
- Mata, R.A. & Tidon, R. (*manuscrito em revisão pelo editor*) Drosophilid assemblages in undisturbed and disturbed habitats of Cerrado. *Austral Ecology*.
- McCoy, C.E. (1962) Population ecology of common species of *Drosophila* in Indiana. *Journal of Economic Entomology*, **55**, 978-985.
- McCullagh, P. & Nelder, J.A. (1989) *Generalized Linear Models* Chapman & Hall, London, UK.
- McGeoch, M.A. (1998) The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, **73**, 181-201.

- McGeoch, M.A. (2007). Insects and bioindication: theory and progress. In *Insect Conservation Biology* (eds A.J.A. Stewart, O.T. Lewis & T.R. New). CABI Publishing, London **no prelo**
- McGeoch, M.A. & Chown, S.L. (1998) Scaling up the value of bioindicators. *Trends in Ecology & Evolution*, **13**, 46-47.
- McGeoch, M.A., Van Rensburg, B.J. & Botes, A. (2002) The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, **39**, 661-672.
- McKinney, M.L. (2006) Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, **127**, 247-260.
- Mendonça, R.C., Felfili, J.M., Walter, B.M.T., Silva Júnior, M.C., Rezende, A.V., Filgueiras, T.S. & Nogueira, P.E. (1998). Flora vascular do cerrado. In *Cerrado: Ambiente e Flora* (eds S.M. Sano & A.M. Almeida), pp. 288-556. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Planaltina.
- Myers, N., Mittermeyer, R.A., Mittermeyer, C.G., Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000) Biodiversity spots for conservation priorities. *Nature*, **403**, 853-858.
- Nações Unidas (2002). Report of the World Summit on Sustainable Development. A/CONF.199/20, Johannesburg.
- Niemi, G.J. & McDonald, M.E. (2004) Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, **35**, 89-111.
- Noss, R.F. (1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, **4**, 355-364.
- Olden, J.D. & Rooney, T.P. (2006) On defining and quantifying biotic homogenization. *Global Ecology and Biogeography*, **15**, 113-120.
- Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (2002) *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna* Columbia University Press, New York.
- Parkash, R. & Yadav, J.P. (1993) Geographical clinal variation at 7 esterase-coding loci in Indian populations of *Zaprionus indianus*. *Hereditas*, **119**, 161-170.
- Parsons, P.A. (1982) Evolutionary ecology of Australian *Drosophila* - a species analysis. *Evolutionary Biology*, **14**, 297-350.
- Parsons, P.A. (1991) Biodiversity conservation under global climatic-change - the insect *Drosophila* as a biological indicator. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **1**, 77-83.
- Parsons, P.A. (1995) Evolutionary Response to Drought Stress - Conservation Implications. *Biological Conservation*, **74**, 21-27. Pivello, V.R. & Coutinho, L.M. (1996) A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. *Forest Ecology and Management*, **87**, 127-138.
- Pivello, V.R. & Coutinho, L.M. (1996) A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. *Forest Ecology and Management*, **87**, 127-138.
- Powell, J.R. (1997) *Progress and Prospects in Evolutionary Biology: the Drosophila Model* Oxford University Press, New York.

- Quinn, G.P. & Keough, M.J. (2002) *Experimental Design and Data Analysis for Biologists* Cambridge University Press, Cambridge.
- Ratter, J.A., Ribeiro, J.F. & Bridgewater, S. (1997) The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany*, **80**, 223-230.
- Redford, K.H. & Fonseca, G.A.B. (1986) The role of gallery forest in the zoogeography of the cerrado's non-volant mammalian fauna. *Biotropica*, **18**, 126-135.
- Ribeiro, J.F. & Walter, G.H. (1998). Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In *Cerrado Ambiente Flora* (eds S.M. Sano & S.P. Almeida), pp. 89-166. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Planaltina, DF.
- Saavedra, C.C.R., Callegari-Jacques, S.M., Napp, M. & Valente, V.L.S. (1995) A descriptive and analytical study of 4 neotropical drosophilid communities. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, **33**, 62-74.
- Samways, M.J. (2005) *Insect Diversity Conservation* Cambridge University Press, Cambridge.
- Sene, F.M., Val, F.C., Vilela, C.R. & Pereira, M.A.Q.R. (1980) Preliminary data on the geographical distribution of *Drosophila* species within morpho-climatic domains of Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, **33**, 315-326.
- Shorrocks, B. (1977) Ecological Classification of European *Drosophila* Species. *Oecologia*, **26**, 335-345.
- Silva, J.F., Farinas, M.R., Felfili, J.M. & Klink, C.A. (2006) Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*, **33**, 536-548.
- Silva, J.M.C. (1995) Birds of the Cerrado Region, South America. *Steenstrupia*, **21**, 69-92.
- Tidon, R. (2006) Relationships between drosophilids (Diptera, Drosophilidae) and the environment in two contrasting tropical vegetations. *Biological Journal of the Linnean Society*, **87**, 233-248.
- Tidon, R., Leite, D.F., Ferreira, L. & Leão, B.D. (2005). Drosofilídeos (Diptera, Drosophilidae) do Cerrado. In *Ecologia e Biodiversidade do Cerrado* (eds A. Scariot, J. Felfili & J.C.S.E. Silva). Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.
- Tidon, R., Leite, D.F. & Leão, B.F.D. (2003) Impact of the colonization of *Zaprionus* (Diptera, Drosophilidae) in different ecosystems of the Neotropical Region: 2 years after the invasion. *Biological Conservation*, **112**, 299-305.
- Tidon-Sklorz, R. & Sene, F.M. (1999). *Drosophila*. In *Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX* (eds R.F. Brandão & E.M. Cancellato), Vol. 5 Invertebrados Terraestres. FAPESP, São Paulo.
- Toda, M.J. (1986) Drosophilidae (Diptera) in Burma.I. The sub-genus *Dorsilopha* Sturtevant of the genus *Drosophila*, with descriptions of two new species. *Kontyu*, **54**, 282-290.
- Uehara-Prado, M., Brown, K.B. & Freitas, A.V.L. (2007) Species richness, composition and abundance of fruit-feeding butterflies in Brazilian Atlantic Forest: comparison between a fragmented and a continuous landscape. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **16**, 43-54.
- Val, F.C. (1982) The male genitalia of some Neotropical *Drosophila*: Notes and illustrations. *Papéis Avulsos de Zoologia*, **34**, 309-347.

- Val, F.C., Vilela, C.R. & Marques, M.D. (1981). Drosophilidae of the Neotropical region. In *Genetics and Biology of Drosophila* (eds M. Ashburner, H.L. Carson & J.N. Thompson Jr), Vol. 3a, pp. 123-168. Academic Press, New York.
- Vieira, E.M. & Palma, R.T. (2005). Pequenos mamíferos de Cerrado: distribuição dos gêneros e estrutura das comunidades nos diferentes habitats. In *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação* (eds A. Scariot, J.C. Souza-Silva & J. Felfili). Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.
- Valente, V.L.S., Ruzszyk, A., dos Santos, R.A., Bonorino, C.B.C., Brum, B.E.P., Regner, L. & Morales, N.B. (1989) Genetic and ecological studies on urban and marginal populations of *Drosophila* in the south of Brazil. *Evolucion Biologica*, **3**, 19-35.
- Van Klinken, R.D. & Walter, G.H. (2001) Subtropical drosophilids in Australia can be characterized by adult distribution across vegetation type and by height above forest floor. *Journal of Tropical Ecology*, **17**, 705-718.
- Van Rensburg, B.J., McGeoch, M.A., Chown, S.L. & Van Jaarsveld, A.S. (1999) Conservation of heterogeneity among dung beetles in the Maputaland Centre of Endemism, South Africa. *Biological Conservation*, **88**, 145-153.
- Vilela, C.R. (1983) A revision of the *Drosophila repleta* species group. (Diptera, Drosophilidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, **27**, 1-114.
- Vilela, C.R. (1992) On the *Drosophila tripunctata* species group (Diptera, Drosophilidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, **36**, 197-221.
- Vilela, C.R. & Bächli, G. (1990) Taxonomic studies on Neotropical species of seven genera of Drosophilidae (Diptera). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, **63**, 1-332.
- Vilela, C.R., Pereira, M.A.Q.R., & Sene, F.M. (1983) Preliminary data on geographical distribution of *Drosophila* species within morpho-climatic domains in Brazil. II. *The repleta* group, **35**, 66-70.
- Vilela, C.R., Silva, A.F.G. & Sene, F.M. (2002) Preliminary data on geographical distribution of *Drosophila* species within morpho-climatic domains of Brazil III: The *cardini* group. *Revista Brasileira de Entomologia*, **46**, 139-148.
- Vilela, C.R., Teixeira, E.P., & Stein, C.P. (1999) Nova praga nos figos: *Zaprionus indianus* Gupta, 1970. *Infomativo da Sociedade Entomologica do Brasil, Piracicaba*, **24**.
- Wheeler, M.R. (1981). The Drosophilidae: A taxonomic overview. In *Genetics and Biology of Drosophila* (eds M. Ashburner, H.L. Carson & J.N. Thompson Jr), Vol. 3a, pp. 1-97. Academic Press, New York.
- Wheeler, M.R. (1986). Additions to the catalog of the world's Drosophilidae. In *Genetics and Biology of Drosophila* (eds M. Ashburner, H.L. Carson & J.N. Thompson Jr), Vol. 3e, pp. 395-409. Academic Press, New York.

Tabela I - Caracterização das áreas e sítios amostrais

Área	Período de amostragem	Tipo de habitats	Número de amostras	Número de armadilhas	Esforço amostral mensal	Localização	Fonte
Parque Nacional de Brasília (PNBB)	07/1999 a 06/2000	cerrado não perturbado mata de galeria não perturbada	1	10	10	15° 40' S; 47° 54' W	Tidon, 2006
	I. 07/1999 a 06/2001	cerrado não perturbado mata de galeria não perturbada	1	10	10	15° 56' S; 47° 53' W	Tidon, 2006
Reserva Ecológica do IBGE (RECOR)	II. 04/2001 a 05/2002	cerrado não perturbado	6	1	6	15° 56' S; 47° 53' W	Mata & Tidon (<i>em revisão para publicação, capítulo 1</i>)
		mata de galeria não perturbada	3	1	3		
		mata de galeria perturbada	3	1	3		
Cidade de Brasília (BsB)	09/2000 a 08/2001	ambiente urbano	3	15	45	15° 47' S; 47° 57' W	Ferreira & Tidon, 2005

Tabela II – Valor da estatística produzida pelo Modelo Linear Generalizado (*Wald statistics*) para as quatro variáveis de assembléia, indicando quais delas mostraram diferenças significativas entre os tipos de habitats. * $p < 0,01$; ** $p < 0,001$

Variáveis	neotropicais	exóticas	restritas	amplamente distribuídas
Abundância	8,16*	4,46	10,57*	4,50

Tabela III – Valor Indicador (IndVal %), mostrando a preferência das espécies de drosofilídeos pelos diferentes tipos de habitats. * $p < 0,05$

Espécies	IndVal (%)	Espécies	IndVal (%)
mata de galeria		mata de galeria perturbada	
<i>D. paraguayensis</i>	100*	<i>D. fuscolineata</i>	38
<i>D. willistoni</i>	96*		
<i>D. ornatifrons</i>	88*	cerrado	
<i>D. maculifrons</i>	77*	<i>D. nigricruria</i>	73*
<i>D. mediopunctata</i>	71*	<i>D. hydei</i>	57
<i>D. malerkotliana</i>	69	<i>D. mercatorum</i>	47
<i>D. immigrans</i>	67	<i>D. nebulosa</i>	40
<i>D. mediotriata</i>	61*	<i>D. cardini</i>	33
<i>D. shildi</i>	54*	<i>D. fumipennis</i>	13
<i>D. guaru</i>	45	<i>D. medioimpressa</i>	13
<i>D. sturtevanti</i>	43	<i>D. mesostigma</i>	13
<i>D. ararama</i>	40		
<i>D. atrata</i>	40	ambiente urbano	
<i>D. bandeirantium</i>	40	<i>D. melanogaster</i>	100*
<i>D. polymorpha</i>	40	<i>D. cardinoides</i>	87*
<i>D. neocardini</i>	33	<i>D. simulans</i>	67*
<i>D. bocainensis</i>	30	<i>Z. indianus</i>	56
<i>D. austrosaltans</i>	29	<i>D. prosaltans</i>	53*
<i>D. arauna</i>	20	<i>S. latifasciaeformis</i>	53
<i>D. neoguaramuru</i>	20	<i>D. busckii</i>	49
<i>D. onça</i>	20	<i>D. paranaensis</i>	11
<i>D. paramediotriata</i>	20		
<i>D. pallidipennis</i>	17		
<i>D. aragua</i>	16		

Tabela IV – Valor indicador (IndVal %) para as espécies de drosofilídeos que atenderam ao critério para espécies detectoras em cada comparação; **1)** mata de galeria não perturbada x mata de galeria perturbada x cerrado sentido restrito; **2)** mata de galeria não perturbada x mata de galeria perturbada; **3)** mata de galeria não perturbada x ambiente urbano; **4)** cerrados x ambiente urbano.

Espécies	Comparação		IndVal (%)	
	1	Mg	mgp	ce
<i>D. hydei</i>		2	20	61
<i>D. paranaensis</i>		6	11	19
	2	Mg	mgp	
<i>D. paranaensis</i>		13	24	
<i>D. hydei</i>		4	52	
	3	Mg	ur	
<i>D. busckii</i>		9	79	
<i>D. cardini</i>		48	52	
<i>D. mercatorum</i>		23	77	
<i>D. paranaensis</i>		8	21	
<i>D. prosaltans</i>		22	73	
<i>D. simulans</i>		25	75	
<i>S. latifasciaeformis</i>		7	83	
<i>Z. indianus</i>		2	98	
	4	Ce	ur	
<i>D. busckii</i>		33	57	
<i>D. immigrans</i>		4	88	
<i>D. prosaltans</i>		13	83	
<i>D. simulans</i>		11	89	
<i>S. latifasciaeformis</i>		30	59	
<i>Z. indianus</i>		43	57	

Tabela V – Espécies apontadas como características das matas de galeria e dos cerrados não perturbados no processo em dois estágios. As espécies características consideradas mais robustas foram as indicadas tanto na identificação como na validação, em ambas as abordagens - amostra independente e seleção ao acaso. * $p < 0,05$

Abordagem	Conjunto de dados	Tipo de hábitat	
Amostra independente	PNB+ RECOR I (identificação)	mata de galeria (n=3)	cerrado (n=4)
		<i>D. bocaneinensis</i> <i>D. fuscolineata</i> <i>D. guaru</i> <i>D. maculifrons</i>	<i>D. busckii</i> <i>D. nebulosa</i> <i>S. latifasciaeformis</i>
	RECOR II (validação)	<i>D. mediostriata</i> <i>D. prosaltans</i>	<i>D. cardini</i> * <i>D. nigricruria</i> * <i>D. polymorpha</i> * <i>D. simulans</i>
	RECOR I/ NP e RECOR II	<i>D. immigrans</i> * <i>D. ornatifrons</i> * <i>D. paraguayensis</i> * <i>D. willistoni</i> *	<i>D. hydei</i> * <i>D. mercatorum</i> * <i>Z. indianus</i> *
Seleção ao acaso	seleção I (identificação)	mata de galeria (n=3)	cerrado (n=3)
		<i>D. immigrans</i> <i>D. maculifrons</i> <i>D. malerkotliana</i> <i>D. mediopunctata</i> * <i>D. mediostriata</i> <i>D. polymorpha</i> <i>D. shildi</i> * <i>D. simulans</i> <i>D. sturtevantii</i>	
	seleção II (validação)	<i>D. prosaltans</i>	<i>D. busckii</i> <i>D. cardini</i> <i>D. hydei</i> <i>D. malerkotliana</i> <i>D. nebulosa</i> <i>D. nigricruria</i> <i>D. simulans</i> <i>D. sturtevantii</i> <i>S. latifasciaeformis</i>
	seleção I e seleção II	<i>D. ornatifrons</i> <i>D. paraguayensis</i> * <i>D. willistoni</i>	<i>D. mercatorum</i> <i>Z. indianus</i>

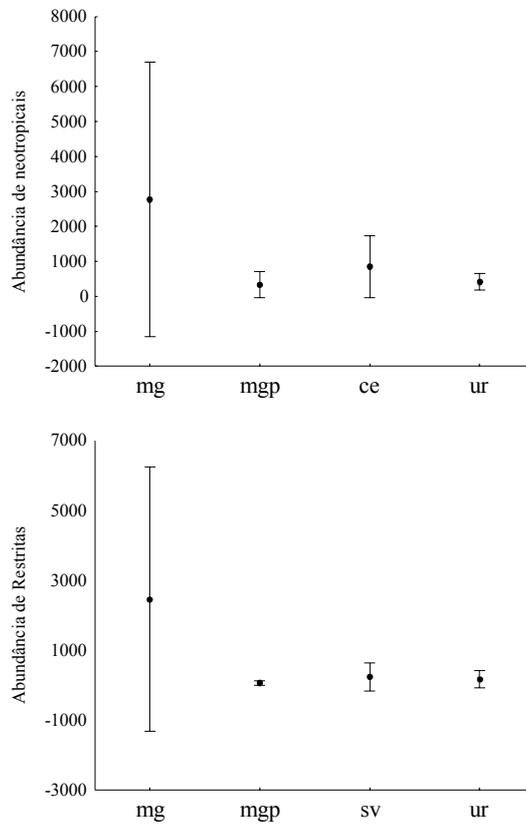
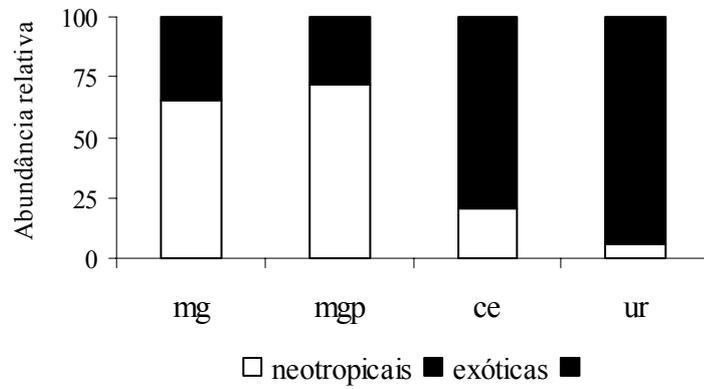


Figura 1. Médias e intervalos de confiança da abundância de espécies neotropicais e restritas entre os habitats. **mg.** matas de galeria não perturbadas; **mgp.** matas de galeria perturbadas; **sv.** savanas não perturbadas; **svp.** savanas perturbadas. Letras diferentes indicam diferença significativa das médias entre os pares de habitats.

A



B

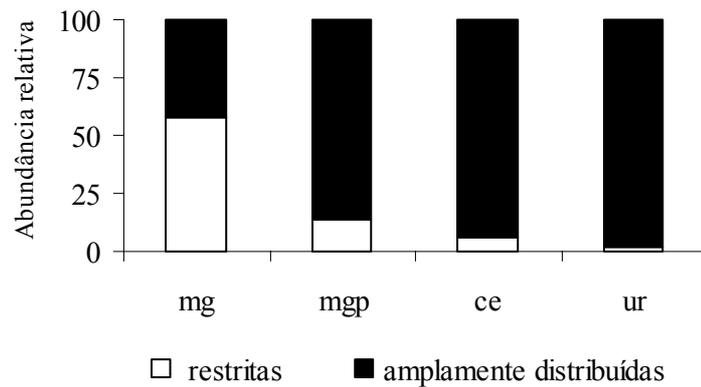


Figura 2 – Diferenças na composição das assembléias de drosofilídeos entre os tipos de habitats estudados, mostrando a abundância relativa das espécies neotropicais e exóticas (A), bem como das espécies restritas e das amplamente distribuídas (B). **mg.** mata de galeria não perturbada; **mgp.** mata de galeria perturbada; **ce.** cerrados; **ur.** ambiente urbano

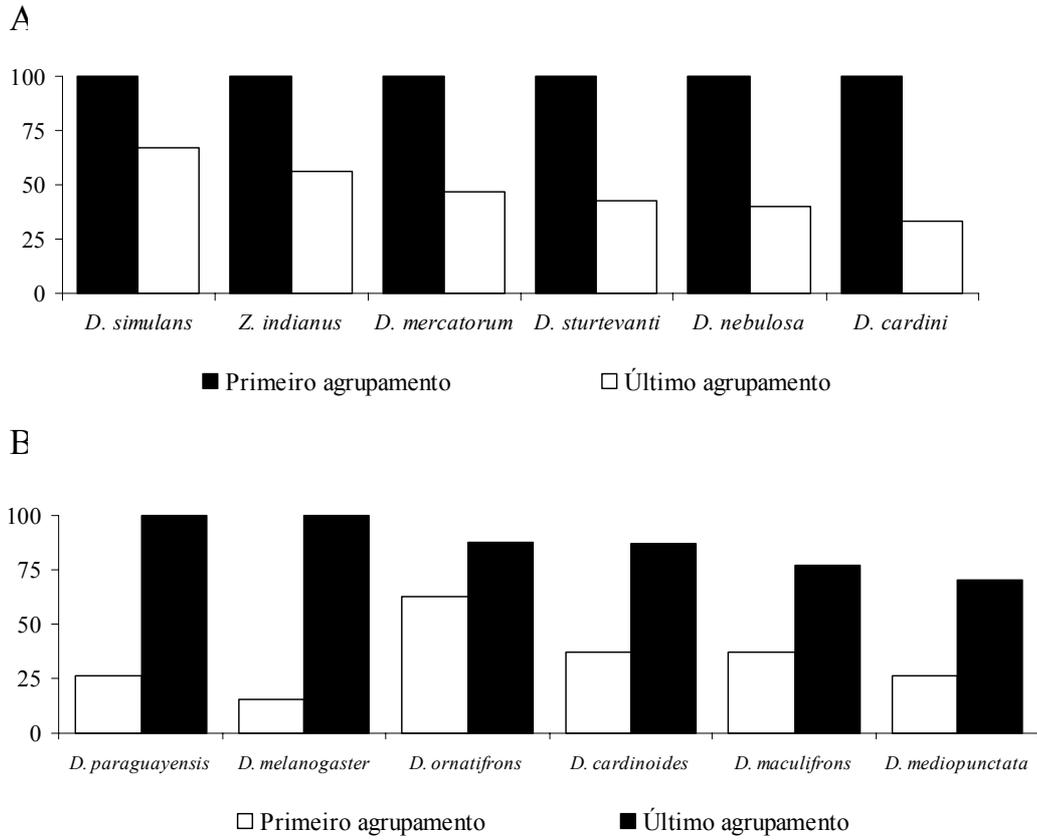


Figura 3 – Valor indicador (%) obtido para o primeiro e último agrupamento de tipos de habitats das espécies que reagiram ao agrupamento hierárquico que separou os tipos de habitats. A. espécies com maior IndVal (%) no primeiro agrupamento (amplamente distribuídas); B. aquelas com maior IndVal (%) no último agrupamento (restritas).

F
i
c
e
l
i
c
a
c
e

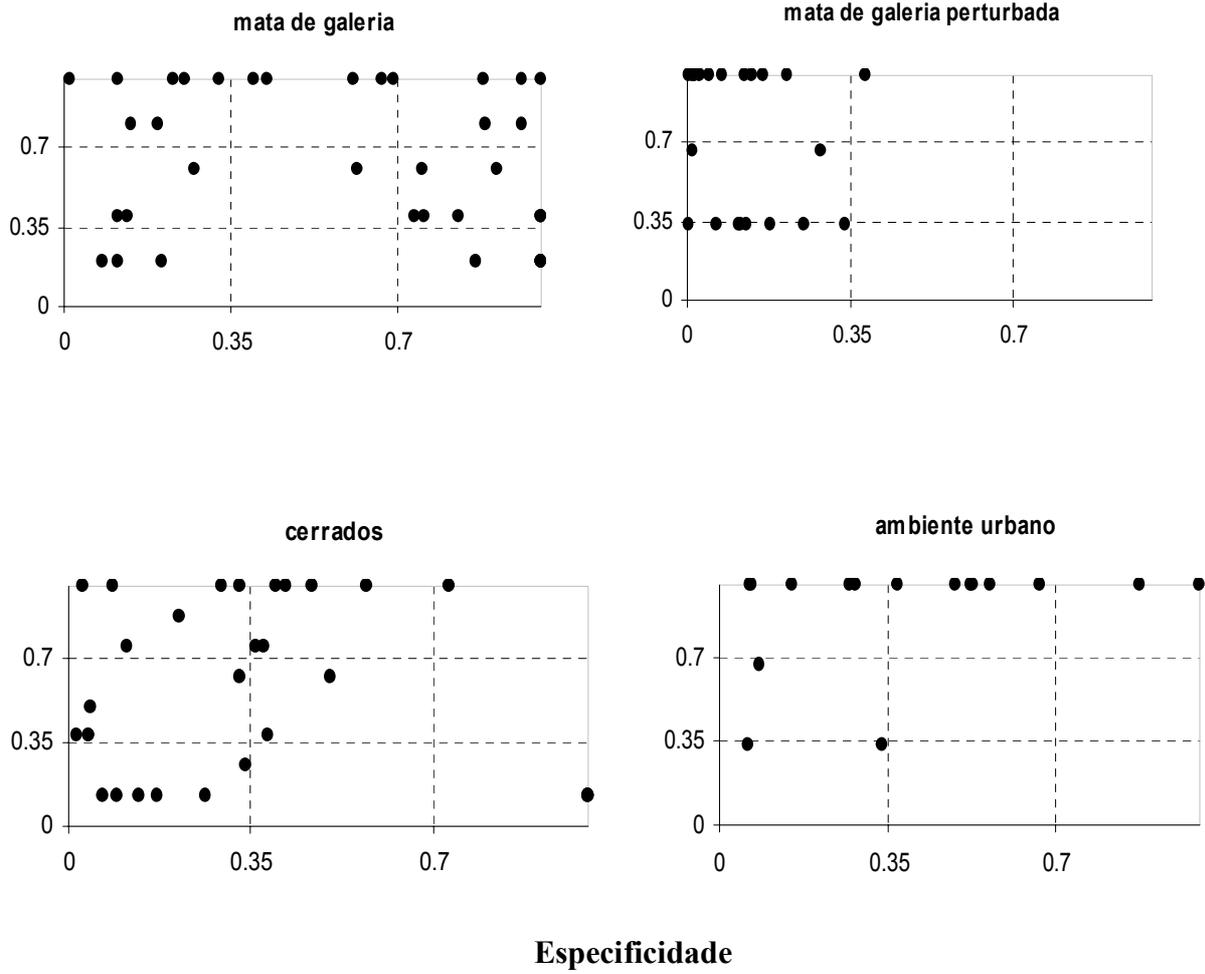


Figura 4 - Relação entre os dois componentes do IndVal (especificidade e fidelidade) para as espécies das assembléias de drosofilídeos, em cada tipo de hábitat.

3. Caracterização das assembléias de Drosophilidae (Insecta, Diptera) em três áreas potenciais para conservação em uma região ameaçada do bioma Cerrado

INTRODUÇÃO

O Cerrado é um ecossistema tropical extremamente importante, porém relativamente desconhecido. Apesar do enorme valor para a conservação, esse bioma ainda não atingiu o status das florestas tropicais úmidas, tais como a Amazônia e Mata Atlântica (Marris, 2005). Embora seja a savana mais rica do mundo, o Cerrado apresenta apenas 2% do seu território protegido em unidades de conservação (Silva *et al.*, 2006) e, por esta razão, foi considerado um dos 25 *hotspots* de biodiversidade do mundo (Myers *et al.*, 2000). Contudo, a idéia da região central do Brasil como uma região para ser conquistada e transformada está impregnada na sociedade brasileira desde há muito tempo (Klink & Moreira, 2002). Atividades como grandes monoculturas (como plantações de soja), fazendas de gado e a expansão urbana têm transformado e ameaçado intensamente este importante ecossistema tropical, de maneira que mesmo as poucas áreas protegidas sofrem uma forte pressão antrópica (Silva *et al.*, 2006).

O Cerrado combina um conjunto de fatores ecológicos e históricos que o torna um sistema biológico apropriado para a investigação da complexidade das comunidades tropicais. Entretanto, este bioma ainda foi pouco estudado. No caso das comunidades de artrópodes, a falta de informação é especialmente notória (Diniz & Kitayama, 1998; Pinheiro *et al.*, 2002). Estudos enfocando como as assembléias de insetos são estruturadas em face da enorme heterogeneidade do Cerrado, principalmente nas áreas prioritárias para a conservação e relativamente desconhecidas, são necessários para melhorar o conhecimento

do bioma e ajudar na formulação de estratégias de manejo eficientes para as paisagens singulares desse ecossistema (Brown & Gifford, 2002).

Andersen (2004) enfatizou que nenhum programa de conservação da biodiversidade pode ser considerado confiável sem que os insetos sejam efetivamente incluídos. Insetos representam uma grande proporção da diversidade do planeta e desempenham um papel essencial para o funcionamento dos ecossistemas (Brown, 1997; McGeoch, 1998; Hilty & Merelender, 2000). Além disso, esses artrópodes podem ser utilizados para a seleção e desenho de reservas, pois proporcionam delineamento de zonas biogeográficas, áreas de endemismo, tipos de comunidades, melhorando a resolução espacial dos planos de conservação (Kremen *et al.*, 1993; Morrone, 2006).

Drosofilídeos, em particular, são excelentes organismos para a pesquisa biológica (Powell, 1997). Nenhum outro modelo tem sido tão amplamente estudado e estes organismos desempenharam um importante papel no desenvolvimento da genética, evolução e biologia do desenvolvimento (Brookes, 2001). Entretanto, pouca atenção é dada para o estudo da ecologia e biogeografia das diversas espécies, principalmente nas áreas tropicais. Certamente, a fauna de drosofilídeos nas regiões temperadas é mais bem conhecida do que a de regiões tropicais (Wheeler, 1986), onde provavelmente existem centenas de espécies ainda por descrever. Na América do Sul, levantamentos mais sistemáticos considerando drosofilídeos foram realizados apenas a partir da década de 1940 (Dobzhansky & Pavan, 1943; Pavan & Cunha, 1947; Pavan, 1950, 1959; Mourão *et al.*, 1965). Posteriormente, com base nas informações dos trabalhos precedentes e de um extensivo programa de coletas, Sene *et al.* (1980) e Vilela *et al.* (1983) discutiram a fauna drosofiliana dos domínios morfoclimáticos brasileiros, visando conhecer a distribuição geográfica das espécies mais comuns. A fauna de drosofilídeos do Brasil Central, entretanto, foi pouco amostrada nesses trabalhos.

No Cerrado, onde levantamentos regulares de drosofilídeos foram iniciados apenas no final da década de 1990, são conhecidas atualmente 94 espécies de drosofilídeos, 84 delas endêmicas da Região Neotropical (Chaves & Tidon, 2005; Roque *et al.*, 2006). Drosofilídeos neotropicais ocorrem em todas as vegetações do bioma, mas muitas destas espécies apresentam distribuição restrita, ocorrendo em apenas um tipo de hábitat, as matas de galeria (Tidon, 2006). Entretanto, a fauna de drosofilídeos do Cerrado é bem amostrada apenas na região do Distrito Federal. Mesmo regiões reconhecidamente importantes para a biodiversidade do bioma ainda não foram amostradas, indicando que a diversidade de drosofilídeos para o Cerrado certamente ainda é uma sub-estimativa.

O workshop para ações prioritárias para conservação do Cerrado e Pantanal, promovido pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA, apontou o Vale do Paranã como uma das áreas prioritárias para o estudo e conservação (Cavalcanti, 1999). Esta região caracteriza-se pela grande quantidade de fitofisionomias e formações geomorfológicas e vegetacionais únicas, formando um mosaico de tipos de vegetação bastante complexo. Dentre as formações fisionômicas, estão as Florestas Estacionais Deciduais, fitofisionomias essenciais para a riqueza e singularidade da biota regional (Oliveira & Marquis, 2002). Embora a biodiversidade do Vale do Paranã ainda seja pouco conhecida, alguns estudos sugerem que esta região corresponde a um importante centro de diversidade e endemismo para o Cerrado (Silva, 1997; Silva & Bates, 2002; Werneck & Colli, 2006). Ao mesmo tempo, o Vale do Paranã sofre intensa exploração devido à implantação das fazendas de gado. Em consequência disso, a paisagem tornou-se extremamente fragmentada e poucas áreas nativas ainda restam (Scariot & Sevilha, 2005). Por todos estes motivos, é urgente a realização de inventários nessa região que possibilitem o melhor conhecimento da mesma e indiquem ações que otimizem a conservação destas áreas.

O presente estudo utilizou as assembléias de drosofilídeos como ferramenta para avaliar o valor de conservação de três áreas consideradas prioritárias para a conservação do Cerrado na região do Vale do Paranã, onde estes organismos ainda não haviam sido amostrados. O objetivo principal desta investigação foi o de gerar subsídios para o estabelecimento do valor de conservação das áreas investigadas e auxiliar no desenvolvimento de estratégias de conservação para a região. Especificamente, a diversidade e a composição das assembléias de drosofilídeos em diferentes habitats foram investigadas para cada área. Em adição, a similaridade entre as diferentes amostras foi calculada para verificar em que escala as assembléias refletem as modificações do ambiente.

MÉTODOS

Área de estudo, amostragem e identificação das espécies

As coletas foram realizadas em três áreas (Tabela I), durante duas expedições: uma na estação seca (agosto/setembro de 2003) e outra na estação chuvosa (março de 2004). Considerando que as espécies de drosofilídeos variam nas diferentes formações vegetais do Cerrado, naquelas áreas com maior heterogeneidade natural (áreas I e II), foram amostrados habitats diferentes, com o intuito de representar tal heterogeneidade em cada localidade. Na área II, onde ocorrem os maiores fragmentos das florestas estacionais decíduais (FED), foram escolhidas três localidades representando esse habitat. Em cada local foram depositadas 10 ou 15 armadilhas (Tabela I) distantes 20 m umas das outras, representando um transecto de 200m e 300m, respectivamente. Estas armadilhas corresponderam às unidades amostrais, que considerando os nove habitats amostrados, atingiram um total de

100 amostras. As armadilhas foram revisadas diariamente durante 6 dias, quando foram retiradas e preparadas para reutilização na próxima área. Os drosofilídeos capturados foram mortos e transportados para a base. Em seguida, foram triados e armazenados em microtúbulos devidamente identificados, separados por unidade amostral.

As coletas de drosofilídeos foram realizadas mediante a utilização de armadilhas com iscas (banana e laranja fermentadas com *Saccharomyces cerevisiae*), conforme proposto por Medeiros & Klaczko (1999). A identificação das moscas consistiu na análise da morfologia externa, com o auxílio de estereomicroscópio, por meio de chaves de identificação e descrições taxonômicas. Espécies crípticas foram identificadas mediante a avaliação da genitália masculina (Dobzhansky & Pavan, 1943; Pavan & Cunha, 1947; Freire-Maia & Pavan, 1949; Frota-Pessoa, 1954; Val, 1982; Vilela & Bachli, 1990; Vilela, 1992).

Análise dos dados

Os números de indivíduos capturados de cada espécie foram somados para cada unidade amostral. Curvas de acumulação (Jack 1; EstimateS 7.5; Colwell, 2005) com os respectivos intervalos de confiança foram produzidas para cada área e a riqueza entre as mesmas foi comparada. A abundância total das moscas coletadas em cada sítio foi subdividida em duas categorias (espécies endêmicas da região Neotropical e espécies exóticas). Visando corrigir diferenças no número de espécimes, a abundância relativa de cada categoria foi calculada para a comparação entre os habitats.

Para determinar em que escala as assembléias de drosofilídeos refletem a variação ambiental, a similaridade (Bray Curtis) das assembléias de drosofilídeos entre os diferentes habitats foi calculada. As relações entre habitats foram produzidas pela análise cluster e

representadas através de um dendograma (Clarke & Warwick, 2001). Para essas análises, os dados de abundância foram transformados em raiz quadrada dupla e relativizados. Esta análise foi realizada com a utilização do programa PRIMER v5 (Clarke & Gorley, 2001). O método valor indicador (*Indicator Value method - IndVal*) (Dufrene & Legendre, 1997) foi utilizado para determinar quais as espécies que melhor caracterizaram as assembléias associadas aos grupos de habitats agrupados pela análise de cluster.

RESULTADOS

Neste estudo foram coletados 12.205 indivíduos pertencentes a 41 espécies de drosofilídeos, das quais 35 são endêmicas da Região Neotropical e seis exóticas. O anexo 1 mostra a ocorrência das espécies nos diferentes sítios e habitats amostrados. Como este é o primeiro inventário realizado para as espécies da família Drosophilidae na região do Vale do Paranã, todas as espécies aqui registradas representam novas ocorrências para a referida área.

Considerando o bioma Cerrado, até o momento foram registradas oito possíveis novas ocorrências de espécies de drosofilídeos, dentre as quais quatro já foram devidamente identificadas (*Drosophila annulosa*, *D. calloptera*, *D. papei*, *Rhinoleucophenga lopesi*). Com exceção da *Rhinoleucophenga personata*, que foi registrada no Distrito Federal, as demais três espécies deste gênero, bem como a espécie do gênero *Zygotrica* (ainda não determinadas), correspondem a novas ocorrências para o bioma. Embora *D. canalinea* não tenha sido uma nova ocorrência, este corresponde ao segundo registro da espécie para o Cerrado. O primeiro foi realizado por Dobzhansky & Pavan, em 1950, em Anápolis (GO), em um local descrito pelos autores como “*constituído principalmente de campos cerrados, tendo, no entanto, algumas florestas em vales formados nas encostas das montanhas que*

existem na região” (Pavan, 1959). As demais seis morfoespécies ainda não identificadas estão sendo avaliadas e podem proporcionar novos registros para o Cerrado e até mesmo a descrição de espécies novas (Anexo 2). A riqueza de espécies foi diferente nas três áreas amostradas (Figura 1) e a abundância relativa das espécies neotropicais e exóticas também variou entre áreas e tipos de habitats (Figura 2).

Alvorada do Norte, onde foram amostrados três tipos de habitats diferentes (cerrado, cerradão e floresta estacional decidual), apresentou maior riqueza de espécies observadas (36, sendo 31 neotropicais) e esperada (43, Figura 1). Dez espécies ocorreram apenas nesta área, que correspondeu também à área com o maior número de espécies únicas (Anexo 1). Esta área incluiu o ponto amostral mais rico dentre os nove estudados, que corresponde a FED sobre afloramento calcário. Todas as cinco espécies do gênero *Rhinoleucophenga*, a espécie do gênero *Zygothrica*, *Drosophila neocardini* e duas morfoespécies de *Drosophila* (*D. sp3* e *D. sp4*) ocorreram apenas neste habitat (Anexo 1). Além disso, esta FED também apresentou a maior porcentagem de espécies neotropicais (63%), considerando o cerrado e o cerradão também amostrados nesta área (Figura 2A). Entretanto, apesar da grande diversidade e singularidade propiciada pela amostragem de uma FED, Alvorada do Norte representou a área com maior proporção de espécies exóticas (54%) (Figura 2B).

Em São Domingos, onde apenas os fragmentos de florestas estacionais deciduais foram amostrados, 28 espécies (23 neotropicais) foram identificadas (30 espécies esperadas; Figura 1). *Drosophila ornatifrons* e *D. papei*, tradicionalmente associadas às formações florestais, ocorreram apenas nesta área (Anexo 1). São Domingos apresentou maior proporção de espécies neotropicais (85%) (Figura 2B).

Dois tipos de habitats, cerrado sentido restrito e mata de galeria, foram amostrados em Paranã, onde 27 espécies foram observadas (21 neotropicais) e 37 esperadas (Figura 1). A

mata de galeria correspondeu ao hábitat mais rico e com maior predominância de espécies neotropicais desta área (58%) (Figura 2A). Apenas neste hábitat foi capturada *D. calloptera*, *D. hydei* e a morfoespécie *Drosophila sp5* (Anexo 1). A proporção de espécies neotropicais (53%) nesta área foi um pouco maior do que a de exóticas (Figura 2B).

A análise de cluster, baseada na similaridade das assembléias de drosofilídeos entre os hábitats, mostrou dois tipos de ambientes principais, os ambientes de floresta e de savanas (Figura 3). Os ambientes florestados foram compostos pelas FEDs e pela mata de galeria, enquanto os savânicos incluíram os cerrados sentido restrito e o cerradão. Em geral, os ambientes florestados apresentaram maior número de espécies, e dentre as 12 espécies que foram exclusivas de um único hábitat, nove ocorreram em ambientes florestados (*D. calloptera*, *D. hydei*, *D. neocardini*, *D. papei*, *D. sp 3*, *D. sp 4*, *R. sp 2*, *R. sp 3* e *Zygotrica sp 1*) (Anexo 1). Além disso, as espécies neotropicais predominaram nos ambientes florestados, enquanto as exóticas nos ambientes abertos ou savânicos (Figura 2A).

A análise do IndVal para os hábitats mostrou conjuntos de espécies características para ambos ambientes. A tabela II mostra as espécies que emergiram como características para os ambientes florestados e para os savânicos.

DISCUSSÃO

A análise das assembléias de drosofilídeos da região do Vale do Paranã, realizada pela primeira vez no presente estudo, suporta a hipótese de que essa região é um importante centro de diversidade do bioma Cerrado. O número de espécies, bem como as novas ocorrências para o bioma Cerrado encontradas durante este inventário, foi extremamente alto quando comparado com o mesmo período de amostragem realizado em outras regiões

do Cerrado (dados não mostrados). Considerando que algumas das espécies dessas moscas são extremamente sazonais, aparecendo apenas em algumas épocas do ano (Tidon, 2006), esta amostra pode ser apenas uma sub-estimativa da diversidade real de drosofilídeos nessa região.

A Região do Vale do Paranã foi apontada pelo workshop para ações prioritárias para conservação do Cerrado e Pantanal, promovido pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA, como uma das áreas prioritária para o estudo e conservação. Os critérios utilizados para a seleção das áreas incluíam a grande riqueza de espécies, singularidade e grau de ameaça (Cavalcanti, 1999). De acordo com Silva (1997) e Silva & Battes (2002), esta região corresponde a um importante centro de endemismo para a avifauna do Cerrado. Esta hipótese é suportada por alguns estudos com outros táxons. Moojen *et al.* (1997) descreveram uma espécie nova de roedor do gênero *Kerodon* e Werneck & Colli (2006) encontraram uma nova espécie de réptil do gênero *Mabuya*, ambas prováveis endêmicas das FEDs do Vale do Paranã. Pode ser que dentre as nove espécies de drosofilídeos ainda em processo de identificação, apreçam mais novas ocorrências e até mesmo a descrição de novas espécies.

A amostragem em várias formações vegetais foi importante para a captura de uma diversidade maior de espécies, uma vez que algumas ocorreram apenas em determinada fitofisionomia. A maior diversidade encontrada em Alvorada do Norte aconteceu, em parte, devido à maior heterogeneidade ambiental amostrada nesta área, quando comparada às demais. Contudo, a predominância das espécies exóticas nesta área reflete o alto grau de impacto humano, representado pelas extensas áreas de pastagens que dominam o local. Tal fato também pode explicar porque o cerradão amostrado nesta área foi mais similar aos cerrados do que às florestas. O cerradão em sua forma original é considerado uma formação

florestal (Oliveira & Marquis, 2002). Entretanto, este amostrado em Alvorada do Norte é um fragmento extremamente pequeno que ocorre em uma matriz de pastagem.

A riqueza de espécies de São Domingos poderia ter sido maior, se ambientes de savana tivessem sido amostrados. Como as FEDs correspondem a uma fitofisionomia singular, extremamente ameaçada e quase que praticamente desconhecida do ponto de vista dos drosofilídeos, consideramos que a amostragem destes habitats seria uma oportunidade única de estudo. Embora as matas representem ambientes importantes, elas não detêm toda a diversidade existente no local. Mata *et al.* (*manuscrito em preparação*, capítulo 2) encontraram conjuntos de espécies características de matas e cerrados, ou seja, algumas espécies preferem e/ou ocorrem estritamente nos ambientes de savanas (capítulo 2). Assim, a manutenção da heterogeneidade ambiental dada pela ocorrência de diferentes fitofisionomias e pela formação em mosaico é de extrema importância para a manutenção da diversidade regional.

Neste estudo, os habitats florestados foram os mais ricos, singulares, com maior número de espécies restritas e menor proporção de exóticas do que os ambientes de savana. Em um estudo comparando habitats não perturbados e perturbados no Distrito Federal, Mata & Tidon (*em revisão pelo editor*, capítulo 1) encontraram resultados similares, para. Muitas das novas ocorrências para o bioma Cerrado registradas neste inventário preliminar ocorrem exclusivamente ou majoritariamente em ambientes florestados, assim como a grande maioria das espécies exclusivas de apenas um habitat (espécies restritas). Tal resultado sugere que estes ambientes, representados principalmente pelas FEDs, mas também pela mata de galeria, desempenham importância fundamental para a manutenção da diversidade da região do Vale do Paranã. Silva (1995 a) quantificou a proporção da avifauna que utiliza em algum grau os habitats florestados e encontrou que 72% das espécies (uma grande proporção da diversidade) que ocorrem em um bioma coberto principalmente por savanas

são predominantemente florestais. Silva & Batters (2002) chamaram a atenção para o fato de que, embora correspondam a apenas 10% do bioma, os ambientes florestados do Cerrado (dentre eles as FEDs) são habitats chave para uma proporção substancial da biodiversidade.

Tidon (2006) investigou a variação das assembléias de drosofilídeos entre a estação seca e chuvosa em ambientes de savana e florestados (matas de galeria) e sugeriu que algumas espécies podem migrar da savana para a mata de galeria na estação seca, já que as condições climáticas nas matas seriam menos estressantes. Assim, as matas de galeria desempenham um importante papel na manutenção das populações de algumas espécies que não encontram condições propícias de sobrevivências nas áreas abertas do cerrado, especialmente na estação seca. Este resultado está de acordo com a proposição de que as matas de galeria agem como núcleos para a recolonização de ambientes decíduos (Forsyth, 1980; Diniz & Kitayama, 1998). Tais estudos reforçam a importância dos ambientes florestados, neste caso as matas de galeria, chamando a atenção para a necessidade de conservação destes ambientes.

As Florestas Estacionais Deciduais também são ambientes extremamente importantes e especiais para a região do Vale do Paranã. Estas florestas apresentavam uma formação mais extensa e contínua no passado, que provavelmente atingiu a máxima distribuição durante a fase máxima da última glaciação do Pleistoceno, conhecida “Arco Pleistocênico” (*Pleistocenic Arc*; Prado & Gibbs, 1993). Atualmente estes ambientes têm uma distribuição descontínua entre a Caatinga e o Vale do Rio Uruguai. No Brasil Central, as FEDs encontram-se fragmentadas, e alguns dos mais isolados e menos conhecidos remanescentes correspondem aos fragmentos do Cerrado (Oliveira & Marquis 2002). Contudo, as FEDs são consideradas o ecossistema tropical mais ameaçado. Estas florestas ocorrem em solos férteis, altamente favoráveis para agricultura, contêm espécies vegetais de interesse

comercial e pouca atenção é dada para a conservação destes ambientes (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005; Prance, 2006; Vieira & Scariot, 2006).

Estudos com plantas mostraram que a composição florística das FEDs é extremamente distinta, contendo muitos táxons endêmicos, o que levou Prado (2000) a propor que a região recoberta pelo Arco Pleistocênico representa uma nova unidade fitogeográfica da América do Sul. Considerar as FEDs como uma unidade fitogeográfica distinta traz importantes implicações para a produção de análises biogeográficas e estratégicas de conservação (Pennington *et al.*, 2000). Embora estudos baseados em comunidades animais sejam escassos, pesquisas com aves (Silva 1995a, b) e répteis (Werneck & Colli, 2006) encontraram assembléias distintas, com espécies endêmicas para estes ambientes, parecem suportar a hipótese de que as FEDs possuem biota distinta. Entretanto, pesquisas considerando outros táxons são ainda necessárias para testar esta hipótese. Não se conhece, por exemplo, nenhum estudo publicado com insetos que tenha este propósito. Desta maneira, uma comparação formal das assembléias de drosofilídeos encontradas nas FEDs com as do Cerrado, bem como com a de outros biomas é uma linha de investigação bastante recomendada para estudos futuros.

Neste estudo, habitats florestados, em geral, apresentaram maior diversidade, maior número de espécies restritas e menor proporção de exóticas. Ao contrário, ambientes abertos apresentaram menor número de espécies e maior proporção de exóticas. Tais resultados também foram encontrados para cerrados sentido restrito e matas de galeria do Distrito Federal (capítulo 2). Com exceção de *D. willistoni* e *Z. indianus*, que foram consideradas espécies características de matas não perturbadas e ambientes de savana, respectivamente (capítulo 2), a maioria das espécies apontadas como características dos habitats estudados no Distrito Federal não se mantiveram nos mesmos tipos de ambiente investigados no Vale do Paranã. Em adição, espécies anteriormente apontadas como detectoras de alterações

humanas (*D. repleta*, *D. paranaensis* e *D. prosaltans*) (capítulo 2) emergiram como características das FEDs. Espécies diferentes (como *D. annulosa*, que não ocorre no Distrito Federal) emergiram como características de ambientes florestados e abertos do Vale do Paranã. Tal fato que sugere que espécies características e detectoras sejam desenvolvidas para cada região onde se desejar aplicar o sistema bioindicador.

Em conclusão, a análise das assembléias de drosofilídeos do Vale do Paranã, realizada pela primeira vez no presente estudo, suporta a hipótese de que essa região é um importante centro de diversidade do bioma Cerrado. Além disso, chama a atenção para a importância da heterogeneidade do Cerrado na manutenção desta diversidade. Desta maneira, é fortemente recomendado que o planejamento e elaboração de áreas prioritárias para a conservação desta região preservem as diferentes fitofisionomias, bem como a formação em mosaico que ocorre no bioma. Os ambientes florestados, contudo, contribuem com um maior número de espécies, desempenhando papel fundamental na manutenção da diversidade do Vale do Paranã. Considerando que esta fisionomia está criticamente ameaçada pelas atividades agropecuárias, devem-se concentrar aí esforços para conservação dos fragmentos remanescentes. Os resultados obtidos pelo estudo das assembléias de drosofilídeos no Vale do Paranã auxiliaram na identificação de áreas com potencial para conservação, na proposição de delineamento de possíveis reservas, fornecendo informações importantes para a conservação de populações não apenas de drosofilídeos, mas possivelmente de outros insetos e invertebrados.

REFERÊNCIAS

- Andersen, A.N. (2004) Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australia rangelands, with particular reference to ants. *Austral Ecology*, **29**, 87-92.
- Brookes, M. (2001) *Fly: an experimental life* Weidenfeld & Nicolson, London.
- Brown, K.S. (1997) Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*, **1**, 25-42.
- Brown, K.S. & Gifford, D.R. (2002). Lepidoptera in the Cerrado landscape and conservation of vegetation, soil, and topographical mosaics. In *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna* (eds P.S. Oliveira & R.J. Marquis), pp. 201-217. Columbia University Press, New York.
- Cavalcanti, R., ed. (1999) *Ações prioritárias para a conservação da biodiversidade do Cerrado e Pantanal*. Conservation International do Brasil, Belo Horizonte.
- Chaves, N.B. & Tidon, R. (2005) Drosophilidae of the Brazilian Savanna, the forgotten ecosystem. *Drosophila Information Service*, **88**, 25-27.
- Clarke, K.R. & Gorley, R.N. (2001) PRIMER V5: user Manual/ Tutorial. PRIMIER-E, Plymouth, UK.
- Clarke, K.R. & Warwick, R.M. (2001) *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd Edition edn. PRIMIER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Cowell, R.K. (2005) EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples, pp. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Diniz, I.R. & Kitayama, K. (1998) Seasonality of vespidae species (Hymenoptera : Vespidae) in a central Brazilian cerrado. *Revista De Biologia Tropical*, **46**, 109-114.
- Dobzhansky, T. & Pavan, C. (1943) Studies on Brazilian species of *Drosophila*. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, **36**, 1 - 72.
- Dobzhansky, T. & Pavan, C. (1950) Local and seasonal variations in relative frequencies of species of *Drosophila* in Brazil. *Journal of Animal Ecology*, **19**, 1-14.
- Dufrêne, M. & Legendre, P. (1997) Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, **67**, 345-366.
- Forsyth, A. (1980) Nest site and hábitat selection by the social wasp, *Metapolybia azteca* Araujo (Hymenoptera, Vespidae). *Brenesia*, **17**, 157-161.
- Freire-Maia, A. & Pavan, C. (1949) Introdução ao estudo da drosófila. *Cultus*, **1**, 3-66.
- Frota-Pessoa, O. (1954) Revision of the *tripunctata* group of *Drosophila* with description of fifteen new species (Drosophilidae, Diptera). *Arquivos do Museu Paranaense*, **10**, 253-304.
- Hilty, J. & Merenlender, A. (2000) Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*, **92**, 185-197.

- Klink, C.A. & Moreira, A.G. (2002). Past and current human occupation, and land use. In *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna* (eds P.S. Oliveira & R.J. Marquis), pp. 398. Columbia University Press, New York.
- Kremen, C., Colwell, R.K., Erwin, T.L., Murphy, D.D., Noss, R.F. & Sanjayan, M.A. (1993) Terrestrial arthropod assemblages - their use in conservation planning. *Conservation Biology*, **7**, 796-808.
- Marris, E. (2005) The forgotten ecosystems. *Nature*, **437**, 944-945.
- Mata, R.A., McGeoch, M.A. & Tidon, R. (*em preparação*) Drosophilid assemblages (Insecta, Diptera) as a bioindicator system of human disturbance in the Cerrado biome. *Biodiversity and Distribution*.
- Mata, R.A. & Tidon, R. (*em revisão pelo editor*) Human disturbances affect the composition and invasibility of the drosophilid assemblages of the Cerrado. *Austral Ecology*.
- McGeoch, M.A. (1998) The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, **73**, 181-201.
- Medeiros, H.F. & Klaczko, L.B. (1999) A weakly biased *Drosophila* trap. *Drosophila Information Service*, **82**, 100-102.
- Moojen, J., Locks, M. & Langguth, A. (1997) A new species of *Kerodon* Cuvier, 1825 from the state of Goiás, Brazil (Mammalia, Rodentia, Caviidae). *Boletim do Museu Nacional, Zoologia, nova série*, **377**, 1-10.
- Morrone, J.J. (2006) Biogeographic areas and transition zones of Latin America and the Caribbean islands based on panbiogeographic and cladistic analyses of the entomofauna. *Annual Review of Entomology*, **51**, 467-494.
- Mourão, C.A., Gallo, A.J. & Bicudo, H.E.M.C. (1965) Sobre a sistemática de *Drosophila* no Brasil, com descrição de *Drosophila mendeli* sp.n. e relação de espécies brasileiras de gênero *Drosophila*. II. the repleta group. *Ciência e Cultura*, **17**, 577-585.
- Myers, N., Mittermeyer, R.A., Mittermeyer, C.G., Fonseca, G.A.B., & Kent, J. (2000) Biodiversity spots for conservation priorities. *Nature*, **403**, 853-858.
- Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (2002) *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna* Columbia University Press, New York.
- Pavan, C. (1950) Espécies brasileiras de *Drosophila* II. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, **111**, 3-36.
- Pavan, C. (1959) Relações entre populações naturais de *Drosophila* e o meio ambiente. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, **221**, 1-81.
- Pavan, C. & Cunha, A.B. (1947) Espécies brasileiras de *Drosophila*. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, **86**, 20 - 64.
- Pennington, R.T., Prado, D.E. & Pendry, C.A. (2000) Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography*, **27**, 261-273.
- Pinheiro, F., Diniz, I.R., Coelho, D. & Bandeira, M.P.S. (2002) Seasonal pattern of insect abundance in the Brazilian cerrado. *Austral Ecology*, **27**, 132-136.
- Powell, J.R. (1997) *Progress and Prospects in Evolutionary Biology: the Drosophila Model* Oxford University Press, New York.

- Prado, D.E. (2000) Seasonally dry forests of tropical South America: from a forgotten ecosystem to a new phytogeographic unit. *Edinburgh Journal of Botany*, **57**, 437-461.
- Prado, D.E. & Gibbs, P.E. (1993) Patterns of Species Distributions in the Dry Seasonal Forests of South-America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **80**, 902-927.
- Prance, G.T. (2006) Tropical savannas and seasonally dry forests: an introduction. *Journal of Biogeography*, **33**, 385-386.
- Roque, F., Figueiredo, R. & Tidon, R. (2006) Nine new records of drosophilids in the Brazilian savanna. *Drosophila Information Service*, **89**, 1-5.
- Sanchez-Azofeifa, G.A., Kalacska, M., Quesada, M., Calvo-Alvarado, J.C., Nassar, J.M. [.] & Rodriguez, J.P. (2005) Need for integrated research for a sustainable future in tropical dry forests. *Conservation Biology*, **19**, 285-286.
- Scariot, A. & Sevilha, A.C. (2005). Biodiversidade, estrutura e conservação de florestas estacionais decíduais no Cerrado. In *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação* (eds A. Scariot, J.C. Sousa-Silva & J. Felfili). Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.
- Sene, F.M., Val, F.C., Vilela, C.R. & Pereira, M.A.Q.R. (1980) Preliminary data on the geographical distribution of *Drosophila* species within morpho-climatic domains of Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, **33**, 315--326.
- Silva, J.F., Farinas, M.R., Felfili, J.M. & Klink, C.A. (2006) Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*, **33**, 536-548.
- Silva, J.M.C. (1995a) Biogeographic analysis of the South American Cerrado avifauna. *Steenstrupia*, **21**, 49-67.
- Silva, J.M.C. (1995b) Birds of the Cerrado region, South America. *Steenstrupia*, **21**, 69-92.
- Silva, J.M.C. (1997) Endemic bird species and conservation in the Cerrado region, South America. *Biodiversity and Conservation*, **6**, 435-450.
- Silva, J.M.C. & Bates, J.M. (2002) Biogeographic patterns and conservation in the South America Cerrado: a tropical savanna hotspot. *BioScience*, **52**, 225-233.
- Tidon, R. (2006) Relationships between drosophilids (Diptera, Drosophilidae) and the environment in two contrasting tropical vegetations. *Biological Journal of the Linnean Society*, **87**, 233-248.
- Val, F.C. (1982) The male genitalia of some Neotropical *Drosophila*: Notes and illustrations. *Papéis Avulsos de Zoologia*, **34**, 309-347.
- Vieira, D.L.M. & Scariot, A. (2006) Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration Ecology*, **14**, 11-20.
- Vilela, C.R. (1992) On the *Drosophila tripunctata* species group (Diptera, Drosophilidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, **36**, 197-221.
- Vilela, C.R. & Bachli, G. (1990) Taxonomic studies on Neotropical species of seven genera of Drosophilidae (Diptera). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, **63**, 1-332.
- Vilela, C.R., Pereira, M.A.Q.R. & Sene, F.M. (1983) Preliminary data on geographical distribution of *Drosophila* species within morpho-climatic domains in Brazil. II. *The repleta group.*, **35**, 66--70.

Werneck, F.P. & Colli, G.R. (2006) The lizard assemblage from seasonally dry tropical forest enclaves in the Cerrado biome, Brazil, and its association with the Pleistocenic Arc. *Journal of Biogeography*, **33**, 1983-1992.

Wheeler, M.R. (1986). Additions to the catalog of the world's Drosophilidae. In *Genetics and Biology of Drosophila* (eds M. Ashburner, H.L. Carson & J.N. Thompson Jr), Vol. 3e, pp. 395-409. Academic Press, New York.

Tabela I - Sítios de coleta com os respectivos habitats amostrados.

Áreas	Municípios	Habitats	Nº. de amostras
I	Alvorada do Norte e Flores - GO	cerrado sentido restrito	10
		cerradão	10
		floresta estacional decidual	15
II	São Domingos - GO	floresta estacional decidual	15
		floresta estacional decidual	10
		floresta estacional decidual	10
III	Paraná -TO	cerrado sentido restrito	10
		cerrado sentido restrito	10
		mata de galeria	10

Tabela II – Valor Indicador (IndVal %), mostrando a preferência das espécies de drosofilídeos pelos diferentes tipos de habitats. *p<0,05

Espécies	IV (%)	Espécies	IV (%)
ambientes florestados		Ambientes savânicos	
<i>Drosophila ararama</i>	100*	<i>D. sp 1</i>	99*
<i>D. sturtevanti</i>	95*	<i>Zaprionus indianus</i>	71
<i>D. malerkotliana</i>	94*	<i>D. nebulosa</i>	60
<i>D. willistoni</i>	92*	<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis</i>	54
<i>D. prosaltans</i>	84*	<i>D. pallidipennis</i>	50
<i>D. cardini</i>	82*	<i>D. sp 5</i>	25
<i>D. paranaensis</i>	82*	<i>R. personata</i>	25
<i>D. canalinea</i>	80*	<i>R. sp 1</i>	25
<i>D. repleta</i>	80*	<i>R. lopesi</i>	14
<i>D. annulosa</i>	79		
<i>D. fuscolineata</i>	75		
<i>D. mediotriata</i>	74		
<i>D. busckii</i>	74		
<i>D. mercatorum</i>	68		
<i>D. flexa</i>	66		
<i>Gitona bivisualis</i>	64		
<i>D. simulans</i>	62		
<i>D. polymorpha</i>	60		
<i>D. bandeirantorum</i>	59		
<i>D. sp 2</i>	48		
<i>D. fumipennis</i>	40		
<i>D. ornatifrons</i>	40		
<i>D. gouveai</i>	39		
<i>D. calloptera</i>	20		
<i>D. neocardini</i>	20		
<i>D. papei</i>	20		
<i>D. sp 3</i>	20		
<i>D. sp 4</i>	20		
<i>Rhinoleucophenga sp c</i>	20		
<i>R. sp d</i>	20		
<i>Zygotrica sp a</i>	20		
<i>D. hydei</i>	20		

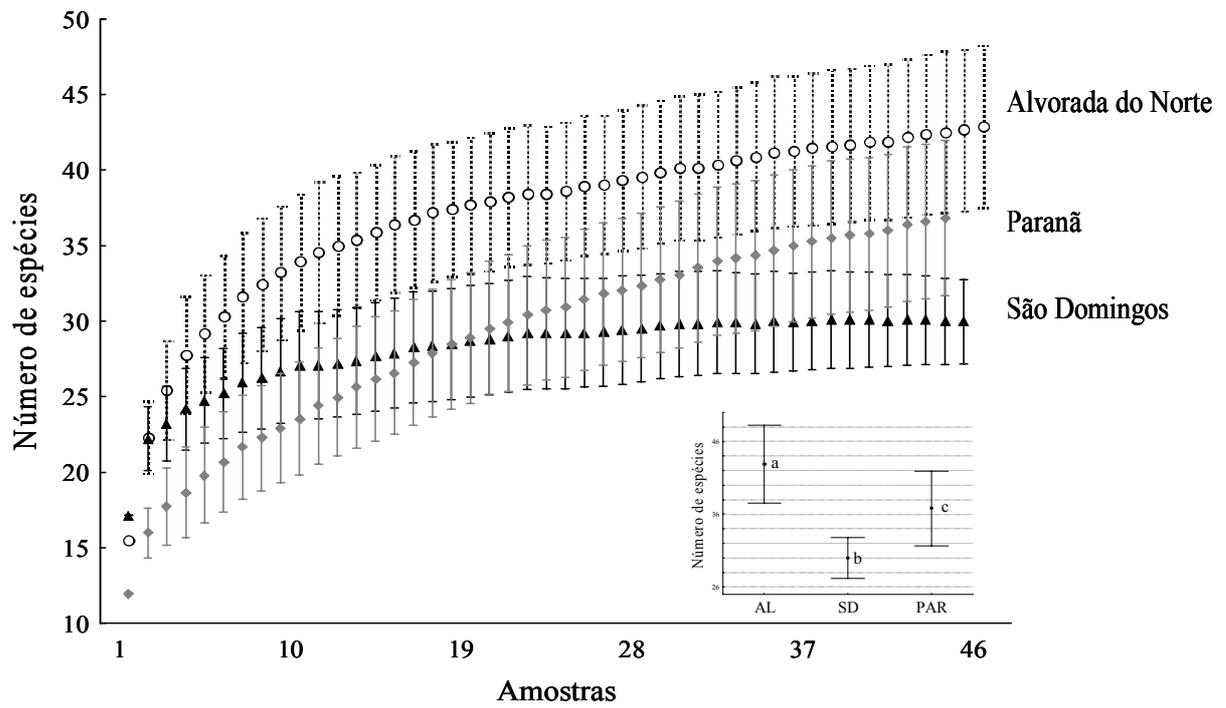


Figura 1 – Curva de acumulação (Jackknife 1) para cada área, mostrando também as médias diferentes das últimas amostras de cada uma delas. AL, Alvorada do Norte; SD, São Domingos; PAR, Paranã. Letras diferentes indicam diferença significativa.

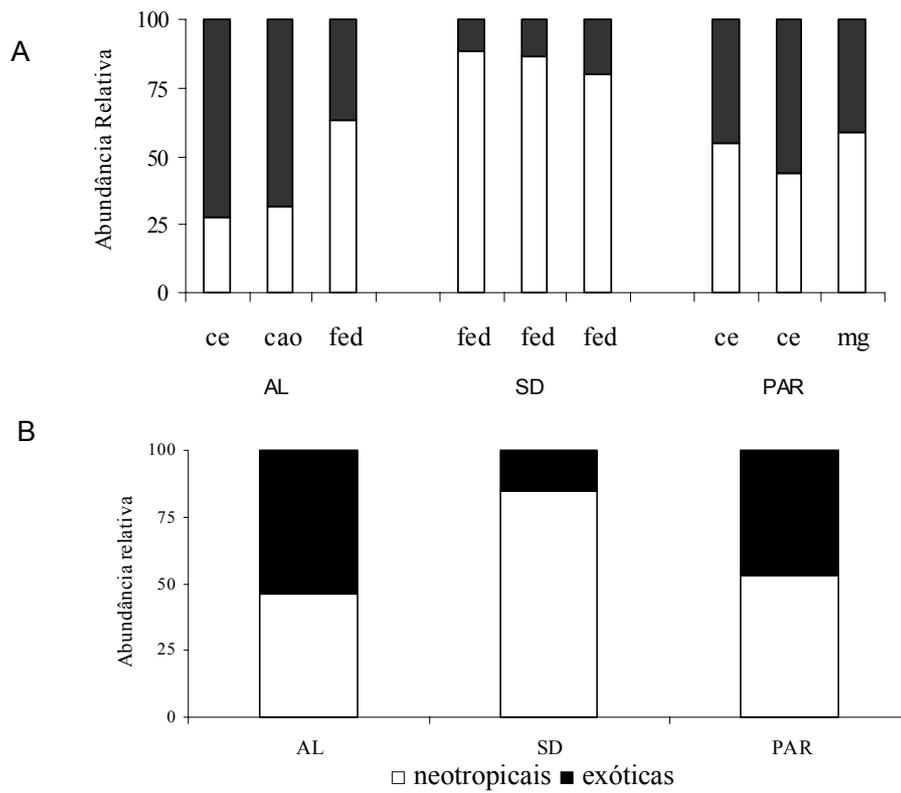


Figura 2 – Diferenças nas assembléias de drosofilídeos classificadas como neotropicais e exóticas nos diferentes habitats (A) e (B) nas três áreas amostrais. **fed**, floresta tropical estacional decidual; **mg** mata de galeria; **ce**, cerrado sentido restrito; **cão**, cerradão. **AL**, Alvorada do Norte; **SD**, São Domingos; **PAR**, Paranã.

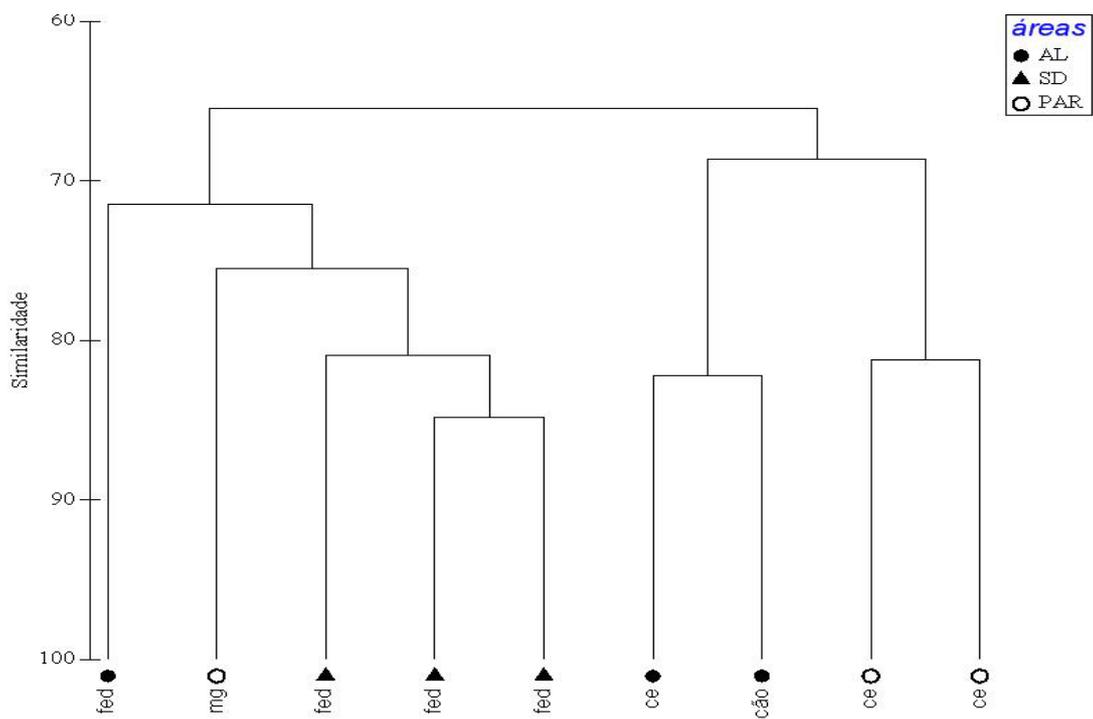


Figura 3 – Relações de similaridade entre as assembléias de drosofilídeos nos habitats analisados. **AL**, Alvorada do Norte; **SD**, São Domingos; **PAR**, Paranã. **fed**, floresta tropical estacional decidual; **mg** mata de galeria; **ce**, cerrado sentido restrito; **cão**, cerradão.

Anexo 1 – Ocorrência das espécies de drosófilídeos em cada sítio e tipo de hábitat amostrado. **ce.** cerrado sentido restrito; **cão.** cerrado; **fed.** floresta estacional decidual; **mg.** mata de galeria.

Áreas Habitats	Alvorada do Norte			São Domingos			Paraná			Abundância			
	ce	cao	fed	ce	fed	fed	ce	ce	mg		Total		
<i>D. rosophila annulosa</i>	2	1	288	291	88	310	79	477	0	2	0	2	770
<i>D. ararama</i>	0	0	2	2	16	26	18	60	0	0	7	7	69
<i>D. bandeirantorum</i>	0	1	4	5	0	1	96	97	1	0	0	1	103
<i>D. busckii</i>	0	5	10	15	2	2	1	5	0	0	3	3	23
<i>D. calloptera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
<i>D. canalinea</i>	0	0	19	19	0	7	1	8	0	0	1	1	28
<i>D. cardini</i>	100	100	271	471	182	602	382	1166	35	40	80	155	1792
<i>D. flexa</i>	0	1	0	1	2	1	1	4	0	0	2	2	7
<i>D. fumipennis</i>	0	0	4	4	0	1	0	1	0	0	0	0	5
<i>D. fuscolineata</i>	1	0	5	6	4	0	7	11	0	0	2	2	19
<i>D. gouveai</i>	5	1	182	188	64	0	0	64	1	0	0	1	253
<i>D. hydei</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
<i>D. malerkotliana</i>	6	6	6	18	84	96	195	375	4	5	10	19	412
<i>D. mediotriata</i>	9	22	27	58	30	31	27	88	1	0	1	2	148
<i>D. mercatorum</i>	34	34	33	101	54	57	34	145	1	8	24	33	279
<i>D. nebulosa</i>	23	86	80	189	20	20	24	64	161	22	103	286	539
<i>D. neocardini</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>D. ornatifrons</i>	0	0	0	0	1	0	3	4	0	0	0	0	4
<i>D. pallidipennis</i>	3	5	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>D. papei</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
<i>D. paranaensis</i>	12	6	37	55	20	17	8	45	0	0	23	23	123
<i>D. polymorpha</i>	0	0	1	1	1	0	1	2	0	0	0	0	3

<i>D. prosaltans</i>	2	1	17	20	17	32	21	70	8	6	26	40	130
<i>D. repleta</i>	0	0	6	6	0	3	43	46	0	0	1	1	53
<i>D. simulans</i>	69	79	152	300	30	71	48	149	5	10	37	52	501
<i>D. sturtevanti</i>	3	3	24	30	318	471	698	1487	30	43	199	272	1789
<i>D. willistoni</i>	56	41	152	249	984	224	180	1388	4	6	35	45	1682
<i>D. sp1</i>	13	0	60	73	0	0	1	1	0	0	1	1	75
<i>D. sp2</i>	3	1	0	4	2	0	0	2	32	101	0	133	139
<i>D. sp3</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>D. sp4</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>D. sp5</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
<i>Gitona bivisualis</i>	19	8	12	39	29	13	37	79	9	14	21	44	162
<i>Rhinoleucophenga lopesi</i>	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>R. personata</i>	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>R. sp1</i>	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>R. sp2</i>	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>R. sp3</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis</i>	90	159	343	592	8	56	52	116	148	279	258	685	1393
<i>Zaprionus indianus</i>	604	421	200	1225	119	62	113	294	79	12	66	157	1676
<i>Zigotrica sp1</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total de individuos	961	881	1672	3514	1893	1501	1689	5083	485	508	823	1816	12205
Total de especies	22	20	31	36	22	21	25	28	16	13	22	27	41

Anexo 2 - Listas das espécies de drosofilídeos na Região do Vale do Paraná.

Região Hábitats	Autor	Endemismo
<i>Drosophila annulosa</i> *	Vilela & Bachli, 1990	neotropical
<i>D. ararama</i>	Pavan & Cunha, 1947	neotropical
<i>D. bandeirantorun</i>	Dobzhansky & Pavan, 1943	neotropical
<i>D. busckii</i>	Coquillet, 1901	exótica
<i>D. calloptera</i> *	Schiner, 1868	neotropical
<i>D. canalinea</i>	Patterson & Mainland, 1944	neotropical
<i>D. cardini</i>	Sturtevant, 1956	neotropical
<i>D. flexa</i>	Loew, 1866	neotropical
<i>D. fumipenis</i>	Duda, 1925	neotropical
<i>D. fuscolineata</i>	Duda, 1925	neotropical
<i>D. gouveai</i>	Tidon-Sklorz & Sene, 2001	neotropical
<i>D. hydei</i>	Sturtevant, 1921	exótica
<i>D. malerkotliana</i>	Parshad & Paika, 1964	exótica
<i>D. mediotriata</i>	Duda, 1925	neotropical
<i>D. mercatorum</i>	Patterson & Wheeler, 1942	neotropical
<i>D. nebulosa</i>	Sturtevant, 1916	neotropical
<i>D. neocardini</i>	Streisinger, 1946	neotropical
<i>D. ornatifrons</i>	Duda, 1927	neotropical
<i>D. pallidipennis</i>	Dobzhansky & Pavan, 1943	neotropical
<i>D. papei</i> *	Bachli & Vilela, 2002	neotropical
<i>D. paranaensis</i>	Barros, 1950	neotropical
<i>D. polymorpha</i>	Dobzhansky & Pavan, 1943	neotropical
<i>D. prosaltans</i>	Duda, 1927	neotropical
<i>D. repleta</i>	Wollaston, 1858	neotropical
<i>D. simulans</i>	Sturtevant, 1919	exótica
<i>D. sturtevanti</i>	Duda, 1927	neotropical
<i>D. willistoni</i>	Sturtevant, 1916	neotropical
<i>D. sp1</i>		?
<i>D. sp2</i>		?
<i>D. sp3</i>		?
<i>D. sp4</i>		?
<i>D. sp5</i>		?
<i>Gitona bivisualis</i>	Patterson, 1943	neotropical
<i>Rhinoleucophenga lopesi</i> *	Malogolowkin, 1946	neotropical
<i>R. personata</i>	Malogolowkin, 1946	neotropical
<i>R. sp1</i> *		neotropical
<i>R. sp2</i> *		neotropical
<i>R. sp3</i> *		neotropical
<i>Scaptodrosophila</i>	(Duda), 1940	exótica
<i>Zaprionus indianus</i>	Gupta, 1970	exótica
<i>Zygothrica sp1</i> *		?

* Novas ocorrências

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Drosofilídeos foram amplamente utilizados como modelos em estudos biológicos e desempenharam um importante papel no desenvolvimento da genética, evolução e biologia do desenvolvimento. Os resultados do presente trabalho mostraram que essas moscas são também ferramentas biológicas muito úteis em estudos com biodiversidade e conservação, e ainda indicam que correspondem a modelos extremamente apropriados para o estudo da ecologia, macroecologia e biogeografia.

O estudo das invasões biológicas é um assunto de extrema importância na comunidade científica atualmente. As investigações nesta área têm como objetivo principal prever quais são as espécies mais prováveis de se tornar invasoras eficientes bem como quais ambientes são mais propensos à invasão, e ainda qual o impacto da invasão de uma espécie na biota. Os resultados do presente estudo mostraram que os drosofilídeos refletiram o impacto humano nas matas de galeria e que as assembléias dessas matas perturbadas foram mais propensas à invasão do que as não perturbadas. Matas perturbadas mostraram maior proporção de espécies exóticas e das neotropicais típicas de savanas, as quais geralmente são amplamente distribuídas no bioma. Portanto, tais espécies corresponderam àquelas com maior poder para invasões e podem funcionar como bons modelos para examinar quais as características das espécies que conferem o poder invasor. Para isso, o estabelecimento das relações entre abundância das espécies e as extensões de distribuição, bem como o conhecimento da dinâmica espaço-temporal das mesmas, são de importância fundamental. Uma outra linha promissora para estudos futuros seria investigar se espécies exóticas que invadiram o bioma causam impacto nas espécies nativas.

O potencial das assembléias de drosofilídeos como um sistema bioindicador do distúrbio nos hábitats do Cerrado foi confirmado. Na escala regional, o desenvolvimento de espécies características e detectoras pode auxiliar no diagnóstico de hábitats; entretanto, o ideal é que tais espécies sejam reconhecidas para cada região a ser investigada. A abundância relativa das variáveis de assembléia (proporção de endêmicas/exóticas e amplamente distribuídas/restritas) proporcionou bons indicadores nas escalas local e regional e a riqueza dessas categorias também foi um bom indicador em escala regional. O IndVal e o processo de validação representaram uma importante ferramenta metodológica para o desenvolvimento deste sistema bioindicador. Portanto, recomendamos o uso desses métodos em estudos futuros voltados para a identificação e validação de espécies características e detectoras em outras regiões e hábitats do bioma. Finalmente, investigações que visem determinar as distribuições destas espécies indicadoras são fortemente recomendadas, pois este conhecimento pode melhorar o poder desse sistema bioindicador.

As espécies de drosofilídeos que ocorrem no Cerrado podem ser divididas em exclusivas de um único tipo de hábitat, espécies que preferem ambientes florestados e aquelas preferem savanas, as quais geralmente são amplamente distribuídas no bioma. Assim, ambientes florestados e savânicos possuem assembléias distintas e, portanto, a conservação de ambos ambientes e da formação em mosaico do Cerrado é fundamental para a manutenção da diversidade regional. Embora os ambientes florestados não contenham toda a diversidade do Cerrado, eles contribuem mais para a diversidade não apenas porque possuem maior número de espécies, mas também porque comportam maior número e proporção de espécies exclusivas e restritas, as quais geralmente correspondem ao foco dos esforços de conservação, devido a maior vulnerabilidade das mesmas à extinção. Assim, a perpetuação dos atuais distúrbios humanos sobre o Cerrado, que

consiste na substituição dos habitats naturais (incluindo as matas de galeria) por ambientes urbanos e agropastoris, poderá levar a um aumento da similaridade das comunidades originalmente diferentes, conduzindo a uma diminuição da diversidade regional. A preservação dos habitats florestados, da biota que habita os mesmos, bem como a manutenção da interconectividade entre eles deve ter prioridade em qualquer plano de manejo e conservação da biodiversidade do Cerrado.

As assembléias de drosofilídeos do Cerrado refletem a variação natural entre os ambientes florestados e savânicos, bem como as alterações provocadas pelo homem (ambientes urbanos e matas de galeria perturbadas). Em adição, a variação em escala regional também parece exercer uma influência substancial na organização dessas assembléias. O Cerrado é um bioma relativamente desconhecido. Ainda não existe, por exemplo, teorias e modelos para a maioria dos táxons que expliquem de modo integrado, como a biodiversidade foi gerada e como se mantém. Estudos com as espécies de drosofilídeos realizados em diferentes escalas espaciais podem auxiliar na elucidação dos processos que atuam nas diferentes escalas espaciais e qual é a importância relativa destes processos para a determinação e manutenção da biodiversidade do Cerrado. As seguintes questões podem ser levantadas: em escala local, as assembléias são estruturadas por processos bióticos, tais como competição/agregação, ou influências abióticas, como a variação das condições microclimáticas? Em escalas mais amplas, como a regional ou mesmo entre regiões, as assembléias refletem os características ambientais atuais, ou os processos históricos?

O conhecimento sobre as assembléias de drosofilídeos do Cerrado ainda está no início. Muitas novas ocorrências ainda estão sendo registradas para o bioma e existe a probabilidade de descrição de novas espécies. Isto porque alguns centros de diversidade já reconhecidos no bioma nunca foram amostrados. Apesar do grande esforço de coletas, bem

como do grande esforço para inserir o presente trabalho em um contexto de relevância científica, este tem caráter exploratório e descritivo e os seus resultados representam apenas o começo da história. O presente trabalho cumprirá o desafio maior somente se estimular pesquisas futuras que testem as hipóteses levantadas nesta investigação.