

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA
RECURSOS AMAZÔNICOS

AMANDA DE MESQUITA GONÇALVES

**EFEITOS DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL SOBRE A ASSEMBLEIA DE
HISTERIDAE (COLEOPTERA: INSECTA) EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA
DENSE NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Itacoatiara, Amazonas

2020

AMANDA DE MESQUITA GONÇALVES

**EFEITOS DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL SOBRE A ASSEMBLEIA DE
HISTERIDAE (COLEOPTERA: INSECTA) EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA
DENSE NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, área de concentração Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Recursos Amazônicos.

Linha de pesquisa: Agrobioenergia, análise e manejo de recursos amazônicos.

Orientador: Dr. Louri Klemann Júnior
Coorientador: Dr. Fernando Willyan Trevisan Leivas

Itacoatiara, Amazonas

2020

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

G643e Gonçalves, Amanda de Mesquita
Efeitos do Manejo Florestal Sustentável sobre a assembleia de
Histeridae (Coleoptera: Insecta) em uma Floresta Ombrófila Densa
na Amazônia brasileira / Amanda de Mesquita Gonçalves . 2020
62 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Lourí Klemann Júnior
Coorientador: Fernando Willyan Trevisan Leivas
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos
Amazônicos) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Biodiversidade. 2. Espécies Indicadoras. 3. Índices funcionais.
4. Besouros. 5. Histerídeos. I. Klemann Júnior, Lourí. II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

Amanda de Mesquita Gonçalves

Efeitos do Manejo Florestal Sustentável sobre a assembleia de Histeridae (Coleoptera, Insecta) em uma floresta ombrófila densa na Amazônia brasileira.

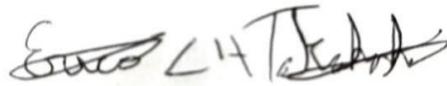
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, área de concentração Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Recursos Amazônicos.

Aprovado(a) em 13 de agosto de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Louri Klemann Júnior (PPGCTRA);
PRESIDENTE



Prof. Dr. Erico Luis Hoshiba Takahashi (PPGCTRA);
MEMBRO



Prof. Dr. Ricardo Augusto Serpa Cerboncini (UEA)
MEMBRO

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

A Deus, por absolutamente tudo.

Aos meus pais e a toda minha família por serem a minha base, meu alicerce, pelo apoio e incentivo de todos os dias.

Ao meu namorado e companheiro de vida Marcos Antônio, por todo o apoio psicológico, pelo cuidado, compreensão e por todas as suas sugestões e contribuições para melhoria do trabalho.

Ao meu orientador professor Dr. Louri Klemann por toda atenção e paciência no decorrer de todo o trabalho.

Ao meu coorientador professor Dr. Fernando Leivas pela dedicação e paciência na identificação do material e por toda sua contribuição para a pesquisa.

Ao professor Dr. Ricardo Augusto (Guto) por dispor do seu tempo para contribuir com as análises e correções.

À empresa Mil Madeiras Preciosas pela disponibilidade da área para a coleta de dados e por todo o apoio concedido.

Aos meus amigos Lucas Fonseca, Ana Laura Santana, Lissiane Freire, Fellip Marinho, pelos bons e divertidos momentos e por sempre estarem dispostos a ajudar.

À minha querida amiga Cristyne Barbosa por toda força, incentivo e apoio no início desta jornada.

Às minhas amigas Andressa Vitória e Luana Baraúna pelo apoio e motivação diária, pelas alegrias e tristezas divididas.

Aos colegas Luana Baraúna, Roberta Moura, Yan Lucas e Jarleson Lopes pela parceria em campo.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR) e à toda galera do Laboratório de Pesquisa em Coleoptera (LAPCOL) pela receptividade, em especial aos queridos Ana Dierings, Dailson Moura e Ana Buss, pela amizade e ajuda com o material.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão da bolsa.

E a todos aqueles que contribuíram e torceram para que tudo desse certo... Muito obrigada!

*“É através de seus próprios infortúnios
que uma pessoa se torna sagaz.”
Freud*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
EPÍGRAFE.....	v
RESUMO GERAL.....	8
INTRODUÇÃO GERAL.....	9
APRESENTAÇÃO.....	10
REFERÊNCIAS.....	11
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	15
1. CAPÍTULO I: IMPACTOS DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL SOBRE A ASSEMBLEIA DE HISTERIDAE EM UMA FLORESTA DE TERRA FIRMA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	16
RESUMO.....	17
ABSTRACT.....	18
INTRODUÇÃO.....	19
1.1 METODOLOGIA.....	22
1.1.1 Caracterização da área de estudo.....	22
1.1.2 Coleta de dados.....	23
1.1.3 Análise de dados.....	25
1.2 RESULTADOS.....	26
1.3 DISCUSSÃO.....	33
REFERÊNCIAS.....	36
2. CAPÍTULO II: INFLUÊNCIA DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL SOBRE A DIVERSIDADE FUNCIONAL DE HISTERIDAE (COLEOPTERA: INSECTA) EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	42
RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
INTRODUÇÃO.....	45
2.1 METODOLOGIA.....	47
2.1.1 Caracterização da área de estudo.....	47
2.1.2 Coleta de dados.....	48

2.1.3 Análise de dados.....	49
2.2 RESULTADOS.....	50
2.3 DISCUSSÃO.....	55
REFERÊNCIAS.....	58

RESUMO GERAL

As florestas tropicais oferecem serviços ecossistêmicos essenciais para a manutenção da vida no planeta, no entanto, estas florestas têm sofrido impactos com a modificação de ambientes naturais por meio de ações antrópicas. Estes impactos podem ser mitigados a partir do aprimoramento das práticas de extração dos recursos naturais. O manejo florestal sustentável surge como uma alternativa de uso sustentável das florestas tropicais, conciliando o uso dos recursos madeireiros com a manutenção da biodiversidade. Mas, mesmo buscando técnicas que minimizem impactos no ecossistema, o manejo florestal sustentável pode ainda causar efeitos negativos nestes ambientes. Assim, a identificação e o uso de grupos animais sensíveis às alterações ambientais, como os besouros da família Histeridae (Insecta: Coleoptera), podem contribuir para a avaliação e o aprimoramento de práticas que reduzam os impactos ao ecossistema. Desse modo, nosso objetivo foi avaliar os efeitos da exploração madeireira de baixo impacto sobre a assembleia de Histeridae em uma floresta de terra firme na Amazônia brasileira. Nós identificamos espécies indicadoras das áreas exploradas e não explorada e avaliamos os efeitos do tempo transcorrido após a exploração madeireira, da estação do ano (seca e chuvosa) e do volume explorado de madeira sobre a assembleia de Histeridae. Ainda, considerando a inexistência de estudos que avaliam os efeitos das alterações ambientais na diversidade funcional de besouros da família Histeridae, nós avaliamos como a diversidade funcional dos histerídeos foi afetada pelo manejo florestal sustentável e pelo tempo transcorrido após a exploração madeireira nas duas estações. Para isso, foram amostradas 11 áreas exploradas (2004 a 2018) e uma área não explorada. Nós utilizamos 240 armadilhas de interceptação de voo para realizar um levantamento qualitativo e quantitativo e para avaliar os índices de diversidade funcional dos histerídeos nas áreas amostradas nas duas estações do ano. Para comparação da diversidade funcional entre as áreas e estações, nós calculamos três índices: riqueza funcional (FRic), uniformidade funcional (FEve) e dispersão funcional (FDis). Foram coletados 2.346 indivíduos distribuídos em 11 gêneros e 61 espécies/morfoespécies. A riqueza, a abundância e a estrutura da assembleia de Histeridae sofreram influência da estação do ano, do tempo transcorrido após a exploração madeireira e do volume de madeira explorado. Foram identificadas 12 espécies indicadoras do ambiente não explorado, sendo uma morfoespécie indicadora do ambiente explorado. Houve redução da riqueza e da abundância nas áreas exploradas, principalmente na estação seca. Houve ainda variação da estrutura entre as áreas exploradas e não explorada nas diferentes estações de amostragem. Nós identificamos 19 grupos funcionais e 41 espécies com a forma do corpo ovoide convexo e nove espécies com apêndices com hipertrofia. A maior parte das espécies de besouros Histeridae estiveram associadas a esterco e a insetos sociais. Classificamos 27 espécies como mesohisterídeos e 27 como microhisterídeos. A riqueza, uniformidade e dispersão funcional sofreram influência das diferentes estações do ano e apenas a riqueza e uniformidade funcional foram afetadas pelo tempo transcorrido após a exploração madeireira. Apontamos impactos do manejo florestal sustentável sobre a assembleia de Histeridae, com redução da riqueza de espécies e da abundância de indivíduos nas áreas exploradas, especialmente durante a estação seca. Nosso estudo demonstra a eficiência do uso desta família na detecção de mudanças no ambiente florestal e a importância da assembleia de Histeridae como bioindicadora. Nossos resultados ainda sugerem mudanças na diversidade funcional de histerídeos ocasionadas pelas estações do ano e pelo tempo transcorrido após a exploração. Comparando cada área explorada com a área não explorada notamos uma perda de riqueza funcional e um aumento de uniformidade funcional nas áreas exploradas. O conjunto de áreas exploradas sustentaram a maior parte dos grupos funcionais encontrados. Isto sugere que o impacto na diversidade funcional dos besouros da família de

Histeridae ocasionado pelo manejo florestal sustentável em um conjunto de áreas com diferentes idades de exploração e em diferentes estágios de recuperação é baixo.

INTRODUÇÃO GERAL

As florestas tropicais oferecem serviços ecossistêmicos essenciais para a manutenção da vida no planeta (GARDNER et al., 2008; MIURA et al., 2015) e mantêm uma alta diversidade de espécies (LAURANCE, 2007). Além dos diversos serviços fornecidos (e. g. conservação da biodiversidade, armazenamento de carbono, manutenção dos recursos hídricos) (MYERS, et al., 2000; MATTOS et. al., 2018; MITCHARD, 2018), estas florestas ainda possuem um alto potencial na geração de renda a partir de atividades extrativistas (e. g. extração de frutos, óleos e resinas) (MALHI et al., 2013).

Apesar de suas importantes funções, as florestas tropicais têm sofrido impactos causados pela extração desordenada dos recursos e pela modificação destes ambientes por meio de ações antrópicas (CORLETT E PRIMACK, 2008). A falta de planejamento na exploração dos recursos naturais é a maior causa de degradação nestes ambientes (BARRETO et al., 1998). A conversão do uso da terra para outros fins (e. g. pastagens e terras agrícolas) e a exploração madeireira são as ações que mais causam degradação das florestas tropicais (BARLOW, et. al, 2016; PEARSON et al., 2017).

Diante desta degradação que as florestas tropicais vêm sofrendo, medidas de mitigação de impactos nestes ecossistemas devem ser tomadas a partir do aperfeiçoamento das práticas de extração dos recursos naturais (EDWARDS et al., 2014). Visando a redução de impactos nas atividades de exploração madeireira, o manejo florestal sustentável surge como uma alternativa de uso sustentável das florestas, conciliando o uso dos recursos madeireiros com a manutenção da biodiversidade (SCHROTH et al., 2004). Mesmo buscando técnicas que minimizem impactos do ecossistema, o manejo florestal pode ainda causar efeitos negativos nestes ambientes (SOUZA, 2012).

A identificação de grupos sensíveis e a relação destes grupos com ambientes modificados são importantes informações com potencial para contribuir com o aprimoramento das práticas de manejo florestal (KREMEN, 2005). Dentre estes grupos, destacam-se os insetos (Classe: Insecta), possuindo diversas ordens que facilmente identificam as alterações ambientais (WINK et al., 2005). Nesta classe está a ordem Coleoptera, que representa uma das mais abundantes e diversas da classe Insecta (SPECTOR, 2006). Na ordem Coleoptera, estão os besouros da família Histeridae que são predadores

generalistas e habitam diferentes ambientes (KOVARIK E CATERINO, 2016), o que os torna eficientes indicadores de alterações ambientais (LOPES et al., 2005; CAJAÍBA et al., 2017).

Para verificar a eficiência do manejo florestal sustentável quanto a conservação da biodiversidade, nós avaliamos os efeitos da exploração madeireira de baixo impacto sobre a assembleia de Histeridae, ao longo do tempo, em uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia brasileira. Ainda, i) realizamos um levantamento quali-quantitativo das assembleias de Histeridae associadas a 11 áreas com diferentes idades de exploração e a uma área controle; ii) identificamos espécies de Histeridae indicadoras de áreas alteradas pelo Manejo Florestal Sustentável e indicadoras de área não alterada; e iii) avaliamos o efeito do tempo transcorrido após a exploração, da estação do ano (seca ou chuva), e do volume explorado de madeira sobre o número de indivíduos, sobre o número de espécies e sobre a estrutura da assembleia de Histeridae nas áreas amostradas. Avaliamos ainda como a diversidade funcional de besouros da família Histeridae foi afetada pelo Manejo Florestal Sustentável em uma floresta ombrófila densa na Amazônia brasileira. Classificamos as espécies quanto as suas características funcionais e comparamos a riqueza, a uniformidade e a dispersão funcional entre áreas exploradas em diferentes anos (2004 a 2018) e entres as diferentes estações do ano.

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação dispõe de dois capítulos apresentados em forma de artigo científico. Ambos os capítulos são de coautoria de Louri Klemann Júnior e Fernando Willyan Trevisan Leivas. O capítulo I, apresentado aqui, está submetido para a revista *Ambiente & Sociedade*. O capítulo II será submetido para a revista *Forest Ecology and Management*.

REFERÊNCIAS

- BARLOW, J.; LENNOX, G. D.; FERREIRA, J.; BERENQUER, E.; LEES, A. C.; NALLY, R. M.; GARDNER, T. A. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**. v. 535, p. 144–147, 2016.
- BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; UHL, C. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, n.1-2, p. 9–26, 1998.
- CAJAIBA, R. L.; PÉRICO, E.; SILVA, W. B.; SANTOS, M. Seasonal patterns in the diversity of Histerid Beetles (Histeridae) are ecosystem specific? A case in Para state, northern Brazil. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, n. 4, 2017.
- CORLETT, R. T.; PRIMACK, R. B. Tropical rainforest conservation: a global perspective. **Tropical Forest Community Ecology**, p. 442-457, 2008.
- EDWARDS, D. P.; TOBIAS, J. A.; SHEIL, D.; MEIJAARD, E. & LAURANCE, W. F. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 29, n. 9, p. 511–520, 2014.
- GARDNER, T. A.; HERNÁNDEZ, M. I. M., BARLOW, J., PERES, C. A. Understanding the biodiversity consequences of habitat changes: the value of secondary and plantation forest for neotropical dung beetles. **Journal of Applied Ecology**. v. 45, p. 883–893, 2008.
- KOVARIK, P. W.; CATERINO M. S. Histeridae. In: BEUTEL, R. G.; KRISTENSEN, N. P. Handbook of Zoology, Arthropoda: Insecta, Coleoptera, Beetles. Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim), v. 1, n. 2. **Walter de Gruyter, Berlin**, 281–314, 2016.
- KREMEN, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? **Ecology Letters**, v. 8, p. 468-479, 2005.
- LAURANCE, W. F. Have we overstated the tropical biodiversity crisis? **Trends in Ecology & Evolution**, v.22, n.2, p.65-70, 2007.
- LOPES, P. P.; LOUZADA, J. N. C.; OLIVEIRA-REBOUÇAS P. L.; NASCIMENTO L. M. E SANTANA-REIS V. P. G. Resposta da comunidade de Histeridae (Coleoptera) a diferentes fisionomias da vegetação de restingas no Espírito Santo. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 25–31, 2005.
- MALHI, Y.; ADU-BREDU, S.; ASARE, R. A.; LEWIS, S. L. & MAYAUX, P. African rainforests: past, present and future. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, p. 10, 2013.
- MATTOS, J. B.; SANTOS, D. A.; FALCÃO FILHO, C. A. T.; SANTOS, T. J.; SANTOS, M. G. DOS; DE PAULA, F. C. F. Water production in a Brazilian montane rainforest: Implications for water resources management. **Environmental Science & Policy**, v, 84, p. 52-59, 2018.
- MITCHARD, E. T. A. The tropical forest carbon cycle and climate change. **Nature**. v. 559, p. 527–534, 2018.
- MIURA, S. et al., Protective functions and ecosystem services of global forests in the past quarter-century. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 35-46, 2015.

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

PEARSON, T.; S. BROWN; L. MURRAY; G. SIDMAN. Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. **Carbon Balance Management**, p. 11, 2017.

SCHROTH, G. et al. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. **Washington, DC, Island Press**, p. 523, 2004.

SOUZA, C., J. Monitoring of Forest Degradation. In: ACHARD, F., HANSEN, M.C. Global Forest Monitoring from Earth Observation. **CRC Press: Boca Raton, FL, USA**, p.185–208, 2012.

SPECTOR, S. Scarabaeine dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. **The Coleopterists Bulletin**, v. 60, p. 71-83, 2006.

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, n. 1, p. 60-71, 2005.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

- Figura 1** – Localização geográfica da área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas.....22
- Figura 2** – Representação esquemática da armadilha instalada em campo. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas.....24
- Figura 3** – Abundância de espécies entre áreas exploradas e não explorada na estação seca e na estação chuvosa. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas.....27
- Figura 4** – *Boxplot* comparando a riqueza de espécies (A), (B), a abundância de indivíduos e o volume explorado de madeira em um raio de 100 m (C), (D) entre as diferentes estações de coleta em cada área amostrada. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas. Os “x” indicam as médias de riqueza de espécies e abundâncias de indivíduos. Os círculos pretos representam as médias de volume explorado em m³/ha.....29
- Figura 5** – Primeiro eixo da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) da estrutura da assembleia de Histeridae em 11 áreas exploradas e em uma área não explorada na estação seca (A) e na estação chuvosa (B). Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas Os “x” indicam as médias de riqueza de espécies e abundâncias de indivíduos. Os círculos pretos representam as médias de volume explorado em m³/ha.....30

Capítulo II

- Figura 1** – Localização geográfica da área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil.....47
- Figura 2** – Classificação dos grupos funcionais de besouros e presença e ausência de espécies da família Histeridae capturadas em diferentes estações do ano, nas áreas de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. A classificação dos grupos funcionais são combinações dos seguintes atributos: Ma: Macrohisterídeo, Me: Mesohisterídeo, Mi: Microhisterídeos. OC: Ovoide Convexa, AH: Apêndices com Hipertrofia, SC: Subparalelas Convexas, SD: Subparalelas Deprimidas, OD: Ovoide Deprimida. Est.: Esterco, IS: Insetos Sociais Car.: Carcaça, Ser.: Serapilheira, FD: Fruta em Decomposição.....51
- Figura 3** – *Boxplot* comparando a riqueza funcional nas diferentes áreas de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. A média é representada por “x”. O primeiro traço corresponde ao primeiro quartil, o segundo a mediana e o terceiro traço corresponde ao terceiro quartil. A haste vertical abaixo do primeiro quartil indica o valor mínimo, a haste acima do terceiro quartil indica o valor máximo.....53
- Figura 4** – *Boxplot* comparando a uniformidade funcional nas diferentes áreas de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. A média é representada por “x”. O primeiro traço corresponde ao primeiro quartil, o segundo a

mediana e o terceiro traço corresponde ao terceiro quartil. A haste vertical abaixo do primeiro quartil indica o valor mínimo, a haste acima do terceiro quartil indica o valor máximo.....54

Figura 5 – *Boxplot* comparando a dispersão funcional nas diferentes áreas de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. A média é representada por “x”. O primeiro traço corresponde ao primeiro quartil, o segundo a mediana e o terceiro traço corresponde ao terceiro quartil. A haste vertical abaixo do primeiro quartil indica o valor mínimo, a haste acima do terceiro quartil indica o valor máximo.....55

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

- Tabela 1** – Espécies/morfoespécies indicadoras da área não explorada. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil.....31
- Tabela 2** – Espécies/morfoespécies das áreas exploradas entre 1 – 5 anos antes da amostragem. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil.....31
- Tabela 3** – Espécies/morfoespécies das áreas exploradas entre 6 – 10 anos antes da amostragem. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil.....32
- Tabela 4** – Espécies/morfoespécies das áreas exploradas há mais de 10 anos antes da amostragem. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil.....32

1. CAPÍTULO I

IMPACTOS DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL SOBRE A ASSEMBLEIA DE HISTERIDAE EM UMA FLORESTA DE TERRA FIRME NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

As florestas tropicais abrigam grande parte da biodiversidade do planeta, além de funcionarem como estoques de carbono e contribuírem para a regulação climática. Estas florestas vêm sofrendo perturbações por ações antrópicas que resultam em alterações nas condições locais e/ou perda de habitat. Como alternativa para conciliar a exploração dos recursos da floresta com a conservação da biodiversidade surgiram formas sustentáveis de uso dos recursos naturais, como o manejo florestal sustentável. No entanto, estas atividades ainda podem provocar alterações nos ambientes naturais e na fauna associada. Desse modo, a identificação e o uso de grupos animais sensíveis às alterações ambientais, como os besouros da família Histeridae (Insecta: Coleoptera), podem contribuir para a avaliação e o aprimoramento de práticas que minimizem os impactos ao ecossistema. Assim, nosso objetivo foi avaliar os efeitos da exploração madeireira de baixo impacto sobre a assembleia de Histeridae em uma floresta de terra firme na Amazônia brasileira. Ainda, nós identificamos espécies indicadoras das áreas exploradas e não explorada e avaliamos os efeitos do tempo transcorrido após a exploração madeireira, da estação do ano (seca e chuvosa) e do volume explorado de madeira sobre a assembleia de Histeridae. Para isso, nós amostramos 11 áreas exploradas (entre 2004 e 2018) e uma área não explorada. Nós utilizamos 240 armadilhas de interceptação de voo para realizar um levantamento qualitativo e quantitativo dos Histeridae nas áreas amostradas em duas estações do ano (seca e chuvosa), totalizando 3.360 armadilhas/horas. Foram coletados 2.346 indivíduos distribuídos em três subfamílias, três tribos, 11 gêneros e 61 espécies/morfoespécies. A riqueza, abundância e estrutura da assembleia de Histeridae sofreram influência da estação do ano, do tempo transcorrido após a exploração madeireira e do volume de madeira explorado. Houve maior captura de indivíduos e de espécies de Histeridae durante a estação seca. Houve variação na estrutura da assembleia de Histeridae entre as áreas exploradas e a área não explorada, estação do ano e com o volume explorado de madeira. Foram identificadas 12 espécies indicadoras do ambiente não explorado, sendo a morfoespécie *Phelister* sp6 indicadora do ambiente explorado. Houve redução da riqueza e da abundância nas áreas exploradas, principalmente na estação seca. Houve ainda variação da estrutura da comunidade entre as áreas exploradas e não explorada nas diferentes estações de amostragem. Nossos resultados indicam que o manejo florestal sustentável causou mudanças na assembleia de Histeridae de acordo com a estação do ano, com o tempo transcorrido após a exploração e com o volume de madeira explorado, onde os efeitos destas variáveis sobre a comunidade foram mais evidentes na estação seca. Apontamos impactos do manejo florestal sustentável sobre a assembleia de Histeridae, com redução da riqueza de espécies e da abundância de indivíduos nas áreas exploradas, especialmente durante a estação seca. Nosso estudo demonstra, ainda, a eficiência do uso da família Histeridae na detecção de mudanças no ambiente florestal e a importância da assembleia de Histeridae como bioindicadora.

Palavras-chave: Floresta Amazônica. Ecologia. Impactos. Espécies indicadoras. Histerídeo.

ABSTRACT

Tropical forests are home to a large part of the planet's biodiversity, in addition to functioning as carbon stocks and contributing to climate regulation. These forests have been suffering disturbances due to human actions that result in changes in local conditions and / or loss of habitat. As an alternative to reconcile the exploitation of forest resources with the conservation of biodiversity, sustainable ways of using natural resources have emerged, such as sustainable forest management. However, these activities can still cause changes in natural environments and associated fauna. Thus, the identification and use of animal groups sensitive to environmental changes, such as beetles of the family Histeridae (Insecta: Coleoptera), can contribute to the evaluation and improvement of practices that minimize impacts to the ecosystem. Thus, our objective was to evaluate the effects of low impact logging on the Histeridae assembly in a terra firma forest in the Brazilian Amazon. In addition, we identified species that are indicative of explored and unexplored areas and evaluated the effects of the time elapsed after logging, the season (dry and rainy) and the volume of wood explored on the Histeridae assembly. For this, we sampled 11 areas explored (between 2004 and 2018) and one area not explored. We used 240 flight interception traps to carry out a qualitative and quantitative survey of Histeridae in the areas sampled in two seasons (dry and rainy), totaling 3,360 traps / hours. 2,346 individuals were collected, distributed in three subfamilies, three tribes, 11 genera and 61 species / morphospecies. The wealth, abundance and structure of the Histeridae assembly were influenced by the season, the time elapsed after logging and the volume of wood harvested. There was a greater capture of individuals and species of Histeridae during the dry season. There was variation in the structure of the Histeridae assembly between the explored areas and the unexplored area, season of the year and with the explored volume of wood. Twelve species that identified the unexplored environment were identified, with the morphospecies *Phelister* sp6 indicating the explored environment. There was a reduction in wealth and abundance in the areas explored, especially in the dry season. There was also variation in the community structure between the areas explored and not explored in the different sampling stations. Our results indicate that sustainable forest management caused changes in the Histeridae assembly according to the season, with the time elapsed after logging and the volume of wood harvested, where the effects of these variables on the community were more evident in the season dry. We point out impacts of sustainable forest management on the Histeridae assembly, with a reduction in species richness and in the abundance of individuals in the areas explored, especially during the dry season. Our study also demonstrates the efficiency of using the Histeridae family in detecting changes in the forest environment and the importance of the Histeridae assembly as a bioindicator.

Keywords: Amazon rainforest. Ecology. Impacts. Indicator species. Histerid beetle.

INTRODUÇÃO

As florestas tropicais desempenham funções sociais, econômicas e ambientais (KHASA E DANCIK, 1998), geram riquezas e mantêm grande parte da biodiversidade do planeta (MYERS, et al., 2000; GARDNER et al., 2008). Estes ecossistemas contribuem para a regulação climática, para o armazenamento de carbono (MITCHARD, 2018), para a conservação da biodiversidade e para a geração de renda por meio de atividades extrativistas (MALHI et al., 2013). Com isso, o interesse mundial por estas florestas têm crescido ao longo do tempo.

Apesar da importância econômica, social e ambiental destas florestas, ações antrópicas vêm causando perturbações nestes ambientes naturais (LAURIN, et al., 2016; MARTÍNEZ-RAMOS et al., 2016; ALROY, J., 2017). As florestas tropicais têm sido afetadas por interesses econômicos nos produtos florestais madeireiros e no uso da terra para outras atividades produtivas (LAURANCE, 2015), sendo a falta de planejamento na exploração desses recursos a maior causa de degradação (BARRETO et al., 1998). Os maiores impactos a este bioma são causados pela conversão de áreas de floresta em pastagens e terras agrícolas (BARLOW, et. al, 2016), pela abertura de estradas (CHEN E KOPROWSKI, 2016), e pela exploração desordenada de madeira (CARIELLO, 2008; PEARSON et al., 2017). Estas atividades causam alterações nas condições locais dos fatores bióticos e abióticos e resultam em mudanças ou perda completa de habitats (SCHULDT et al., 2018).

Como alternativa para conciliar o uso dos recursos madeireiros com a conservação da biodiversidade surgiu o manejo florestal sustentável. Esta forma de exploração dos recursos florestais tem por objetivo a produção sustentável e a manutenção da qualidade, da composição, e da diversidade da floresta (EDWARDS et al., 2014). O manejo florestal sustentável abrange diversas atividades, como a exploração madeireira e o manejo de frutos, resinas e óleos (NOGUEIRA et al., 2011). A partir de técnicas adequadas, o manejo garante a continuidade da produção e reduz o desperdício de madeira, agregando valor aos produtos florestais no mercado mundial (ANGELO et al., 2014). Além desses benefícios, o manejo florestal também gera emprego e reduz os impactos na floresta, contribuindo para a regulação do clima, para a manutenção da biodiversidade, e para a proteção do solo, da água e do ar (ROSSETI, 2013).

Apesar dos benefícios que o manejo florestal oferece, a exploração madeireira pode provocar alterações nos ambientes naturais e na fauna associada (BORGES, 2006). Dentre os

aspectos da exploração madeireira mais relacionados as mudanças da composição florística, da estrutura da floresta e das comunidades animais estão a intensidade da exploração e o tempo pós-exploração (HENRIQUES et al., 2008). As alterações no ambiente florestal provocadas pela exploração dos recursos madeireiros podem afetar o funcionamento e a dinâmica dos ecossistemas e ocasionar uma série de perdas na biodiversidade, afetando os bens e serviços prestados pela floresta (AUGUSTYNCZIK; YOUSEFPOUR E HANEWINKEL, 2018).

As atividades antrópicas em ambientes naturais provocam mudanças na paisagem e alteram a abundância e a riqueza das espécies animais (GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ et al., 2015). As relações interespecíficas e interações entre os organismos e o ambiente florestal (EDWARDS et al., 2014) geram respostas simultâneas de diferentes comunidades a variações e alterações ambientais. Com isso, a identificação de grupos sensíveis e a compreensão da resposta desses grupos a determinadas alterações ambientais podem contribuir para a avaliação e o aprimoramento de práticas que minimizem os impactos ao ecossistema (COSTANTINI, EDWARDS E SIMONS, 2016).

Dentre os animais, a classe Insecta possui diversos grupos que notoriamente refletem alterações ambientais, sendo eficientes bioindicadores (WINK et al., 2005). Ainda, dentre os grupos de insetos podemos citar as ordens Lepidoptera (FREITAS et al., 2016), Hymenoptera, (UNDERWOOD E FISHER, 2006) e Coleoptera (SAMPAIO et al., 2009) como as mais eficientes no monitoramento ambiental, sendo as famílias de besouros com hábitos carnívoros as mais predominantes em áreas conservadas (GANHO E MARINONI, 2003; GANHO E MARINONI, 2005). Dentre estas famílias de Coleoptera, Histeridae vem sendo recentemente usada como indicadora em diferentes estações climáticas (CAJAÍBA et al., 2017) e habitats (MARTÍN-VEJA et al., 2015; VIEIRA; NASCIMENTO E LEIVAS, 2018). Esta família é composta por besouros medindo de 0,7 mm a 30 mm de comprimento, com formas corporais variadas (comumente convexas e compactos; KOVARIK E CATERINO, 2016). São predadores de outros insetos e ocorrem em diferentes habitats, como fezes, troncos, materiais em decomposição (frutos, serapilheira, vegetação em geral), ninhos de aves e tocas de mamíferos ou répteis (LEIVAS; GROSSI E ALMEIDA, 2013). Além do seu uso recente como indicadores de alterações ambientais, os histerídeos têm grande importância na entomologia forense, consumindo ovos e larvas de díptera em carcaças (CELLI et al., 2015; MASHALY, 2017). Suas características biológicas fazem deste um grupo importante em

diferentes processos ecossistêmicos (SHAYYA et al., 2018) e reforçam o seu uso potencial como bioindicadores.

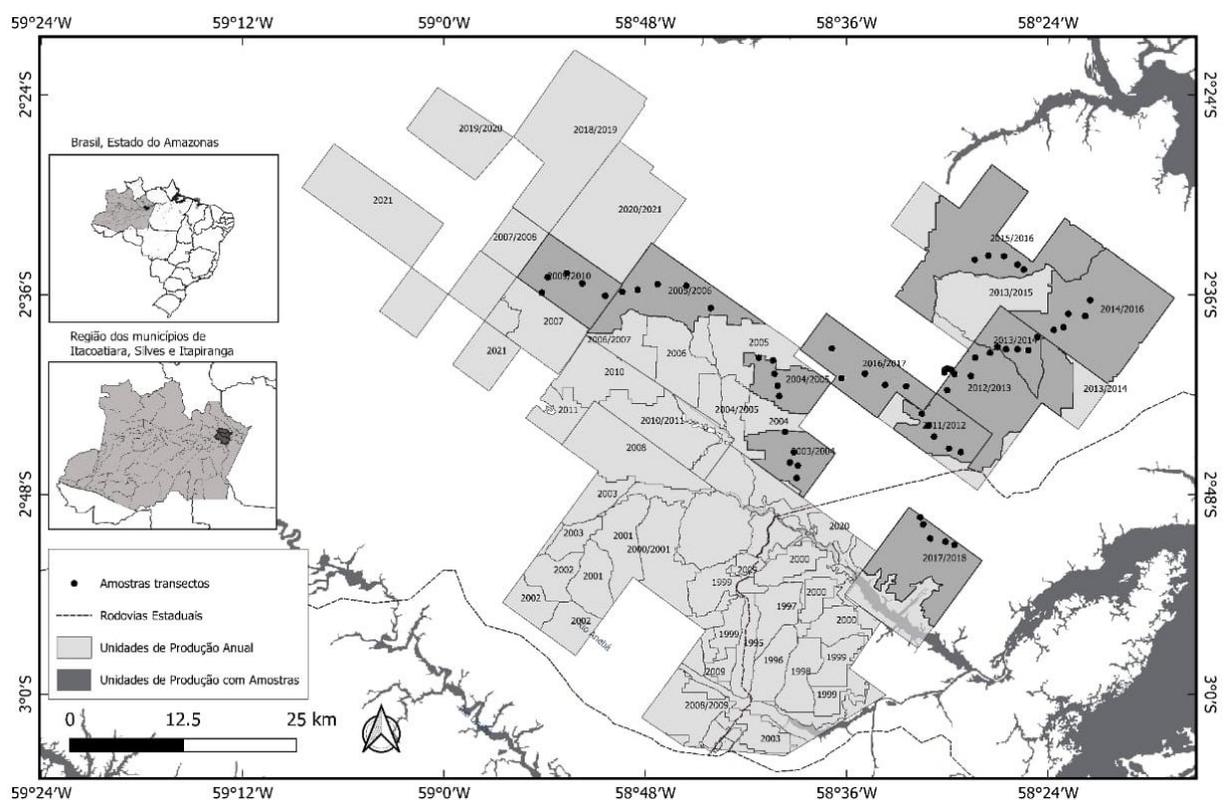
Considerando a importância econômica e conservacionista da atividade madeireira e para avaliarmos se o objetivo do manejo florestal sustentável de conservação da biodiversidade foi atingido, é necessário o monitoramento das mudanças causadas no ambiente florestal após a exploração. Ainda, o uso de bioindicadores, como os besouros da família Histeridae, pode auxiliar na avaliação dos impactos do manejo florestal sobre a biodiversidade. Assim, nosso objetivo foi avaliar os efeitos da exploração madeireira de baixo impacto sobre a assembleia de Histeridae, ao longo do tempo, em uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia brasileira. Mais especificamente nós i) realizamos um levantamento quali-quantitativo das assembleias de Histeridae associadas a 11 áreas com diferentes idades de exploração e a uma área controle; ii) identificamos espécies de Histeridae indicadoras de áreas alteradas pelo Manejo Florestal Sustentável e indicadoras de área não alterada; e iii) avaliamos o efeito do tempo transcorrido após a exploração, da estação do ano (seca ou chuva), e do volume explorado de madeira sobre o número de indivíduos, sobre o número de espécies e sobre a estrutura da assembleia de Histeridae nas áreas amostradas.

1.1 METODOLOGIA

1.1.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em um conjunto de áreas pertencentes à empresa Mil Madeiras Preciosas, localizadas nos municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga, no estado do Amazonas (Figura 1). A área total das propriedades da empresa é de cerca de 422.549,04 ha, sendo 263.067,46 ha de áreas manejadas (PWA, 2019).

Figura 1 – Localização geográfica da área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil



Com base na classificação de Köppen-Geiger, o tipo climático na área de estudo pertence ao Grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e a variedade climática Amw (Clima Tropical de Monções) (PEEL; FINLAYSON E MCMAHON, 2007), com ocorrência de uma estação seca de pequena duração em função do elevado índice de precipitação pluviométrica (2.500 mm/ano). A temperatura média anual é de 28°, com máxima de 32,6° C e mínima de 23,6 °C, e umidade relativa do ar entre 80% e 85% (INMET, 2016/2017). O solo da região é constituído por variações de Latossolo Amarelo Distrófico, com textura argilosa e fertilidade baixa (PWA, 2019). A vegetação predominante na área é classificada como Floresta

Ombrófila Densa de terra firme, caracterizada por árvores de grande porte, além da alta diversidade e abundância de lianas lenhosas e epífitas (IBGE, 2012).

O sistema de exploração de impacto reduzido utilizado pela Mil Madeiras Preciosas segue o *Celos Management System* (CMS) desenvolvido pela *Wageningen Agricultural University*. Este sistema é classificado como policíclico e planejado obedecendo o tempo de recuperação do ambiente florestal (DE GRAAF, 1986). Neste sistema o corte seletivo é realizado em espécies florestais de valor comercial, onde as árvores ao atingirem o tamanho ideal de corte (50 cm de diâmetro) são exploradas, e aquelas de tamanho intermediário permanecem em estoque para o próximo ciclo de corte (em média de 35 anos) (FURTADO, 2009). A média histórica de volume explorado registrada no Plano de Manejo da empresa Mil Madeiras Preciosas é de 17m³/ha (PWA, 2019).

1.1.2 Coleta de dados

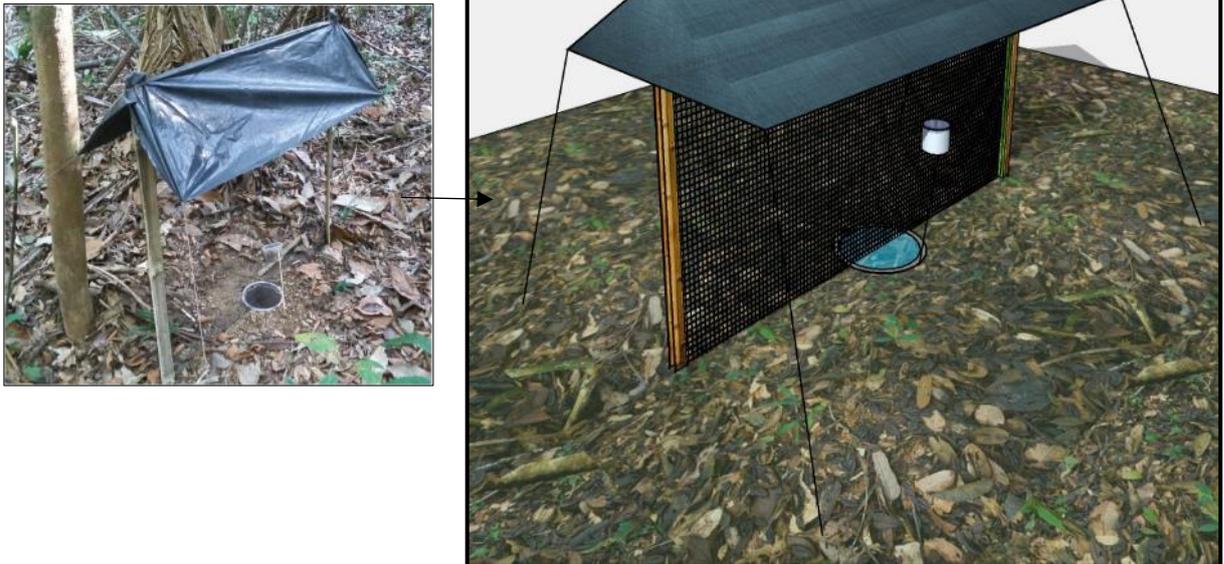
Para avaliar os impactos do Manejo Florestal Sustentável sobre a assembleia de Histeridae foram amostradas 12 áreas localizadas na área certificada de exploração madeireira da empresa. Das 12 áreas, 11 são áreas que sofreram exploração nos anos de 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006, 2009/2010, 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 e uma corresponde a área não explorada.

Em cada área foram delimitados cinco transectos com 30 m de extensão, distantes 100 m da estrada de acesso para reduzir o efeito de borda e 2 km entre si. Em cada transecto foram instaladas quatro armadilhas, distantes 10 m entre si, resultando em um total de 20 armadilhas por área e 240 armadilhas em cada amostragem. Foram realizadas duas amostragens durante o estudo, sendo uma na estação seca (outubro) e uma na estação chuvosa (maio). As armadilhas ficaram dispostas em campo no período de sete dias/168 horas.

Para a captura dos indivíduos da família Histeridae foram utilizadas armadilhas de interceptação de voo (MILHOMEM; VAZ DE MELLO E DINIZ, 2003; DEGALLIER; LEIVAS E MOURA, 2011), feitas com recipientes plásticos com capacidade para 2 litros (14 cm de diâmetro x 17 cm de altura) enterrados e com a abertura no nível do solo. A estrutura para interceptação de voo consistiu de um tecido do tipo tule com 0,90 m de largura e 1,15 m de altura fixado em duas estacas de bambu. Acima das armadilhas foram utilizadas iscas (50 g/armadilha) feitas de fezes suínas (90%) e fezes humanas (10%), dispostas em recipiente

plástico de 145 ml. As armadilhas foram cobertas com lona preta, presa às estacas de bambu, para evitar perda de material por transbordamento ocasionado pela água da chuva (Figura 2).

Figura 2 – Representação esquemática da armadilha instalada em campo. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil



Para a captura e conservação dos exemplares nas armadilhas foi utilizada uma solução composta por 500 ml de água, 2% de detergente e 25 g de sal. As armadilhas permaneceram em campo durante sete dias e sete noites. Todo o material coletado foi armazenado em álcool 92,8% e posteriormente triado. Os indivíduos da família Histeridae foram separados, montados em alfinetes entomológicos e secos em estufa a $\pm 45^{\circ}$ C. Para a identificação dos exemplares capturados foram utilizadas chaves de identificação e os indivíduos foram comparados aos exemplares disponíveis na Coleção Entomológica do Setor Palotina (CESP/UFPR), Universidade Federal do Paraná. O material montado e etiquetado foi tombado nas coleções do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas e da Coleção Entomológica do Setor Palotina (CESP/UFPR), Universidade Federal do Paraná. Os dados de intensidade média de exploração, calculada por hectare, e volume explorado de madeira em cada transecto amostrado foram obtidos a partir dos relatórios pós-exploratórios anuais da empresa Mil Madeiras Preciosas (PWA, 2019). Para calcularmos o volume explorado de madeira em cada transecto nós somamos os volumes individuais de cada árvore abatida dentro de um raio de 100 m ao redor de cada transecto.

1.1.3 Análise de dados

Para verificar a existência de dependência espacial nos dados de riqueza, de abundância e de estrutura da assembleia de Histeridae utilizamos uma análise de Mantel (MANTEL, 1967). Todas as análises estatísticas descritas foram efetuadas no software R (R Development Core Team, 2020).

Para determinar as espécies indicadoras dos ambientes amostrados foi utilizado o valor de indicação (Indicator Value – IndVal) de cada espécie, sendo considerada espécie indicadora aquela que apresentou valor de $p < 0,1$. O IndVal é calculado a partir da especificidade e da fidelidade das espécies nas áreas amostradas, podendo, dessa forma, apontar as espécies indicadoras de cada ambiente (DUFRENE E LEGENDRE, 1997). Para esta análise foram utilizadas como unidade amostral cada transecto em cada estação e as áreas foram agrupadas de acordo com o tempo transcorrido após a exploração em: i) áreas exploradas entre 1 e 5 anos antes da amostragem, ii) áreas exploradas entre 6 e 10 anos, iii) áreas exploradas há mais de 10 anos e iv) área não explorada. Os tempos de exploração foram divididos em três grupos visto que as áreas de estudos variavam de 1 a 15 anos após a exploração. Estes agrupamentos foram definidos como: maior no período de 1 a 5 anos, intermediária no período de 6 a 10 e menor no período maior do que 10 anos.

Para avaliar o efeito do tempo transcorrido após a exploração, da estação do ano (seca ou chuva), e do volume explorado de madeira em um raio de 100 m ao redor das amostras sobre o número de indivíduos e de espécies de Histeridae, incluindo as interações entre essas variáveis, foi utilizado um Modelo Linear Generalizado (MLG). Foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos resíduos ao nível 0,05 de significância. Para estas análises foram utilizados o total de espécie (riqueza) e o total de indivíduos (abundância) em cada transecto, obtido pela soma do número de indivíduos e do número de espécies de cada uma das quatro armadilhas de cada transecto. A interação entre as variáveis preditoras (tempo transcorrido após a exploração, estação do ano e volume explorado) e as variáveis respostas (riqueza e abundância) foi avaliada graficamente.

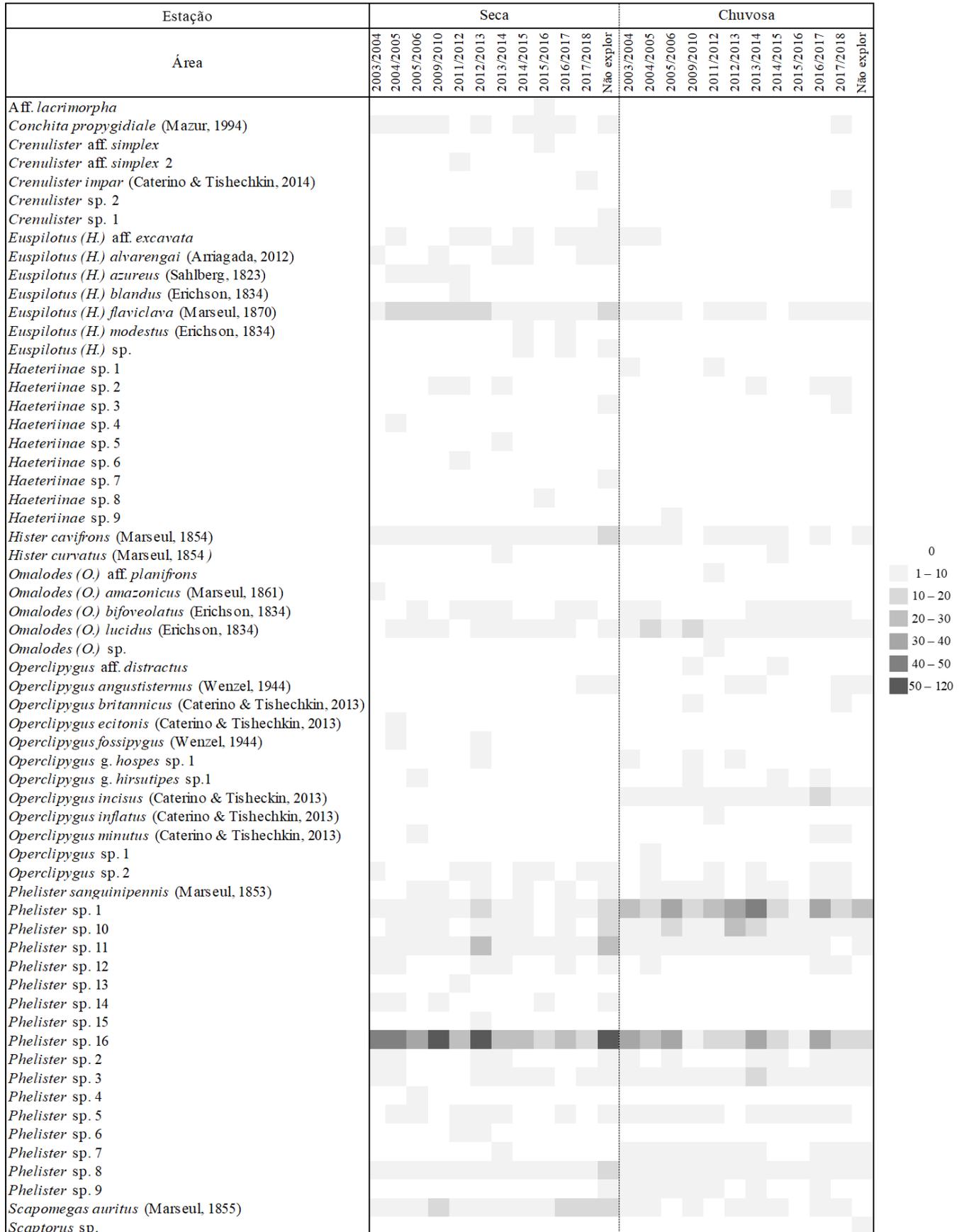
Para avaliarmos o efeito do tempo transcorrido após a exploração, da estação do ano (seca ou chuva), e do volume explorado de madeira em cada transecto sobre a estrutura da assembleia de Histeridae nós utilizamos uma Análise de Variância Multivariada com Permutação (PERMANOVA). Este método não paramétrico, similar a análise de variância (ANOVA), usa permutações para avaliar diferenças entre grupos (ANDERSON et al., 2006).

Esta análise foi realizada a partir de uma matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis (ANDERSON, 2001; MCARDLE E ANDERSON, 2001), calculada com base na abundância de indivíduos por espécie em cada transecto padronizada com o método Hellinger. Para avaliarmos visualmente as diferenças na estrutura da assembleia de Histeridae entre áreas e entre estações do ano utilizamos o primeiro eixo de uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA – Principal Coordinate Analysis) aplicada a mesma matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis.

1.2. RESULTADOS

Foram coletados 2.346 indivíduos da família Histeridae, distribuídos em três subfamílias, três tribos, 11 gêneros e 61 espécies/morfoespécies, sendo *Phelister* sp. 16 (766 indivíduos) a mais abundante nas duas estações de coleta (seca = 535, chuvosa = 231). Foram capturados 1.235 indivíduos de 50 espécies na estação seca e 1.111 indivíduos de 38 espécies na estação chuvosa. O número de indivíduos por área variou de 56 (área 2015/2016) a 337 (área 2012/2013) e o número de espécies de 19 (área 2015/2016) a 29 (área 2011/2012) (Figura 3).

Figura 3 – Abundância de espécies de Histeridae nas áreas exploradas e não explorada na estação seca e na estação chuvosa. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil

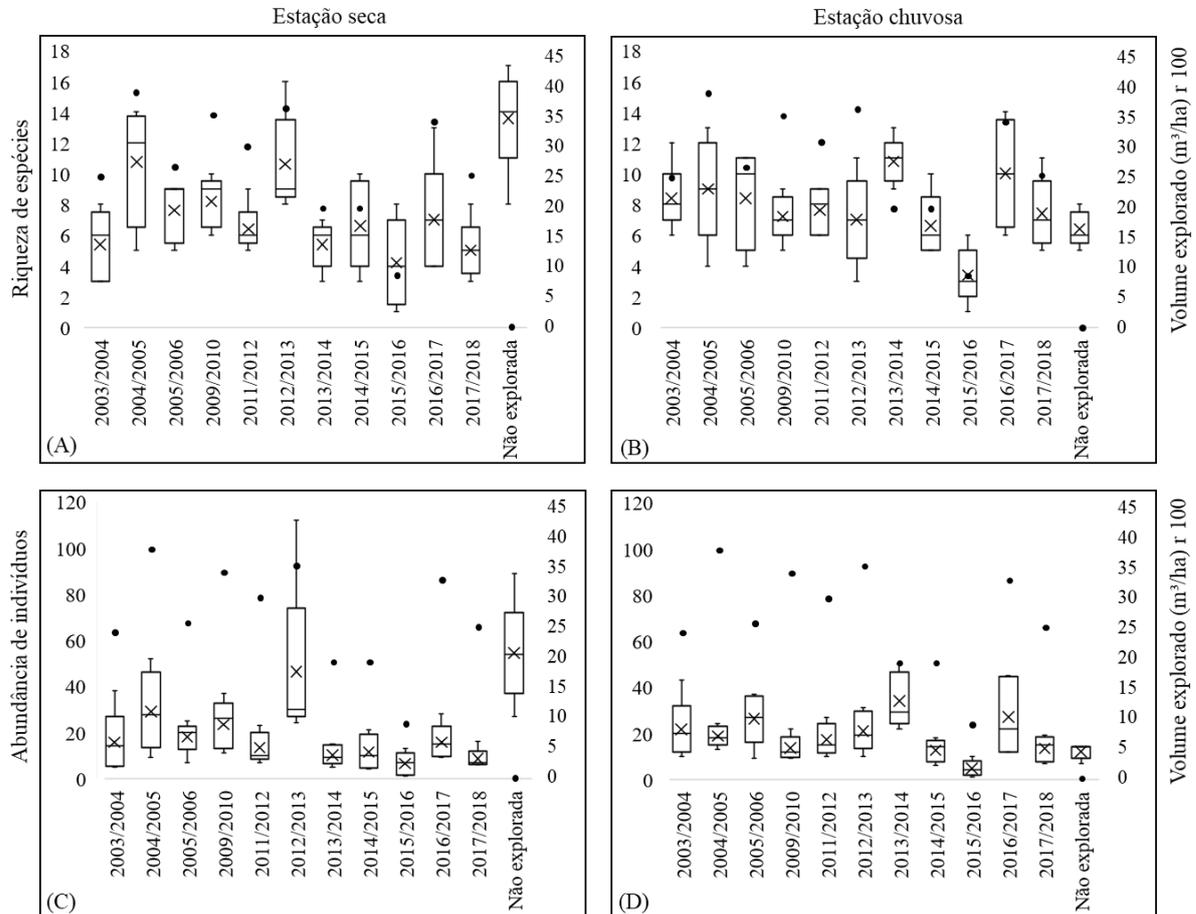


O teste de Mantel revelou que a riqueza ($r=-0,040$, $p=0,825$), a abundância ($r=-0,013$, $p=0,618$) e a estrutura ($r=0,048$, $p=0,078$) da assembleia de Histeridae não apresentam dependência espacial significativa.

A análise sobre o MLG indicou que a interação entre tempo transcorrido após a exploração e estação do ano influenciaram a riqueza de espécies da assembleia de Histeridae ($\chi^2=47.23$, $p<0.001$). Analisando graficamente notamos que na estação seca (Figura 4A) houve uma redução da riqueza em todas as áreas exploradas quando comparadas a área não explorada. Já, durante a estação chuvosa (Figura 4B), a riqueza diferiu entre a área não explorada e as áreas exploradas há 2, 3, 5 e 15 anos após a exploração (Figura 4A).

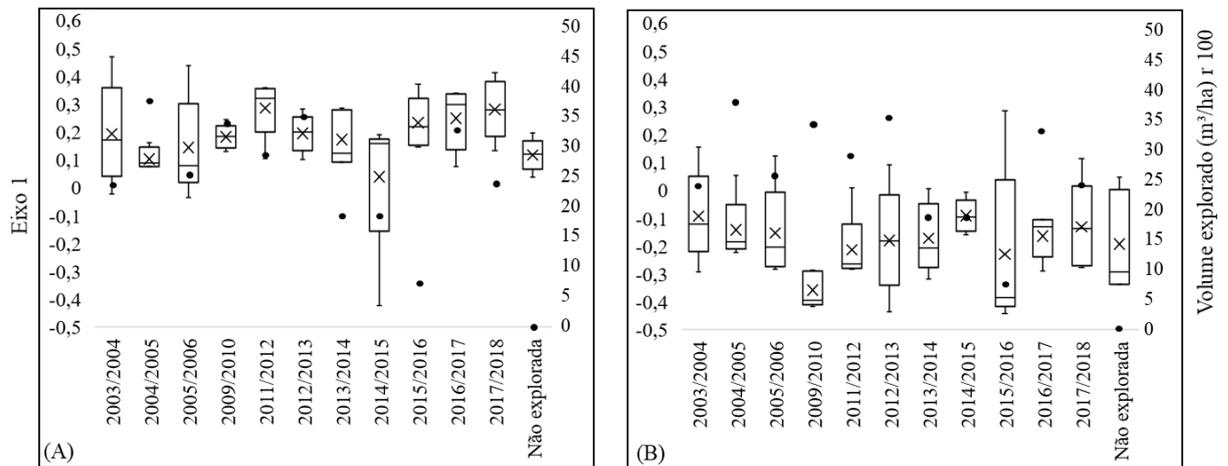
Da mesma forma, a interação entre o tempo transcorrido após a exploração, a estação do ano e o volume de madeira explorado afetou a abundância de Histeridae ($\chi^2=20.720$, $p=0.02313$) (Figura 4C – 4D). Houve redução no número de indivíduos na estação seca em todas as áreas exploradas quando comparadas a área não explorada (Figura 4C). Na estação chuvosa, houve diferença no número de indivíduos nas áreas exploradas há 2, 3, 5 e 14 anos após a exploração quando comparadas a área não explorada (Figura 4D). Observamos, ainda, maior abundância na área não explorada e, entre as áreas exploradas, maior número de indivíduos nas áreas com maiores intensidades de exploração.

Figura 4 – *Boxplot* comparando a riqueza de espécies (A), (B), a abundância de indivíduos e o volume explorado de madeira em um raio de 100 m (C), (D) entre as diferentes estações de coleta em cada área amostrada. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas. Os “x” indicam as médias de riqueza de espécies e abundâncias de indivíduos. Os círculos pretos representam as médias de volume explorado em m³/ha.



A PERMANOVA indicou que a estrutura da assembleia de Histeridae variou de acordo com as interações entre tempo transcorrido após a exploração e estação do ano ($F=1,49$, $p=0,018$), tempo transcorrido e volume explorado de madeira ($F=2,97$, $p=0,018$) e estação do ano e volume explorado ($F=1,47$, $p=0,022$). Observamos variação na estrutura da assembleia de Histeridae ao longo do tempo transcorrido após a exploração e entre áreas exploradas e área não explorada (Figura 5). Ainda houve variação da estrutura com a estação do ano e com o volume explorado de madeira (Figura 5).

Figura 5 – Primeiro eixo da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) da estrutura da assembleia de Histeridae em 11 áreas exploradas e em uma área não explorada na estação seca (A) e na estação chuvosa (B). Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas Os “x” indicam as médias de riqueza de espécies e abundâncias de indivíduos. Os círculos pretos representam as médias de volume explorado em m³/ha.



Ao analisar o potencial de indicação das espécies, segundo os critérios de especificidade e fidelidade do valor de indicação (Indicator Value – IndVal) (DUFRENE E LEGENDRE, 1997), encontramos 12 espécies indicadoras da área não explorada (Tabela 1). Encontramos, também, uma morfoespécie, *Phelister* sp. 6 (IndVal=0,316, p=0,046), como indicadora das áreas exploradas entre 6 e 10 anos. Não encontramos espécies indicadoras das áreas exploradas entre 1 e 5 anos e há mais de 10 anos.

Tabela 1 – Espécies/morfoespécies de Histeridae indicadoras da área não explorada. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. Frequência Relativa representada pela letra A e Abundância Relativa representada pela letra B

Espécies	A	B	IndVal	p
<i>Phelister</i> sp. 16	0,401	1,000	0,633	0,019 *
<i>Phelister</i> sp. 8	0,456	0,800	0,604	0,005 **
<i>Operclipygus angustisternus</i> (Wenzel, 1944)	0,779	0,400	0,558	0,002 **
<i>Phelister</i> sp. 1	0,309	1,000	0,556	0,090 .
<i>Phelister</i> sp. 11	0,488	0,600	0,541	0,058 .
<i>Euspilotus (H.) flaviclava</i> (Marseul, 1870)	0,351	0,700	0,496	0,098 .
<i>Phelister</i> sp. 10	0,336	0,700	0,485	0,144
<i>Hister cavifrons</i> (Marseul, 1854)	0,355	0,600	0,462	0,152
<i>Phelister</i> sp. 2	0,521	0,400	0,457	0,016 *
<i>Phelister</i> sp. 12	0,614	0,300	0,429	0,022 *
<i>Phelister sanguinipennis</i> (Marseul, 1853)	0,407	0,400	0,403	0,166
<i>Scapomegas auritus</i> (Marseul, 1855)	0,385	0,400	0,392	0,500
<i>Conchita propygidiale</i> (Mazur, 1994)	0,504	0,200	0,318	0,307
<i>Crenulister</i> sp. 1	1,000	0,100	0,316	0,060 .
<i>Haeteriinae</i> sp. 7	1,000	0,100	0,316	0,094 .
<i>Scaptorus</i> sp.	1,000	0,100	0,316	0,099 .
<i>Operclipygus</i> sp. 2	0,419	0,200	0,290	0,398
<i>Haeteriinae</i> sp. 3	0,833	0,100	0,289	0,062 .
<i>Euspilotus (H.) aff. excavata</i>	0,408	0,200	0,286	0,334
<i>Euspilotus (H.)</i> sp.	0,625	0,100	0,250	0,134
<i>Operclipygus incisus</i> (Caterino & Tisheckin, 2013)	0,225	0,200	0,212	0,967
<i>Euspilotus (H.) alvarengai</i> (Arriagada, 2012)	0,439	0,100	0,210	0,514

Código de significância: 0 ‘****’ 0,001 ‘***’ 0,01 ‘**’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘.’ 1

Tabela 2 – Espécies/morfoespécies de Histeridae das áreas exploradas entre 1 – 5 anos antes da amostragem. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. Frequência Relativa representada pela letra A e Abundância Relativa representada pela letra B

Espécies	A	B	IndVal	p
<i>Phelister</i> sp. 3	0,321	0,380	0,349	0,697
<i>Omalodes (O.) bifoveolatus</i> (Erichson, 1834)	0,561	0,180	0,318	0,230
<i>Euspilotus (H.) modestus</i> (Erichson, 1834)	1,000	0,060	0,245	0,289
<i>Haeteriinae</i> sp. 2	0,545	0,080	0,209	0,513
<i>Hister curvatus</i> (Marseul, 1854)	1,000	0,040	0,200	0,437
<i>Operclipygus g. hirsutipes</i> sp. 1	0,469	0,060	0,168	1,000
<i>Operclipygus minutus</i> (Caterino & Tisheckin, 2013)	0,635	0,040	0,159	0,756
<i>Aff. lacrimorpha</i>	1,000	0,020	0,141	1,000
<i>Crenulister aff. simplex</i>	1,000	0,020	0,141	1,000
<i>Crenulister impar</i> (Caterino & Tisheckin, 2014)	1,000	0,020	0,141	1,000
<i>Crenulister</i> sp. 2	1,000	0,020	0,141	1,000
<i>Haeteriinae</i> sp. 5	1,000	0,020	0,141	1,000
<i>Haeteriinae</i> sp. 8	1,000	0,020	0,141	1,000

Código de significância: 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 ‘.’ 0,1 ‘ ’ 1

Tabela 3 – Espécies/morfoespécies de Histeridae das áreas exploradas entre 6 – 10 anos antes da amostragem. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. Frequência Relativa representada pela letra A e Abundância Relativa representada pela letra B

Espécies	A	B	IndVal	p
<i>Phelister</i> sp. 6	1,000	0,100	0,316	0,046 *
<i>Operclipygus</i> g. <i>hospes</i> sp. 1	0,744	0,100	0,273	0,153
<i>Crenulister</i> aff. <i>simplex</i> 2	1,000	0,033	0,183	0,594
<i>Euspilotus</i> (<i>H.</i>) <i>blandus</i> (Erichson, 1834)	1,000	0,033	0,183	0,594
<i>Haeteriinae</i> sp. 6	1,000	0,033	0,183	0,582
<i>Omalodes</i> (<i>O.</i>) aff. <i>planifrons</i>	1,000	0,033	0,183	0,588
<i>Omalodes</i> (<i>O.</i>) sp.	1,000	0,033	0,183	0,590
<i>Operclipygus inflatus</i> (Caterino & Tishechkin, 2013)	1,000	0,033	0,183	0,588
<i>Phelister</i> sp. 13	1,000	0,033	0,183	0,535
<i>Phelister</i> sp. 15	1,000	0,033	0,183	0,578
<i>Operclipygus</i> aff. <i>distractus</i>	0,625	0,033	0,144	0,882
<i>Operclipygus britannicus</i> (Caterino & Tishechkin, 2013)	0,625	0,033	0,144	0,890

Código de significância: 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 ‘.’ 0,1 ‘ ’ 1

Tabela 4 – Espécies/morfoespécies de Histeridae das áreas exploradas há mais de 10 anos antes da amostragem. Área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. Frequência Relativa representada pela letra A e Abundância Relativa representada pela letra B

Espécies	A	B	IndVal	p
<i>Omalodes</i> (<i>O.</i>) <i>lucidus</i> (Erichson, 1834)	0,269	0,552	0,385	0,913
<i>Phelister</i> sp. 7	0,471	0,276	0,360	0,202
<i>Phelister</i> sp. 5	0,315	0,276	0,295	0,799
<i>Phelister</i> sp. 9	0,347	0,172	0,245	0,696
<i>Phelister</i> sp. 14	0,403	0,103	0,204	0,673
<i>Euspilotus</i> (<i>H.</i>) <i>azureus</i> (Sahlberg, 1823)	0,580	0,069	0,200	0,563
<i>Haeteriinae</i> sp. 4	1,000	0,034	0,186	0,347
<i>Haeteriinae</i> sp. 9	1,000	0,034	0,186	0,325
<i>Omalodes</i> (<i>O.</i>) <i>amazonicus</i> (Marseul, 1861)	1,000	0,034	0,186	0,308
<i>Operclipygus ecitonis</i> (Caterino & Tishechkin, 2013)	1,000	0,034	0,186	0,317
<i>Operclipygus</i> sp. 1	1,000	0,034	0,186	0,349
<i>Phelister</i> sp. 4	1,000	0,034	0,186	0,344
<i>Haeteriinae</i> sp. 1	0,508	0,034	0,132	1,000
<i>Operclipygus fossipygus</i> (Wenzel, 1944)	0,508	0,034	0,132	1,000

Código de significância: 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 ‘.’ 0,1 ‘ ’ 1

1.3 DISCUSSÃO

Nossos resultados mostram que a exploração madeireira provocou alterações no número de espécies, número de indivíduos e estrutura da assembleia de Histeridae na área de estudo. A riqueza, a abundância e a estrutura da assembleia sofreram influência do tempo transcorrido após a exploração e da estação do ano. Ainda, a abundância da família de Histeridae também sofreu influência do volume explorado de madeira. A riqueza de espécies e a abundância de indivíduos encontradas em nosso estudo é alta quando comparadas a outros estudos realizados com besouros da família Histeridae na região Neotropical (LOPES et al., 2005; CAJAÍBA et al., 2017; VIEIRA; NASCIMENTO E LEIVAS, 2018).

Os fatores abióticos determinam a sazonalidade e a estrutura das assembleias de insetos (WOLDA, 1988), e a resposta de diferentes grupos de besouros a alterações nestes fatores difere (MARIONI E GANHO, 2003). Estas respostas variam de acordo com os limites de tolerância das espécies aos fatores abióticos (e.g., luz, umidade, temperatura, etc.) e com as características comportamentais desses organismos (e.g., hábitos alimentares, hábitos reprodutivos, etc.) (LÖVEI E SUNDERLAND, 1996; MARIONI, 2001). Assim, as mudanças no número de espécies, de indivíduos e na estrutura da assembleia entre as estações do ano amostradas em nosso estudo podem estar relacionadas às alterações no ambiente provocadas pelas mudanças na umidade, temperatura, e disponibilidade de recursos entre as estações (WOLDA, 1988).

As variações na riqueza, abundância e estrutura da assembleia de Histeridae ao longo do tempo transcorrido após a exploração podem ser associadas as mudanças no ambiente decorrentes do processo de sucessão da vegetação após o impacto gerado pelo manejo florestal (PUTZ et al., 2001; BONNELL, REYNA-HURTADO E CHAPMAN, 2011; COSTA et al., 2019). Dentre as variações observadas, a diminuição no número de espécies e de indivíduos nas áreas exploradas são padrões comumente associados aos efeitos do manejo florestal sustentável sobre grupos animais (NILSSON, 1979; NIEMELÄ; HAILA E PUNTTILA, 1996, GRAM et al., 2003; ZWOLAK; OGDZIEWICZ E RYCHLIK, 2016). Estas mudanças estão relacionadas a substituição de espécies ocasionadas pelas alterações na vegetação, com aumento no número de espécies e indivíduos de ambientes modificados e redução no número de espécies e indivíduos de ambientes conservados (FERMON et al., 2000; MOORE et al., 2002; LANGE et al., 2014). Alguns gêneros de Histeridae, como *Phelister*, possuem espécies que têm preferência por ambientes com pouca vegetação (LOPES

et al., 2005), sendo beneficiado por alterações provocadas pelo manejo florestal. Maior número de espécies desse gênero foram encontradas na área de estudo nas áreas exploradas. Ainda, outros gêneros ocorrem preferencialmente em áreas com vegetação inalterada (VIEIRA; NASCIMENTO E LEIVAS, 2018), como é o caso de algumas espécies do gênero *Operclipygus*, que é associado a serapilheira (CATERINO E TISHECHKIN, 2013).

Apesar da intensidade de exploração ser apontada como um dos principais fatores na determinação da riqueza de espécies de uma área manejada (BURIVALOVA; ŞEKERCIOĞLU e KOH, 2014; FRANÇA et al., 2017), não encontramos relação entre o volume explorado de madeira e a riqueza de espécies de Histeridae nas áreas de estudo. Isto pode estar associado à intensidade de exploração ser considerada baixa nas áreas de estudo (média de 26,83 m³/ha em um raio de 100 m ao redor de cada transecto), quando comparada aos limites de intensidade de exploração encontrados em florestas tropicais (19 a 61 m³/ha, AZEVEDO-RAMOS; CARVALHO E AMARAL, 2006; DE ÁVILA et al., 2017). A baixa intensidade de exploração contribui para a rápida recuperação da floresta (YOSI; KEENAN E FOX, 2011; DARRIGO; VENTICINQUE E SANTOS, 2016), reduzindo os efeitos do manejo florestal sobre a riqueza de espécies.

No entanto, apesar da ausência de relação entre volume e riqueza, são esperadas substituições de espécies associadas as variações na intensidade de exploração (KOIVULA; KUKKONEN e NIEMELÄ, 2002; WARNAFFE E LEBRUN, 2004; NEVES et. al, 2010). Esta expectativa é confirmada pelo efeito observado do volume explorado de madeira sobre a abundância de indivíduos e sobre a estrutura da assembleia de Histeridae. O aumento no número de indivíduos em áreas com maior intensidade de exploração pode estar associado a um aumento no número de indivíduos das espécies adaptadas as áreas alteradas (SCHEFFLER, 2005; LANGE et al., 2014). Estas alterações na abundância, somadas a substituição de espécies ao longo do tempo transcorrido após a exploração, geram as mudanças na estrutura da assembleia de Histeridae detectadas em nossas análises.

Nosso estudo encontrou espécies indicadoras da área não explorada, pertencentes aos gêneros *Phelister* (consideradas espécies generalistas), *Operclipygus*, *Euspilotus*, *Haeterinae*, *Scaptorus* e *Crenulister*, e das áreas exploradas (entre 6 e 10 anos) pertencente ao gênero *Phelister*. De modo geral, as espécies indicadoras encontradas em nosso estudo ocorrem em toda a região neotropical e, geralmente, são encontradas em matéria orgânica em decomposição (e. g. carcaças e materiais vegetais; CANEPARO, FISCHER E ALMEIDA,

2017; CATERINO E TISHECHKIN, 2019) ou associadas a formigas e cupins (e. g. espécies do gênero *Haeterinae*).

O gênero *Phelister* apresentou o maior número de espécies indicadoras de qualidade ambiental da área não explorada e uma espécie das áreas exploradas. Este gênero possui aproximadamente 100 espécies descritas e muitas ainda não descritas, sendo considerado um dos gêneros mais diversos da família Histeridae (CATERINO E TISHECHKIN, 2015; CATERINO E TISHECHKIN, 2019). A espécie *Euspilotus (H.) flaviclava*, também foi indicadora da área não explorada. O gênero *Euspilotus* é o segundo maior da subfamília Sapriniinae, abrangendo cerca de 78 espécies descritas com distribuição principalmente Neártica e Neotropical (KOVARIK E CATERINO, 2005; 2016). Os resultados também apontaram *Operclipygus angustisternus* como espécie indicadora da área não explorada. O gênero *Operclipygus* é considerado numeroso, possuindo 177 espécies descritas com distribuição, principalmente, Neotropical (CATERINO E TISHECHKIN, 2013). Menos diversos, os gêneros Neotropicais *Crenulister* e *Scaptorus*, também identificados como indicadores da área não explorada, apresentam poucas espécies descritas e poucas informações sobre sua história natural (CATERINO E TISHECHKIN, 2014).

Detectamos mudanças na assembleia de Histeridae de acordo com a estação do ano, com o tempo transcorrido após a exploração e com o volume de madeira explorado. Ainda, a estrutura da assembleia de Histeridae nas áreas exploradas apresentou variações quando comparadas a área não explorada nas duas estações de amostragem. Assim, nossos resultados apontam para a existência de impactos do manejo florestal sustentável sobre a assembleia de Histeridae na área de estudo, com redução da riqueza de espécies e da abundância de indivíduos nas áreas exploradas, especialmente durante a estação seca. Estes resultados também demonstram a eficiência do uso da família Histeridae para a detecção de mudanças no ambiente florestal, sejam decorrentes da sucessão ecológica ou das diferenças entre estações. O reconhecimento de espécies indicadoras dos ambientes avaliados destaca a importância da assembleia de Histeridae como bioindicadora.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.M.; MISE, K.M. Diagnosis and key of the main families and species of South American Coleoptera of forensic importance. **Revista Brasileira de Entomologia**. v. 53, n.2, p. 227-244, 2009.
- ALROY, J. Effects of habitat disturbance on tropical forest biodiversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 114, n. 23, p. 6056-6061, 2017.
- ANDERSON, M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, p. 32-46, 2001.
- ANDERSON, M.J.; ELLINGSEN, K.E.; MCARDLE, B.H. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. **Ecology Letters**, v.9, p. 683-693, 2006.
- ANGELO, H.; SILVA, J. C., ALMEIDA, A. N.; POMPEMAYER, R. S. **Análise estratégica do Manejo Florestal na Amazônia brasileira**. Floresta, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 341 - 348, jul/set, 2014.
- AUGUSTYNICZIK, A. L. D.; YOUSEFPOUR R.; HANEWINKEL, M. Multiple uncertainties require a change of conservation practices for saproxylic beetles in managed temperate forests. **Nature communications**, 2018.
- AZEVEDO-RAMOS, C.; CARVALHO JR, O.; AMARAL, B. D. Short-term effects of reduced-impact logging on eastern Amazon fauna. **Forest Ecology and Management**, v. 232, n. 1-3, p. 26-35, 2006.
- BARLOW, J.; LOUZADA, J.; PARRY, L.; HERNANDEZ, M. I. M.; HAWES, J.; PERES, C. A., VAZ-DE-MELLO, F. Z.; GARDNER, T. A. Improving the design and management of forests trips in human-dominated tropical landscapes: a field test on Amazonian dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, v. 47, 779–788, 2010.
- BARLOW, J.; LENNOX, G. D.; FERREIRA, J.; BERENGUER, E.; LEES, A. C.; NALLY, R. M.; GARDNER, T. A. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**. v. 535, p. 144–147, 2016.
- BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; UHL, C. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, n.1-2, p. 9–26, 1998.
- BICKNELL, J. E.; PHELPS, S. P.; DAVIES, R.G.; MANN, D. J.; STRUEBIG, M. J.; DAVIES, Z.G. Dung beetles as indicators for rapid impact assessments: evaluating bestpractice forestry in the neotropics. **Ecological Indicators**. v. 43, p. 154–161, 2014.
- BONNELL, T. R., REYNA-HURTADO, R. e CHAPMAN, C. A. Post-logging recovery time is longer than expected in an East African tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 4, p. 855–864, 2011.
- BORGES, L. O. Estudo comparativo de assembléias de Histeridae e Staphylinidae (Insecta, Coleoptera) em áreas de mata semicaducifolia tropical e pastagem no Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil. **Revista de Biologia Neotropical**, p.189-190, 2006.
- BRAGA, R. F.; KORASAKI, V.; ANDRESEN, E. e LOUZADA, J. Dung Beetle Community and Functions along a Habitat-Disturbance Gradient in the Amazon: A Rapid Assessment of Ecological Functions Associated to Biodiversity. **Plos One**, v. 8, n. 2, 2013.

- BURIVALOVA, Z.; ŞEKERCIOĞLU, Ç. H.; KOH, L. P. Thresholds of Logging Intensity to Maintain Tropical Forest Biodiversity. **Current Biology**, v. 24, n. 16, p. 1893–1898, 2014.
- CAJAIBA, R. L.; PÉRICO, E.; SILVA, W. B.; SANTOS, M. Seasonal patterns in the diversity of Histerid Beetles (Histeridae) are ecosystem specific? A case in Para state, northern Brazil. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, n. 4, 2017.
- CANEPARO, M. F. C., FISCHER, M. L., & ALMEIDA, L. M. Effect of Temperature on the Life Cycle of *Euspilotus azureus* (Coleoptera: Histeridae), a Predator of Forensic Importance. **Florida Entomologist**, v. 100, n.4, p. 795–801, 2017.
- CARRIELO, R. V. **Considerações sobre a exploração florestal de impacto reduzido**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Seropédica – RJ, 2008.
- CATERINO, M. S.; TISHECHKIN, A. K. A systematic revision of Operclipygus Marseul (Coleoptera, Histeridae, Exosternini). **ZooKeys**. p. 1-401, 2013.
- CATERINO, M.; TISHECHKIN, A. New genera and species of Neotropical Exosternini (Coleoptera, Histeridae). **ZooKeys**, p. 11–78, 2014.
- CATERINO, M. S.; TISHECHKIN, A. K. Phylogeny and generic limits in New World Exosternini (Coleoptera: Histeridae: Histerinae). **Systematic Entomology**, v. 40, n. 1, p. 109–142, 2015.
- CATERINO, M. S.; TISHECHKIN, A. K. A revision of the Phelister haemorrhous species group (Coleoptera, Histeridae, Exosternini). **ZooKeys**. p. 41-88, 2019.
- CELLI, N. G. R. Chave de identificação e diagnose dos Histeridae (Insecta: Coleoptera) de interesse forense do Brasil. **Iheringia**, Série Zoologia, Porto Alegre, 2015.
- CHAKRABORTY, D.; REDDY, M.; TIWARI, S. & UMAPATHY, G. Land Use Change Increases Wildlife Parasite Diversity in Anamalai Hills, Western Ghats, India. **Scientific Reports**, p.11, 2019.
- CHEN, H. L.; KOPROWSKI, J. L. Barrier effects of roads on an endangered forest obligate: influences of traffic, road edges, and gaps. **Biological Conservation**, v. 199, p. 33–40, 2016.
- CORE TEAM. R: Uma linguagem e ambiente para computação estatística. **Fundação R para Computação Estatística**, Viena, Áustria, 2020. Disponível em www.R-project.org.
- COSTA, O. B., MATRICARDI, E. A. T., PEDLOWSKI, M. A., MIGUEL, E. P., e GASPAR, R. O. Selective Logging Detection in the Brazilian Amazon. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, 2019.
- COSTANTINI, D.; EDWARDS, D. P. & SIMONS; M. J. P. Life after logging in tropical forests of Borneo: A meta-analysis. **Biological Conservation**, p. 182–188, 2016.
- DARRIGO, M. R.; VENTICINQUE, E. M.; DOS SANTOS, F. A. M. Effects of reduced impact logging on the forest regeneration in the central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 52-59, 2016.
- DE AVILA, A. L. et al. Recruitment, growth and recovery of commercial tree species over 30 years following logging and thinning in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management**, v. 385, p. 225-235, 2017.
- DE GRAAF, N. R. A silvicultural system for natural regeneration of tropical rainforest in Suriname. Wageningen: **Agricultural University**, p. 250, 1986.

- DEGALLIER, N.; LEIVAS, F.W.T; MOURA, D.P. Histerid beetles of French Guiana. V. Revision of the genus *Ebonius* Lewis (Coleoptera, Histeridae, Omalodini). **Zootaxa**. p. 44-52, 2011.
- DUFRENE, M.; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**. v. 67, n. 3, p. 345-366, 1997.
- EDWARDS, D. P.; TOBIAS, J. A.; SHEIL, D.; MEIJAARD, E. & LAURANCE, W. F. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 29, n. 9, p. 511–520, 2014.
- FURTADO, S. C. **Dinâmica de uma floresta sob regime de Manejo Sustentável em escala empresarial na Amazônia Ocidental**. Tese (doutorado). Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, p. 88, 2009.
- FERMON, H.; WALTERT, M.; LARSEN, T. B.; DALL'ASTA, U.; MÜHLENBERG, M. Effects of Forest Management on Diversity and Abundance of Fruit-feeding Nymphalid Butterflies in South-eastern Côte d'Ivoire. **Journal of Insect Conservation**, v. 4, n. 3, p. 173–188, 2000.
- FRANÇA, F. M.; FRAZÃO, F. S.; KORASAKI, V.; LOUZADA, J.; BARLOW, J. Identifying thresholds of logging intensity on dung beetle communities to improve the sustainable management of Amazonian tropical forests. **Biological Conservation**, v. 216, p. 115–122, 2017.
- FREITAS, A. V.; LEAL, I. R.; PRADO, M. U.; IANUZZI, L. Insetos como Indicadores de Conservação da Paisagem. **Biologia da Conservação**, cap. 15, 2016.
- GARDNER, T.A.; HERNÁNDEZ, M. I. M., BARLOW, J., PERES, C. A. Understanding the biodiversity consequences of habitat changes: the value of secondary and plantation forest for neotropical dung beetles. **Journal of Applied Ecology**. v. 45, p. 883–893, 2008.
- GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, A. L., NAVARRETE-HEREDIA, J. L., QUIROZ-ROCHA, G. A., & DELOYA, C. Coleópteros necrócolos (Scarabaeidae: Scarabaeinae, Silphidae y Trogidae) del Bosque Los Colomos, Guadalajara, Jalisco, México. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 86, n. 3, p.764–770, 2015.
- GRAM, W. K.; PORNELUZI, P. A.; CLAWSON, R. L.; FAABORG, J.; RICHTER S. C. Effects of Experimental Forest Management on Density and Nesting Success of Bird Species in Missouri Ozark Forests. **Conservation Biology**, vol. 17, n. 5, p. 1324-1337, 2003.
- HENRIQUES, L. M.; WUNDERLE, JR. J. M; OREN, D. C. & WILLIG, M. R. Efeitos da Exploração Madeireira de Baixo Impacto sobre uma Comunidade de Aves de Sub-bosque na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. **Acta Amazonica**. vol. 38, 267 – 290 p., 2008.
- IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série Manuais Técnicos de Geociências. Rio de Janeiro, p. 92, 2012.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia disponível em: <http://www.inmet.gov.br>
- KHASA, P. D.; DANKIK, B. P. Managing for Biodiversity in Tropical Forests. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 4, p. 1–31, 1998.

- KOIVULA, M.; KUKKONEN, J.; NIEMELÄ, J. Boreal carabid-beetle (Coleoptera, Carabidae) assemblages along the clear-cut originated succession gradient. **Biodiversity and Conservation**, 11(7), 1269–1288, 2002.
- KOVARIK, P. W.; CATERINO, M. S. Histeridae. In: Handbook of Zoology. Ed. Walter de Gruyter, Berlin, v.1: **Morphology and Systematics**. p. 90-222, 2005.
- KOVARIK, P. W.; CATERINO M. S. Histeridae. In: BEUTEL, R. G.; KRISTENSEN, N. P. **Handbook of Zoology, Arthropoda: Insecta, Coleoptera, Beetles**. Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim), v. 1, n. 2. Walter de Gruyter, Berlin, 281–314, 2016.
- LAL, R. Conversion of Tropical Rainforest: Agronomic Potential and Ecological Consequences. **Advances in Agronomy**, p. 173–264, 1986.
- LANGE, M.; TÜRKE, M.; PAŠALIĆ, E.; BOCH, S.; HESSENMÖLLER, D.; MÜLLER, J.; GOSSNER, M. M. Effects of forest management on ground-dwelling beetles (Coleoptera; Carabidae, Staphylinidae) in Central Europe are mainly mediated by changes in forest structure. **Forest Ecology and Management**, 329, 166–176, 2014.
- LAURANCE, W. F. Emerging Threats to Tropical Forests^{1, 2}. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 100, n. 3, p. 159–169, 2015.
- LAURIN G. V.; HAWTHORNE W. D.; CHITI T.; DI PAOLA A.; CAZZOLLA G. R.; MARCONI S.; NOCE S.; GRIECO, E.; PIROTTI F, VALENTINI, R. Does degradation from selective logging and illegal activities differently impact forest resources? A case study in Ghana. **iForest**. p. 354-362, 2016.
- LEIVAS, F.W.T.; BICHO, C.L.; DÉGALLIER, N. e MOURA, D.P. Revision of the genus *Scapomegas* Lacordaire, 1854 (Coleoptera: Histeridae: Omalodini). **Zootaxa**. p. 33-46, 2012.
- LEIVAS, F.W.T., GROSSI, P.C. & ALMEIDA, L.M. Histerídeos (Staphyliniformia: Coleoptera: Histeridae) dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 13, n 2, 2013.
- LÖVEI, G. L.; SUNDERLAND, K. D. Ecology and Behavior of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae). **Annual Review of Entomology**, v. 41, n. 1, p. 231–256, 1996.
- LOPES, P. P.; LOUZADA, J. N. C.; OLIVEIRA-REBOUÇAS P. L.; NASCIMENTO L. M. E SANTANA-REIS V. P. G. Resposta da comunidade de Histeridae (Coleoptera) a diferentes fisionomias da vegetação de restingas no Espírito Santo. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 25–31, 2005.
- MALHI, Y.; ADU-BREDU, S.; ASARE, R. A.; LEWIS, S. L. & MAYAUX, P. African rainforests: past, present and future. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, p. 10, 2013.
- MANTEL, N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. **Cancer Research**, v. 27, ed. 2, p. 209-220, 1967.
- MARINONI, R. C. Os grupos tróficos em Coleoptera. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 18, n. 1, p. 205–224, 2001.
- MARINONI, R.C., GANHO N. G. Fauna de Coleoptera no Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, Paraná, Brasil: abundância e riqueza das famílias capturadas através de armadilhas de solo. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 4, 2003.

- MARTÍN-VEGA, D.; CIFRIÁN, B.; DÍAZ-ARANDA, L. M.; BAZ, A. Necrophilous Histerid Beetle Communities (Coleoptera: Histeridae) in Central Spain: Species Composition and Habitat Preferences. **Environmental Entomology**, v. 44, n. 4, 2015.
- MARTÍNEZ-RAMOS, M.; ORTIZ-RODRÍGUEZ, I. A.; PIÑERO, D., DIRZO, R. & SARUKHÁN, J. Anthropogenic disturbances jeopardize biodiversity conservation within tropical rainforest reserves. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 19, p. 5323–5328, 2016.
- MASHALY, A. M. A. Carrion beetles succession in three different habitats in Riyadh, Saudi Arabia. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 24, n.2, p. 430–435, 2017.
- MCARDLE B. H.; ANDERSON, M. J. Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis. **Ecology**, v. 82, p. 290 – 297, 2001.
- MILHOMEM, M. S.; VAZ DE MELLO, F. Z.; DINIZ, I. R. Técnicas de coleta de besouros copronecrófagos no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 38, n. 11, p. 1249–1256, 2003.
- MITCHARD, E. T. A. The tropical forest carbon cycle and climate change. **Nature**. v. 559, p. 527–534, 2018.
- MOORE, J.-D.; OUMET, R.; CAMIRÉ, C.; HOULE, D. Effects of two silvicultural practices on soil fauna abundance in a northern hardwood forest, Québec, Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 82, n. 1, 2002.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, 853–858 p., 2000.
- NIEMELÄ, J.; HAILA, Y.; PUNTTILA, P. The importance of small-scale heterogeneity in boreal forests: variation in diversity in forest-floor invertebrates across the succession gradient. **Ecography**, v. 19, n. 3, p. 352–368, 1996.
- NILSSON, S. G. Effect of forest management on the breeding bird community in southern Sweden. **Biological Conservation**, v. 16, ed. 2, p. 135–143, 1979.
- NEVES, F. S.; OLIVEIRA, V. H. F.; ESPÍRITO-SANTO, M. M.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; LOUZADA, ARTURO SANCHEZ-AZOFEIFA, A.; FERNANDES, G. W. Successional and Seasonal Changes in a Community of Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a Brazilian Tropical Dry Forest, **Brazilian Journal of Nature Conservation**, v. 8 , n. 2, 2010.
- NOGUEIRA, M.M.; VIEIRA, V.; SOUZA, A.; LENTINI, M.W. **Manejo de florestas naturais da Amazônia: corte, traçamento e segurança**. Belém, PA: Instituto Floresta Tropical, 2011.
- PEARSON, T.; S. BROWN; L. MURRAY; G. SIDMAN. Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. **Carbon Balance Management**, p. 11, 2017.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.
- PRECIUS WOODS AMAZON (PWA), Manejo Floretal Sustentável (**Resumo Público**), Itacoatiara – AM, edição 2019.

- RODRIGUES, J. L. M.; PELLIZARI, V. H.; MUELLER, R.; BAEK, K.; JESUS, E. D. C.; PAULA, F. S.; NUSSLEIN, K. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 3, p. 988–993, jan. 2013.
- ROSSETI, C. F. **O manejo florestal Na Amazônia brasileira: A Percepção do empresariado do polo madeireiro de Sinop/MT**. Tese (doutorado). Brasília: UnB/Faculdade de Tecnologia, p. 106, 2013.
- SAMPAIO, J. A.; RIBEIRO, G. T.; OLIVEIRA, F. F. & LEAL, S. M. Coleópteros cursores de solo como indicadores de recuperação florestal, **Revista Virtual**, v. 5, n. 2, p. 149-168, 2009.
- SCHEFFLER, P. Y. Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) diversity and community structure across three disturbance regimes in eastern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, n. 1, p. 9–19, 2005.
- SCHULDT, A.; ASSMANN, T.; BREZZI, M.; BUSCOT, F.; EICHENBERG, D.; GUTKNECHT, J.; BRUELHEIDE, H. Biodiversity across trophic levels drives multifunctionality in highly diverse forests. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 39, 2018.
- SHAYYA, S.; DEGALLIER, N.; NEL, A., AZAR, D. & LACKNER, T. Contribution to the knowledge of *Saprinus* Erichson, 1834 of forensic relevance from Lebanon (Coleoptera, Histeridae). **ZooKeys**, p. 117–152, 2018.
- PUTZ, F. E., BLATE, G. M., REDFORD, K. H., FIMBEL R. e ROBINSON, J. Tropical forest management and conservation of biodiversity: An overview. **Conservation Biology**, v. 15, n. 1, p. 7–20, 2001.
- UNDERWOOD, E. C.; FISHER, B. L. The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how. **Biological Conservation**, v.32, p.66-62, 2006.
- VIEIRA, L.; NASCIMENTO, P. K. S.; LEIVAS, F. W. T. Habitat Association Promotes Diversity of Histerid Beetles (Coleoptera: Histeridae) in Neotropical Ecosystems. **The Coleopterists Bulletin**, v. 72, n. 3, p. 541–549, 2018.
- VON BEEREN, C.; TISHECHKIN, A. K. *Nymphister kronaueri* von Beeren & Tishechkin sp. nov., an army ant-associated beetle species (Coleoptera: Histeridae: Haeteriinae) with an exceptional mechanism of phoresy. **BMC Zoology**, v. 2, n. 1, p. 16, 2017.
- WARNAFFE, G. B.; LEBRUN, P. Effects of forest management on carabid beetles in Belgium: implications for biodiversity conservation. **Biological Conservation**, v. 118, n. 2, p. 219–234, 2004.
- WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.4, n.1, p. 60-71, 2005.
- WOLDA, H. Insect seasonality: Why? **Annual Review of Ecology and Systematic**, p. 19, 1988.
- YOSI, C. K.; KEENAN, R. J.; FOX, J. C. Forest dynamics after selective timber harvesting in Papua New Guinea. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n.6, p. 895–905, 2011.
- ZWOLAK, R.; BOGDZIEWICZ, M.; RYCHLIK, L. Beech masting modifies the response of rodents to forest management. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 268–276, 2016.

2. CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL SOBRE A DIVERSIDADE FUNCIONAL DE HISTERIDAE (COLEOPTERA: INSECTA) EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

As florestas tropicais possuem uma grande biodiversidade que vem sofrendo alterações causadas por atividades antrópicas. Afim de preservar essa biodiversidade, métodos de produção sustentáveis são desenvolvidos. O manejo florestal sustentável surge como uma opção de mitigação dos impactos no ecossistema. Mas, mesmo buscando a redução dos impactos no ambiente florestal, algumas atividades do manejo florestal sustentável podem causar alterações nas florestas e perda de biodiversidade. Informações sobre como os organismos respondem às alterações ambientais podem permitir uma melhor compreensão das alterações oriundas das atividades antrópicas no funcionamento dos ecossistemas. As avaliações de impactos podem ser feitas usando diferentes subconjuntos da diversidade biológica, como por exemplo, a diversidade funcional. O estudo de comunidades de insetos da ordem Coleoptera, por meio da diversidade funcional, é um método eficaz para entender a influência das ações antrópicas nos processos ecossistêmicos. Isto porque estes organismos são abundantes, bem distribuídos, facilmente amostrados e têm sua taxonomia e ecologia relativamente bem conhecidas. Dentre os besouros, os histerídeos possuem um papel importante na cadeia trófica por serem predadores generalistas, facilmente encontrados e habitarem diferentes ambientes. Considerando a inexistência de estudos que avaliam os efeitos das alterações ambientais na diversidade funcional de besouros histerídeos, nosso objetivo foi avaliar como a diversidade funcional da família Histeridae foi afetada pelo manejo florestal sustentável e pelo tempo transcorrido após a exploração madeireira em duas estações do ano. Para isso, foram amostradas 11 áreas exploradas (2004 a 2018) e uma área não explorada. Nós utilizamos 240 armadilhas de interceptação de voo para avaliar os índices de diversidade funcional dos Histeridae nas áreas amostradas em duas estações do ano (seca e chuvosa). Para comparação da diversidade funcional entre as áreas e estações, nós calculamos três índices de diversidade funcional: riqueza funcional (FRic), uniformidade funcional (FEve) e dispersão funcional (FDis) a partir de uma matriz de atributos de cada espécie. Coletamos 2346 indivíduos da família Histeridae, pertencentes a 61 espécies/morfoespécies distribuídas em 19 grupos funcionais. Identificamos 41 espécies com a forma do corpo ovoide convexo e 9 com apêndices com hipertrofia. A maior parte das espécies de besouros Histeridae estiveram associadas a esterco e a insetos sociais. Classificamos 27 espécies como mesohisterídeo e 27 como microhisterídeo. A riqueza, uniformidade e dispersão funcional sofreram influência das diferentes estações do ano e apenas a riqueza e a uniformidade funcional foram afetadas pelo tempo transcorrido após a exploração madeireira. Nossos resultados sugerem mudanças na diversidade funcional de histerídeos ocasionadas pelas estações do ano e pelo tempo transcorrido após a exploração. Comparando cada área explorada com a área não explorada notamos uma perda de riqueza funcional e um aumento de uniformidade funcional. Apesar da perda de diversidade funcional detectada ao compararmos cada área explorada à área não explorada, o conjunto de áreas exploradas sustentaram a maior parte dos grupos funcionais encontrados. Isto sugere que o impacto na diversidade funcional dos besouros da família de Histeridae ocasionado pelo manejo florestal sustentável em um conjunto de áreas com diferentes idades de exploração e em diferentes estágios de recuperação é pequeno.

Palavras-chave: Ecossistema. Biodiversidade. Índices funcionais. Besouros. Histerídeos.

ABSTRACT

Tropical forests have a great biodiversity that has been undergoing changes caused by human activities. In order to preserve this biodiversity, sustainable production methods are developed. Sustainable forest management emerges as an option to mitigate impacts on the ecosystem. But, even seeking to reduce impacts on the forest environment, some sustainable forest management activities can cause changes in forests and loss of biodiversity. Information on how organisms respond to environmental changes may allow a better understanding of changes arising from human activities in the functioning of ecosystems. Impact assessments can be made using different subsets of biological diversity, such as functional diversity. The study of insect communities of the order Coleoptera, through functional diversity, is an effective method to understand the influence of anthropic actions on ecosystem processes. This is because these organisms are abundant, well distributed, easily sampled and their taxonomy and ecology are relatively well known. Among beetles, histeria play an important role in the trophic chain because they are generalist predators, easily found and inhabit different environments. Considering the lack of studies evaluating the effects of environmental changes on the functional diversity of histerical beetles, our objective was to evaluate how the functional diversity of the Histeridae family was affected by sustainable forest management and the time elapsed after logging in two seasons. For this, 11 areas explored (2004 to 2018) and one area not explored were sampled. We used 240 flight interception traps to assess the functional diversity indices of Histeridae in the areas sampled in two seasons (dry and rainy). To compare the functional diversity between areas and seasons, we calculated three functional diversity indices: functional richness (FRic), functional uniformity (FEve) and functional dispersion (FDIs) from a matrix of attributes of each species. We collected 2346 individuals from the Histeridae family, belonging to 61 species / morphospecies distributed in 19 functional groups. We identified 41 species with the shape of the convex ovoid body and 9 with appendages with hypertrophy. Most species of Histeridae beetles have been associated with manure and social insects. We classified 27 species as mesohysteroid and 27 as microhysteroid. The richness, uniformity and functional dispersion were influenced by the different seasons of the year and only the richness and functional uniformity were affected by the time elapsed after logging. Our results suggest changes in the functional diversity of histeria caused by the seasons and the time elapsed after exploration. Comparing each explored area with the unexplored area, we noticed a loss of functional wealth and an increase in functional uniformity. Despite the loss of functional diversity detected when comparing each explored area to the unexplored area, the set of explored areas supported most of the functional groups found. This suggests that the impact on the functional diversity of beetles in the Histeridae family caused by sustainable forest management in a set of areas with different ages of exploitation and at different stages of recovery is small.

Keywords: Ecosystem. Biodiversity. Functional indices. Histerid beetle.

INTRODUÇÃO

As florestas tropicais possuem ricos ecossistemas, com grande biodiversidade (LAURANCE, 2007). Estes ambientes vêm sofrendo drásticas alterações ocasionadas por atividades antrópicas (LAURANCE, 2015; LAURIN et al., 2016), como incêndios florestais, conversão do ambiente florestal em terras agrícolas e pastagens, e extração desordenada de madeira (GEIST E LAMBIN, 2001; LANGNER; MIETTINEN E SIEGERT, 2007; BARLOW et. al, 2016). Para mitigar estes distúrbios, métodos de produção sustentáveis foram desenvolvidos a fim de conservar a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e os processos ecológicos das florestas (GARDNER et al., 2009).

O manejo florestal surge como uma opção de mitigação das alterações da biodiversidade e tem como principal objetivo o uso sustentável dos recursos madeireiros e não madeireiros, mantendo a biodiversidade e conservando as florestas (PINTO et al., 2002; EDWARDS et al., 2014). No entanto, mesmo buscando a redução dos impactos no ambiente florestal, atividades como aberturas de trilhas de arraste, estradas principais, pátios de estocagem e clareiras durante a exploração madeireira podem causar alterações nas florestas, perda de biodiversidade e intervenções nos processos ecossistêmicos (SOUZA, 2012; AUGUSTYNCZIK; YOUSEFPOUR E HANEWINKEL, 2018; SCHULDT et al., 2018).

Um ecossistema equilibrado depende de um conjunto de fatores e processos (e.g., ciclagem de nutrientes, formação e fertilização do solo) que resultam, principalmente, das atividades de invertebrados (WINK et al., 2005). Assim, informações sobre como estes organismos respondem às alterações ambientais podem permitir uma melhor compreensão dos impactos das atividades antrópicas no funcionamento dos ecossistemas (KREMEN, 2005). As avaliações de impactos podem ser feitas usando diferentes subconjuntos da diversidade biológica, como a diversidade taxonômica, a diversidade filogenética, a diversidade ecológica e a diversidade funcional (PETCHEY E GASTON, 2002; CASANOVES et al., 2011) A diversidade funcional é um componente da biodiversidade baseada nas características morfológicas, fisiológicas, fenológicas e comportamentais dos organismos que compõem uma comunidade (TILMAN, 2001; VIOLLE et al., 2007) e em como estes organismos estão relacionados com o funcionamento do ecossistema (MOUCHET et al., 2010). Análises de diversidade funcional utilizam índices calculados a partir de atributos das espécies encontradas em uma comunidade (PETCHEY E GASTON, 2006;

ZHANG; XIAO E LI, 2015; ZHANG; BAI E SHAO, 2017) e expressam a amplitude das diferenças funcionais entre estas espécies em um espaço funcional (VILLÉGER et al., 2008).

O estudo de comunidades de insetos da ordem Coleoptera, por meio da diversidade funcional, tem se mostrado um método eficaz para entender a influência das ações antrópicas nos processos ecossistêmicos (AUDINO; LOUZADA E COMITA, 2014; GÓMEZ-CIFUENTES et al., 2017). Estes organismos são abundantes, bem distribuídos, facilmente amostrados e têm sua taxonomia e ecologia relativamente bem conhecidas (SPECTOR, 2006; GARDNER et al., 2008). Dentre os besouros, os histerídeos (Insecta, Coleoptera, Histeridae) possuem um papel importante na cadeia trófica, são predadores generalistas, facilmente encontrados e habitam diferentes ambientes (LEIVAS; GROSSI E ALMEIDA, 2013; KOVARIK E CATERINO 2016; MASHALY, 2017). Em virtude disso, apresentam diferentes formas corporais (MAZUR 2005; KOVARIK E CATERINO 2016; VON BEEREN E TISHECHKIN, 2017) e são eficientes bioindicadores em estudos de alterações de habitats (LOPES et al., 2005; MARTÍN-VEJA et al., 2015; CAJAÍBA et al., 2017; VIEIRA; NASCIMENTO E LEIVAS, 2018), podendo apresentar potencial em avaliações do funcionamento do ecossistema.

Diante da importância destes organismos, poucos são os estudos que avaliaram os efeitos das alterações ambientais na diversidade funcional de besouros (BARRAGÁN et al., 2011). Ainda, a maioria destes estudos foi realizada em ambientes não naturais (e. g. terrários em laboratórios; NERVO et al., 2014; PICCINI et al., 2017; BADENHORST et al., 2018) ou em recipientes enterrados no solo contendo esterco (MANNING et al., 2016), com experimentos manipulados (e. g. contas de plástico imitando sementes para avaliar a dispersão por besouros; BRAGA et al., 2013) e com composição ou exclusão artificial de besouros (e. g. seleção de espécies representando diferentes grupos funcionais e padronização de biomassa de besouros; MANNING et al., 2016). Estudos realizados na região tropical apontam para a perda de diversidade funcional de besouros ocasionada por diferentes usos da terra (e. g. plantações, pastagens e fragmentos de florestas) (BARRAGÁN et al., 2011; GÓMEZ-CIFUENTES et al., 2017). Ainda assim, a diversidade funcional destes organismos pode ser restaurada a partir da recuperação destes ambientes (DAVIES; EDWARDS E EDWARDS, 2020). Com base na ideia de que as comunidades de besouros podem ser afetadas pelos impactos das alterações ambientais, espera-se que alguns grupos funcionais de histerídeos apresentem maior sensibilidade que outros aos possíveis impactos do manejo florestal sustentável.

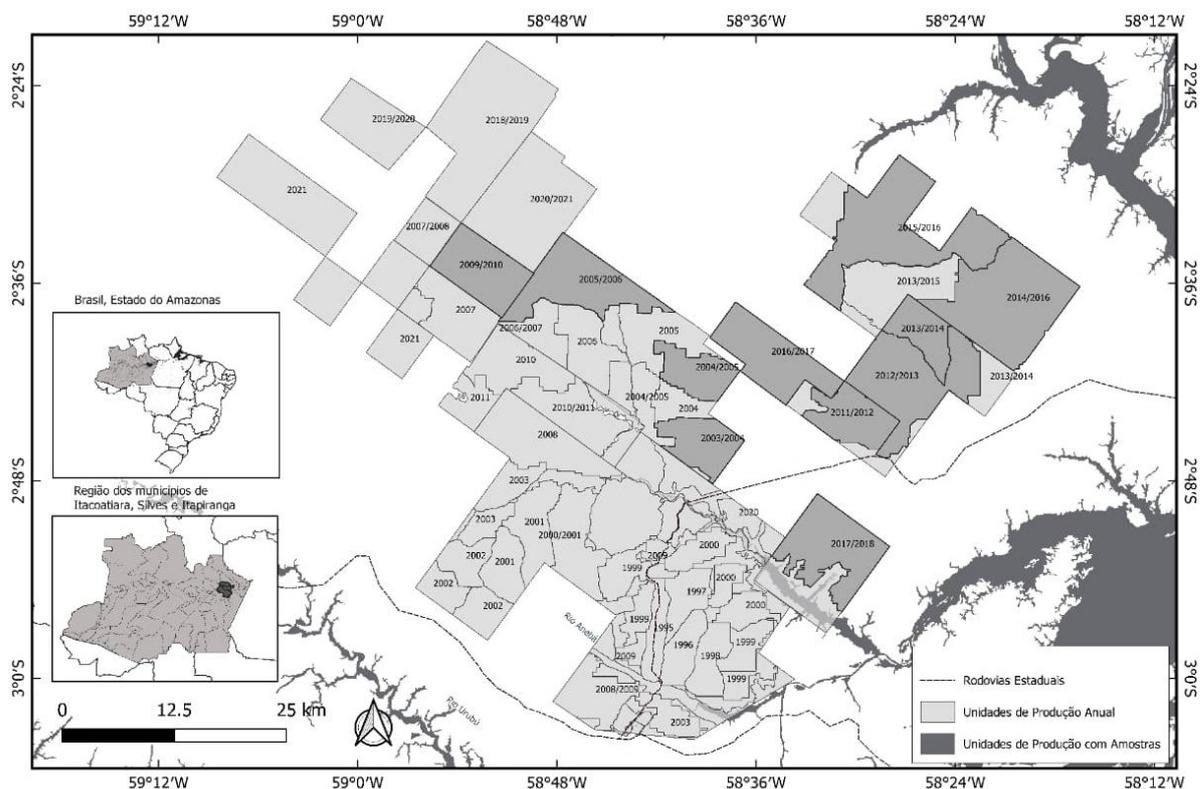
Assim, considerando o pouco conhecimento sobre os efeitos do manejo florestal sustentável na diversidade funcional dos organismos, a ausência de informações sobre a diversidade funcional de besouros histerídeos e a importância da compreensão dos efeitos do manejo florestal sobre os diferentes subconjuntos da biodiversidade, o objetivo do nosso estudo foi avaliar como a diversidade funcional de besouros da família Histeridae foi afetada pelo manejo florestal sustentável em uma floresta ombrófila densa na Amazônia brasileira. Para isso, fizemos uma classificação das espécies quanto a suas características funcionais e comparamos a riqueza, a uniformidade e a dispersão funcional entre áreas exploradas em diferentes anos (2004 a 2018) e entre diferentes estações do ano (seca e chuvosa).

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado nas áreas de manejo florestal sustentável (263.067,46 ha) da empresa Mil Madeiras preciosas, compreendendo os municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga – AM, delimitadas pelas coordenadas geográficas 02° 30' S; 59° 00' W e 03° 00' S; 58°30' W (PWA, 2019) (Figura 1).

Figura 1 – Localização geográfica da área de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil



O clima da área de estudo pertence ao grupo A, definido como Clima Tropical Chuvoso, compreendendo a variedade climática Clima Tropical de Monções (Amw) (KOTTEK et al., 2006). Este clima é caracterizado por altas precipitações pluviométricas, cerca de 2.500 mm/ano e uma pequena estação seca (PEEL, FINLAYSON E MCMAHON, 2007), com temperatura máxima de 32,6° C e mínima de 23,6 °C e umidade relativa do ar variando entre 80% e 85% (CPT/INPE, 2019). O solo é caracterizado como Latossolo Amarelo Distrófico, com baixa fertilidade e textura argilosa (PWA, 2019). A vegetação da área é classificada como Floresta Ombrófila Densa, com lianas lenhosas e epífitas em abundância (IBGE, 2012).

O sistema de exploração de baixo impacto usado pela empresa baseia-se no *Celos Management System*, desenvolvido na *Wageningen Agricultural University*, e adequado à realidade das florestas tropicais da Amazônia. Visando a manutenção das funções ecológicas nas áreas exploradas, este sistema classificado como policíclico segue uma rigorosa organização e planejamento das atividades de exploração (e. g. planejamento de trilhas de arraste, trilhas principais e pátios de estocagem, cortes de árvores com diâmetro mínimo de corte > 50 cm) (DE GRAAF, 1986).

2.1.2 Coleta de dados

Para avaliar a diversidade funcional da comunidade de Histeridae em áreas de Manejo Florestal Sustentável foram amostradas doze áreas. Destas, onze são áreas que sofreram exploração nos anos de 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006, 2009/2010, 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 e uma corresponde a área não explorada. Foram delimitados cinco transectos com 130 m de extensão a partir da estrada de acesso, distanciando-se 2 km entre si. Em cada transecto, foram instaladas quatro armadilhas, com distância de 10 m entre si, a partir de 100 m da estrada de acesso, para evitar o efeito de borda. Foram realizadas duas amostragens durante o estudo, sendo uma no mês de outubro, na estação seca, e uma no mês de maio, na estação chuvosa.

Para a coleta dos besouros da família Histeridae, utilizamos armadilhas de interceptação de voo (DEGALLIER; LEIVAS e MOURA, 2011; LEIVAS; GROSSI e ALMEIDA, 2013). Foram enterrados no nível do solo recipientes de plástico com capacidade para 2 litros, com 14 cm de diâmetro por 17 cm de altura, contendo 500 ml de água, 2% de

detergente e 25g de sal, para a conservação do material coletado. A interceptação de voo consistiu em tecido do tipo tule medindo 0,90 m de largura x 1,15 m de altura, fixado em duas estacas de bambu. As iscas foram dispostas em recipiente plástico de 145 ml (50 g/armadilha) e feitas de uma mistura de fezes suínas (90%) e fezes humanas (10%). As estacas de bambu sustentavam uma lona preta a fim de evitar perda de material por transbordamento causado pelas chuvas.

As armadilhas ficaram dispostas em campo ao longo de sete dias e sete noites. Todo o material coletado foi armazenado em álcool 92,8%. Os besouros da família Histeridae foram triados, montados em alfinetes entomológicos e secos em estufa a $\pm 45^{\circ}$ C. Os indivíduos coletados foram identificados a partir de chaves de identificação e comparados aos exemplares da Coleção Entomológica do Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná (CESP/UFPR) e tombados nas coleções da Universidade do Estado do Amazonas/Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara e da Coleção Entomológica do Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná (CESP/UFPR).

2.1.3 Análise de dados

Para a classificação quali-quantitativa das espécies por grupo funcional foi gerada uma matriz de atributos para cada espécie. Como não há estudos de diversidade funcional para os histerídeos, foi elaborada uma classificação para os atributos que foram definidos e mensurados pelo especialista Dr. Fernando Willyan Trevisan Leivas. A mensuração dos atributos foi realizada com base em literatura específica (CATERINO, 1999; MAZUR, 2005; MISE et al., 2010; LEIVAS et al., 2012; DEGALLIER et al., 2012; CATERINO E TISHECHKIN, 2013; ABALLAY et al., 2013; MOURA, 2014; ARRIAGADA, 2015; VIEIRA et al., 2018) e avaliação do material coletado neste estudo. Os atributos definidos foram: habitat (associados a esterco, carcaça, insetos sociais, fruta em decomposição ou serapilheira); forma do corpo (ovoide deprimido, ovoide convexo, subparalelo deprimido, subparalelo convexo ou apêndices com hipertrofia); e tamanho das espécies (macrohisterídeo: $> 4,0$ mm, mesohisterídeo: 2,0 mm – 3,9 mm ou microhisterídeo: 0,7 mm – 1,9 mm).

Para comparar a diversidade funcional entre as diferentes estações do ano, e entre áreas exploradas em diferentes anos e área não explorada, foram calculados três índices de diversidade funcional: riqueza funcional (FRic), uniformidade funcional (FEve) e dispersão

funcional (FDis) (VILLÉGER et al., 2008). A riqueza funcional (FRic) corresponde ao espaço funcional ocupado pelas espécies da comunidade, a uniformidade funcional (FEve) representa a distribuição da abundância das espécies no espaço funcional e a dispersão funcional (FDis) mede a distância média de cada espécie ao centro do espaço funcional de todas as espécies (LALIBERTÉ E LEGENDRE, 2010). O espaço funcional configura o nicho ocupado pelas espécies, diferenciando-as na morfologia, fisiologia ou no comportamento, podendo influenciar a dinâmica, abundância e as interações com outras espécies, compreendendo as habilidades das diversas espécies concorrentes para a coexistência (TILMAN, 2010).

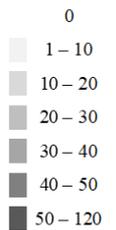
Os valores destes índices calculados para cada uma das áreas de estudo nas diferentes estações foram comparados usando modelos de ANOVA de dois fatores. Nos modelos, os índices de diversidade funcional foram utilizados como variáveis resposta e a identidade da área de estudo e a estação em que a amostragem foi feita, incluindo a interação entre elas, como variáveis explanatórias. Para o cálculo dos índices foi usado o pacote FD do programa R, onde é possível incluir uma variedade de atributos com diferentes características (BARRAGÁN et al., 2011).

2.2 RESULTADOS

Foram coletados 2.346 indivíduos da família Histeridae, pertencentes a 61 espécies/morfoespécies. Na estação seca foram capturados 1.235 indivíduos de 50 espécies e na chuvosa 1.111 indivíduos de 38 espécies. Foram encontradas 41 espécies com a forma do corpo ovoide convexa, nove com apêndices com hipertrofia, quatro subparalelas convexas, quatro subparalelas deprimidas e três com a forma do corpo ovoide deprimida. A maior parte das espécies de Histeridae capturadas é associada a esterco (38) e a insetos sociais (10). O restante das espécies encontradas em nosso estudo é associado a esterco e carcaça (4), carcaça (3), serapilheira (2), fruta em decomposição (1) fruta em decomposição e carcaça (1), fruta em decomposição, carcaça e insetos sociais (1), carcaça, esterco e insetos sociais (1). Ainda foram classificadas 27 espécies como mesohisterídeos, 27 como microhisterídeos e sete como macrohisterídeo. (Figura 2).

Figura 2 – Classificação dos grupos funcionais de besouros e número de indivíduos por espécie da família Histeridae capturadas em diferentes estações do ano, nas áreas de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. A classificação dos grupos funcionais são combinações dos seguintes atributos: Ma: Macrohisterídeo, Me: Mesohisterídeo, Mi: Microhisterídeos. OC: Ovoide Convexa, AH: Apêndices com Hipertrofia, SC: Subparalelas Convexas, SD: Subparalelas Deprimidas, OD: Ovoide Deprimida. Est.: Esterco, IS: Insetos Sociais Car.: Carcaça, Ser.: Serapilheira, FD: Fruta em Decomposição

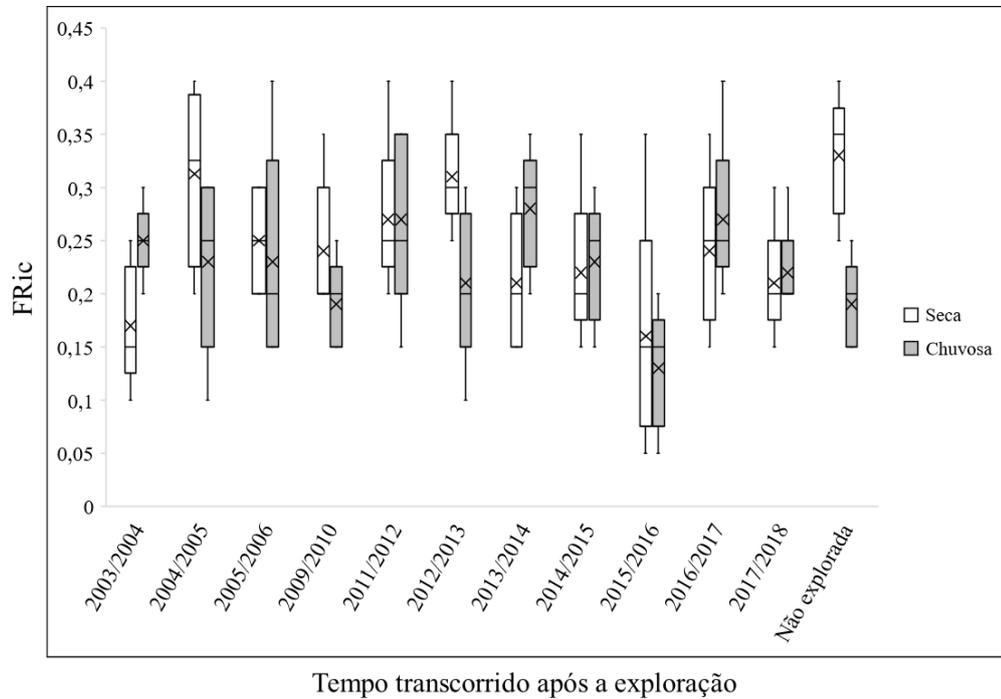
Grupos Funcionais	Estação	Seca		Chuvosa	
	Área	2003/2004	2004/2005	2003/2004	2004/2005
Ma/OC/FD	<i>Omalodes (O.) amazonicus</i> (Marseul, 1861)				
Ma/OC/FDCar	<i>Omalodes (O.) bifoveolatus</i> (Erichson, 1834)				
Ma/OC/FDCarIS	<i>Omalodes (O.) lucidus</i> (Erichson, 1834)				
Ma/OC/Est	<i>Omalodes (O.) aff. planifrons</i> <i>Omalodes (O.) sp.</i>				
Ma/OC/EstCar	<i>Hister cavifrons</i> (Marseul, 1854) <i>Hister curvatus</i> (Marseul, 1854)				
Me/OC/Est	<i>Euspilotus (H.) azureus</i> (Sahlberg, 1823)				
	<i>Phelister sanguinipennis</i> (Marseul, 1853)				
	<i>Scapomegas auritus</i> (Marseul, 1855)				
	<i>Conchita propygidiale</i> (Mazur, 1994)				
	<i>Crenulister aff. simplex</i> 2				
	<i>Crenulister sp. 2</i>				
	<i>Euspilotus (H.) blandus</i> (Erichson, 1834)				
	<i>Euspilotus (H.) sp.</i>				
	<i>Operclipygus aff. distractus</i>				
	<i>Operclipygus fossipygus</i> (Wenzel, 1944)				
	<i>Operclipygus sp. 2</i>				
	<i>Phelister sp. 12</i>				
	<i>Phelister sp. 14</i>				
<i>Phelister sp. 16</i>					
<i>Phelister sp. 2</i>					
<i>Phelister sp. 8</i>					
Me/SC/Est	<i>Phelister sp. 5</i> <i>Scaptorus sp.</i>				
Me/OD/Est	<i>Aff. lacrimorpha</i>				
Me/OC/EstCar	<i>Euspilotus (H.) flaviclava</i> (Marseul, 1870) <i>Euspilotus (H.) modestus</i> (Erichson, 1834)				
Me/OC/Ser	<i>Operclipygus inflatus</i> (Caterino & Tishechkin, 2013)				
Me/AH/IS	<i>Haeteriinae sp. 1</i>				
	<i>Haeteriinae sp. 2</i>				
	<i>Haeteriinae sp. 3</i>				
	<i>Haeteriinae sp. 8</i>				
	<i>Haeteriinae sp. 9</i>				
Mi/OC/CarEstIS	<i>Euspilotus (H.) alvarengai</i> (Arriagada, 2012)				
Mi/OC/Est	<i>Euspilotus (H.) aff. excavata</i>				
	<i>Operclipygus angustisternus</i> (Wenzel, 1944)				
	<i>Operclipygus britannicus</i> (Caterino & Tishechkin, 2013)				
	<i>Operclipygus g. hirsutipes sp.1</i>				
	<i>Operclipygus sp. 1</i>				
	<i>Phelister sp. 1</i>				
	<i>Phelister sp. 10</i>				
	<i>Phelister sp. 11</i>				
	<i>Phelister sp. 15</i>				
	<i>Phelister sp. 3</i>				
<i>Phelister sp. 4</i>					
<i>Phelister sp. 7</i>					
<i>Phelister sp. 9</i>					
Mi/SC/Est	<i>Operclipygus g. hospes sp. 1</i> <i>Phelister sp. 6</i>				
Mi/OD/Est	<i>Crenulister aff. simplex</i> <i>Crenulister impar</i> (Caterino & Tishechkin, 2014)				
Mi/SD/Est	<i>Crenulister sp. 1</i>				
	<i>Operclipygus minutus</i> (Caterino & Tishechkin, 2013) <i>Phelister sp. 13</i>				
Mi/SD/Ser	<i>Operclipygus incisus</i> (Caterino & Tishechkin, 2013)				
Mi/AH/IS	<i>Haeteriinae sp. 4</i>				
	<i>Haeteriinae sp. 5</i>				
	<i>Haeteriinae sp. 6</i>				
	<i>Haeteriinae sp. 7</i>				
Mi/OC/IS	<i>Operclipygus ecitonis</i> (Caterino & Tishechkin, 2013)				



Foram definidos 19 grupos funcionais a partir dos atributos dos besouros da família Histeridae. Os grupos com maior quantidade de espécies e indivíduos foram Me/OC/Est (S (número de espécies)=16, N (número de indivíduos)=1112), seguido do grupo Mi/OC/Est (S=13, N=765). Todos os 19 grupos ocorreram nas áreas exploradas, sendo os grupos Ma/OC/FD (S=1, N=1), Me/OD/Est (S=1, N=1), Mi/OC/CarEstIS (S=1, N=6), Mi/SD/Ser (S=1, N=28), Mi/AH/IS (S=4, N=4) e Mi/OC/IS (S=1, N=1) exclusivos da estação seca e os grupos Ma/OC/Est (S=2, N=2), Me/OC/Ser (S=1, N=1), Mi/SD/Ser (S=1, N=28) exclusivos da estação chuvosa. Na área não explorada ocorreram 11 grupos funcionais, sendo os grupos Me/AH/IS (S=5, N=12), Mi/SD/Est (S=3, N=6), Mi/AH/IS (S=4, N=4) exclusivos da estação seca e o grupo Mi/SD/Ser (S=1, N=28) exclusivo da estação chuvosa. Dos 19 grupos funcionais, oito não foram registrados na área não exploradas, sendo exclusividade das áreas exploradas. São eles: Ma/OC/FD (S=1, N=1), Ma/OC/FDCar (S=1, N=1), Ma/OC/Est (S=2, N=2), Me/OD/Est (S=1, N=1), Me/OC/Ser (S=1, N=1), Mi/SC/Est (S=2, N=7), Mi/OD/Est (S=2, N=2), Mi/OC/IS (S=1, N=1).

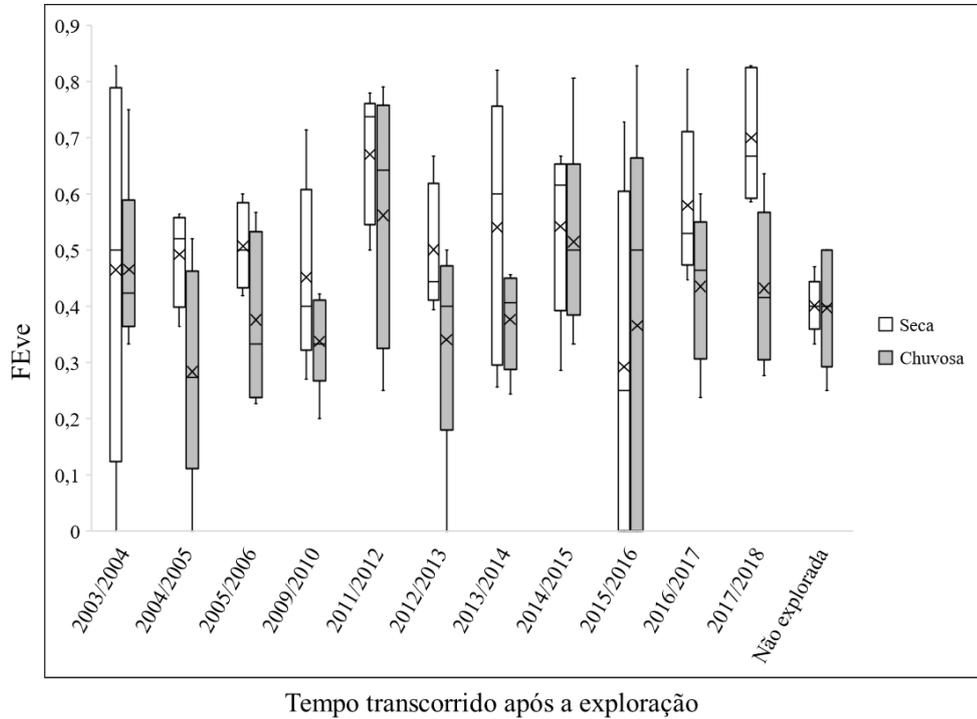
As diferenças na riqueza funcional entre as áreas de estudo foram dependentes da estação do ano ($F = 2,33_{(11; 95)}$; $p = 0,014$) (Figura 3). Durante a estação seca observamos uma menor riqueza funcional nas áreas exploradas ((média) $\bar{x}=0,23 \pm$ (desvio padrão) 0,08) em comparação com a área não explorada ($\bar{x}=0,33 \pm 0,06$) (Figura 3). Já, durante a estação chuvosa, observamos menor variação na riqueza funcional entre áreas exploradas ($\bar{x}=0,23 \pm 0,07$) e área não explorada ($\bar{x}=0,19 \pm 0,04$) (Figura 3). A riqueza funcional foi semelhante entre as estações (estação seca ($\bar{x}=0,24 \pm 0,08$); estação chuvosa ($\bar{x}=0,23 \pm 0,07$)) (Figura 3).

Figura 3 – *Boxplot* comparando a riqueza funcional nas diferentes áreas de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. A média é representada por “x”. O primeiro traço corresponde ao primeiro quartil, o segundo a mediana e o terceiro traço corresponde ao terceiro quartil. A haste vertical abaixo do primeiro quartil indica o valor mínimo, a haste acima do terceiro quartil indica o valor máximo



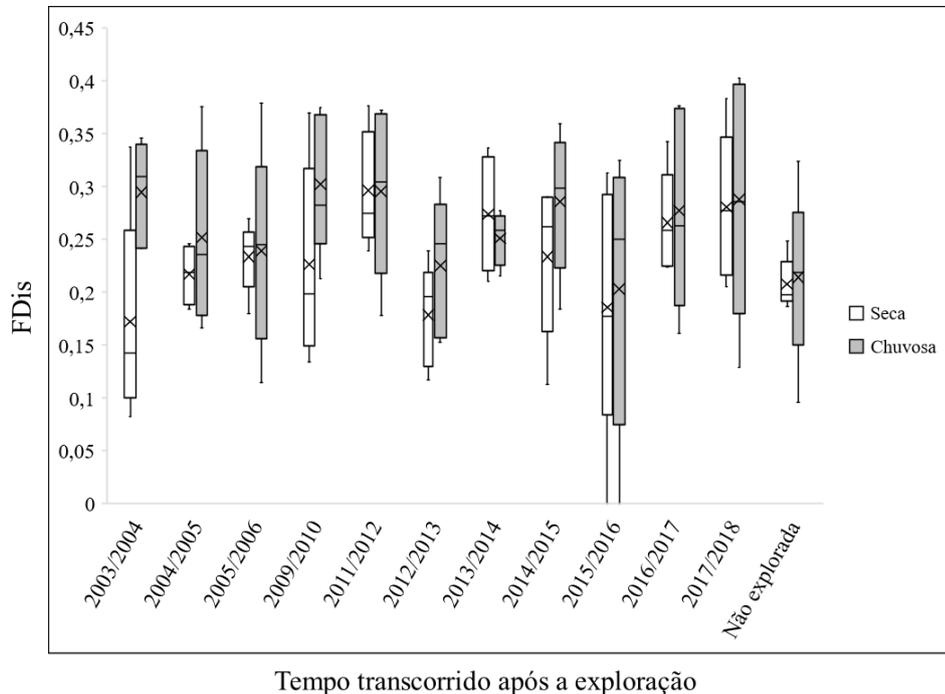
A uniformidade funcional sofreu influência da estação do ano ($F= 13,35_{(1;88)}$; $p= 0,0004$). A uniformidade funcional dos hiperídeos ($F= 2,02_{(11;88)}$; $p= 0,0349$) diferiu entre as áreas de estudo (Figura 4). Nota-se, na estação seca, um aumento da uniformidade funcional nas áreas exploradas ($\bar{x}=0,52 \pm 0,20$) quando comparadas a área não explorada ($\bar{x}=0,40 \pm 0,05$) (Figura 4). Esta variação foi menor durante a estação chuvosa ($\bar{x}=0,41 \pm 0,18$) (Figura 4), sendo a uniformidade funcional maior durante a estação seca ($\bar{x}=0,51 \pm 0,20$) (Figura 4).

Figura 4 – *Boxplot* comparando a uniformidade funcional nas diferentes áreas de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. A média é representada por “x”. O primeiro traço corresponde ao primeiro quartil, o segundo a mediana e o terceiro traço corresponde ao terceiro quartil. A haste vertical abaixo do primeiro quartil indica o valor mínimo, a haste acima do terceiro quartil indica o valor máximo



A dispersão funcional variou entre as estações do ano ($F= 4,33_{(1;95)}$; $p= 0,0401$) (Figura 5). Diferente dos demais índices de diversidade funcional, a dispersão dos histerídeos foi menor na estação seca ($\bar{x}=0,23 \pm 0,07$) e maior durante a estação chuvosa ($\bar{x}=0,26 \pm 0,08$) (Figura 5). Não houve diferença na dispersão funcional ao longo do tempo transcorrido após a exploração madeireira ($F= 1,75_{(11;95)}$; $p=0,0731$).

Figura 5 – *Boxplot* comparando a dispersão funcional nas diferentes áreas de Manejo Florestal Sustentável da empresa Mil Madeiras Preciosas no estado do Amazonas, Brasil. A média é representada por “x”. O primeiro traço corresponde ao primeiro quartil, o segundo a mediana e o terceiro traço corresponde ao terceiro quartil. A haste vertical abaixo do primeiro quartil indica o valor mínimo, a haste acima do terceiro quartil indica o valor máximo



2.3 DISCUSSÃO

Nossos resultados revelaram alterações na diversidade funcional de besouros da família Histeridae em áreas de Manejo Florestal Sustentável. A partir dos índices de diversidade funcional, nosso estudo mostrou uma redução da riqueza funcional dos histerídeos em áreas exploradas, principalmente na estação seca. Estudos anteriores mostram que a diversidade funcional de comunidades pode ser afetada pelas alterações antrópicas (MOUILLOT et al., 2013; AUDINO; LOUZADA E COMITA, 2014), com redução na diversidade funcional de besouros quando florestas nativas são comparadas a ambientes com diferentes usos da terra (e. g. pastagens ou monoculturas) (BARRAGÁN et al., 2011; EDWARDS et al., 2013; GÓMEZ-CIFUENTES et al., 2017; CORREA et al., 2017). Em contraste, algumas paisagens alteradas (e. g. florestas exploradas) podem manter altos índices de diversidade funcional de besouros, devido a redundância funcional entre as espécies tanto na vegetação nativa quanto em ambientes antropizados (EDWARDS et al., 2013). A organização das comunidades de besouros em paisagens tropicais é determinada pelo tipo de vegetação (BRAGA et al., 2013; COSTA et al., 2017), o que pode justificar a redução da

riqueza funcional dos histerídeos em áreas que sofreram exploração madeireira em nosso estudo.

Os grupos funcionais que apresentaram maior riqueza de espécies e abundância de histerídeos quando comparados aos demais grupos funcionais foram Me/OC/Est e Mi/OC/Est. Nota-se a semelhança de características destes grupos (e. g. tamanho entre médio (2,0 mm – 3,9 mm) e pequeno (0,7 mm – 1,9 mm)), forma corporal convexa, e associação a esterco, o que pode estar associado aos atributos das espécies do gênero *Phelister*. Este gênero diverso possui espécies generalistas e de ampla distribuição geográfica (CATERINO E TISHECHKIN, 2015; CATERINO E TISHECHKIN, 2019) e corresponderam a maior parte da composição de espécies destes grupos funcionais. Estes grupos (Me/OC/Est e Mi/OC/Est) apresentaram uma redução na riqueza de espécies nas áreas exploradas na estação seca (Figura 2), o que também pode ser justificado pela modificação da estrutura da vegetação ao longo do tempo (VIEIRA; NASCIMENTO E LEIVAS, 2018).

Na área não explorada, grupos de mesohisterídeo e microhisterídeo com apêndices hipertrofiados e associados a insetos sociais (Me/AH/IS E Mi/AH/IS) foram encontrados exclusivamente na estação seca. Estes grupos foram compostos, principalmente, por espécies de *Hateriinae* que ocorre em toda a região neotropical e são associadas, principalmente, a formigas e cupins (VON BEEREN E TISHECHKIN, 2017). O conjunto de áreas exploradas sustentou a maior parte dos grupos funcionais, sendo oito grupos exclusivos destas áreas. Diferente das áreas exploradas, a área não explorada não apresentou grupos exclusivos. Este resultado corrobora com a hipótese de Vieira et al. (2018), de que as comunidades de besouros da família Histeridae diferem entre habitats, mesmo eles sendo conservados ou alterados.

Nossos resultados mostraram ainda que a exploração madeireira causou alterações na riqueza funcional e na uniformidade funcional de besouros da família Histeridae. As variações na riqueza funcional e uniformidade funcional dos histerídeos ao longo do tempo transcorrido após a exploração podem estar associadas as alterações causadas no ambiente florestal pela exploração madeireira nos diferentes anos (BONNELL, REYNA-HURTADO E CHAPMAN, 2011). A falta de relação da dispersão funcional com o tempo transcorrido após a exploração pode ser justificada pela abundância de espécies generalistas de histerídeos que facilmente se adaptam a ambientes alterados (VIEIRA; NASCIMENTO E LEIVAS, 2018).

Observaram-se efeitos sobre a diversidade funcional de histerídeos causados pela sazonalidade. Isto pode estar associado a disponibilidade de recursos alimentares e aos hábitos alimentares e reprodutivos das comunidades de besouros (PRICE E MAY, 2009). As variações na riqueza funcional, uniformidade funcional e dispersão funcional nas diferentes estações do ano podem estar associadas as mudanças no ambiente causadas pelo aumento da precipitação e variação da temperatura (PRICE, 2004; ANDRESEN, 2005; ERROUISSI et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011). Tanto a riqueza quanto abundância dos besouros da família Histeridae tendem a reduzir na época mais seca do ano, em virtude das altas temperaturas (CAJAÍBA et al., 2017), sugerindo que a diversidade funcional de besouros também está relacionada as condições climáticas (ANDRESEN, 2005). Estudo com besouros da família Histeridae em diferentes estações do ano na Amazônia brasileira mostra que o aumento das chuvas causa aumento da riqueza e abundância destes organismos, uma vez que uma maior umidade do ar e temperaturas mais amenas geram microclimas favoráveis a estes organismos (CAJAÍBA et al., 2017).

No entanto, nosso estudo apontou redução na riqueza e uniformidade funcional dos besouros da família Histeridae na estação chuvosa. Isto pode ser justificado pelos fatores microclimáticos, que podem não estar associados as condições climáticas de uma região (MORAES; MENDONÇA E OTT, 2013), indicando que a diversidade funcional dos histerídeos pode variar de acordo com o microclima dos ambientes. Um dos principais fatores que define microclima de determinada região é a estrutura da vegetação (MAGURA; TÓTHMÉRÉSZ E BORDÁN, 2000). Na estação seca as mudanças climáticas e variações de temperatura e umidade são maiores. Essas mudanças geram maior variedade de microclimas dentro do ambiente florestal, permitindo a coexistência de um número maior de espécies e de grupos funcionais. Ainda, comparando a riqueza funcional entre áreas exploradas e não explorada, a remoção de parte da cobertura vegetal nas áreas exploradas causa redução da umidade e aumento da temperatura, o que pode afetar negativamente a riqueza funcional de histerídeos nestas áreas. Isso é confirmado quando notamos a redução, durante a estação seca, da riqueza funcional das áreas exploradas quando comparadas a área não explorada.

Nossos resultados revelaram mudanças na diversidade funcional de besouros da família Histeridae ocasionadas principalmente pelas estações do ano. Ao comparar áreas exploradas com a área não explorada notamos uma perda de riqueza funcional e um aumento de uniformidade funcional. Notou-se ainda que o conjunto de áreas exploradas sustentou a maior parte dos grupos funcionais. O impacto do Manejo Florestal Sustentável na diversidade

funcional dos besouros da família de Histeridae é baixo quando comparado a estudos de diversidade taxonômica em diferentes usos da terra (BARRAGÁN, 2011).

REFERÊNCIAS

- ABALLAY, F.; ARRIAGADA, G.; FLORES, G.; CENTENO, N. An illustrated key to and diagnoses of the species of Histeridae (Coleoptera) associated with decaying carcasses in Argentina. **ZooKeys**, v. 261, p. 61–84, 2013.
- ANDRESEN, E. Effects of season and vegetation type on Community organization of dung beetles in a tropical dry forest. **Biotropica**, v. 37, n. 2, p. 291-300, 2005.
- ARRIAGADA, G. Nuevos registros de Histeridae para Chile (Coleoptera: Histeridae). **Revista Chilena de Entomología**, v. 40, p. 51-55, 2015.
- AUDINO, L., LOUZADA, J.; COMITA, L. Dung beetles as indicators of tropical forest restoration success: is it possible to recover species and functional diversity? **Biological Conservation**, v. 169 p. 248-257, 2014.
- BADENHORST, J.; DABROWSKI, J.; SCHOLTZ, C. H.; TRUTER, W. F. Dung beetle activity improves herbaceous plant growth and soil properties on confinements simulating reclaimed mined land in South Africa. **Applied Soil Ecology**, p. 1-7, 2018.
- BARRAGÁN, F.; MORENO, C. E.; ESCOBAR, F.; HALFFTER, G.; NAVARRETE, D. Negative Impacts of Human Land Use on Dung Beetle Functional Diversity. **PLoS ONE**, v. 6, n. 3, 2011.
- BRAGA, R. F.; KORASAKI, V.; ANDRESEN, E.; LOUZADA, J. Dung Beetle Community and Functions along a Habitat-Disturbance Gradient in the Amazon: A Rapid Assessment of Ecological Functions Associated to Biodiversity. **PLoS ONE**, v. 8, n. 2, 2013.
- CAJAIBA, R. L.; PÉRICO, E.; SILVA, W. B.; SANTOS, M. Seasonal patterns in the diversity of Histerid Beetles (Histeridae) are ecosystem specific? A case in Para state, northern Brazil. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, n. 4, 2017.
- CASANOVA, F.; PLA, L.; DI RIENZO J. A.; DÍAZ, S. FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity. **Methods Ecology and Evolution** v. 2, p. 233–237, 2010.
- CATERINO, M. S. Taxonomy and Phylogeny of Coenosus group of *Hister* Linnaeus (Coleoptera: Histeridae). **University of California Press**, v. 119, p. 104, 1999.
- CATERINO, M. S.; TISHECHKIN, A. K. A systematic revision of Operclipygus Marseul (Coleoptera, Histeridae, Exosternini). **ZooKeys**. p. 1-401, 2013.
- CATERINO, M. S.; TISHECHKIN, A. K. Phylogeny and generic limits in New World Exosternini (Coleoptera: Histeridae: Histerinae). **Systematic Entomology**, v. 40, n. 1, p. 109–142, 2015.
- CATERINO, M. S.; TISHECHKIN, A. K. A revision of the Phelister haemorrhous species group (Coleoptera, Histeridae, Exosternini). **ZooKeys**. p. 41-88, 2019.
- COSTA, C.; OLIVEIRA, VHF.; MACIEL R.; BEIROZ W.; KORASAKI, V.; LOUZADA, J. Variegated tropical landscapes conserve diverse dung beetle communities. **PeerJ - Life & Environmental**, 2017.

CPT/INPE, 2019 – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto de Pesquisas Espaciais, disponível em: <http://clima.cptec.inpe.br/>

DAVIES, R. W.; EDWARDS, D. P.; EDWARDS, F. A. Secondary tropical forests recover dung beetle functional diversity and trait composition. **Animal Conservation**, 2020.

DE GRAAF, N. R. A silvicultural system for natural regeneration of tropical rainforest in Suriname. Wageningen. **Agricultural University**, p. 250, 1986.

DEGALLIER, N.; ARRIAGADA, G.; KANAAR, P.; MOURA, D. P.; TISHECKIN, A. K.; CATERINO, M. S.; WARNES, W. B. Coleoptera Histeridae Guyane. VII. Compléments au catalogue avec des données sur la faune du Surinam et une contribution à la connaissance des Saprininae. In: Coléoptères de Guyane. **Paris, ACOREP**, p. 33-52, 2012.

EDWARDS, F. A.; EDWARDS, D. P.; LARSEN, T. H.; HSU, W. W.; BENEDICK, S., CHUNG, A.; KHEN, C. V.; WILCOVE, D. S.; HAMER, K. C. Does logging and forest conversion to oil palm agriculture alter functional diversity in a biodiversity hotspot? **Animal Conservation**, v. 17, n. 2, 2013.

EDWARDS, D. P.; TOBIAS, J. A.; SHEIL, D.; MEIJAARD, E. & LAURANCE, W. F. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 29, n. 9, p. 511–520, 2014.

ERROUISSI, F.; LABIDI, I.; NOUIRA, S. Seasonal occurrence and local coexistence within scarabaeid dung beetle guilds (Coleoptera: Scarabaeoidea) in Tunisian pasture. **European Journal of Entomology**, v. 106, n. 1, p. 85-94, 2009.

GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; ARAUJO, I. S.; AVILA-PIRES, T. C.; BONALDO, A. B.; COSTA, J. E.; ESPOSITO, M. C.; FERREIRA, L. V.; HAWES, J.; HERNANDEZ, M. I. M.; HOOGMOED, M. S.; LEITE, R. N.; LO-MAN-HUNG, N. F.; MALCOLM, J. R.; MARTINS, M. B.; MESTRE, L. A. M.; MIRANDA-SANTOS, R.; OVERAL, W. L.; PARRY, L.; PETERS, S. L.; RIBEIRO-JUNIOR, M. A.; DA SILVA, M. N. F.; DA SILVA MOTTA, C.; PERES, C.A. The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. **Ecology Letters**, v. 11, p. 139-150, 2008.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. What Drives Tropical Deforestation. **LUCC Report Series**, n. 4, p. 116, 2001.

GÓMEZ-CIFUENTES, A.; MUNEVAR, A.; GIMENEZ, V. C.; GATTI, M. G.; ZURITA, G. A. Influence of land use on the taxonomic and functional diversity of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in the southern Atlantic forest of Argentina. **Journal of Insect Conservation**, v. 21, n. 1, p. 147–156, 2017.

IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série Manuais Técnicos de Geociências. Rio de Janeiro, p. 92, 2012.

KOTTEK, M. J.; GRIESER, C.; BECK, B.; RUDOLF, F. World Map of Köppen-Geiger Climate Classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, ed. 15, p. 259-263, 2006.

KOVARIK, P. W.; CATERINO M. S. Histeridae. In: BEUTEL, R. G.; KRISTENSEN, N. P. **Handbook of Zoology, Arthropoda: Insecta, Coleoptera, Beetles**. Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim), v. 1, n. 2. Walter de Gruyter, Berlin, 281–314, 2016.

- LANGNER, A.; MIETTINEN, J.; SIEGERT, F. Land cover change 2002–2005 in Borneo and the role of fire derived from MODIS imagery. **Global Change Biology**, v. 13, n. 11, p. 2329-2340, 2007.
- LAURANCE, W.F. Have we overstated the tropical biodiversity crisis? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 2, p.65-70, 2007.
- LAURANCE, W.F. Emerging Threats to Tropical Forests. **Missouri Botanical Garden**, v. 100, n. 3, p. 159-169, 2015.
- LAURIN, G. V.; HAWTHORNE, W. D.; CHITI, T.; DI PAOLA, A.; CAZZOLLA, G. R.; MARCONI, S.; NOCE, S.; GRIECO, E.; PIROTTI, F.; VALENTINI, R. Does degradation from selective logging and illegal activities differently impact forest resources? A case study in Ghana. **iForest**. p. 354-362, 2016.
- LEIVAS, F.W.T.; BICHO, C.L.; DÉGALLIER, N. e MOURA, D.P. Revision of the genus *Scapomegas* Lacordaire, 1854 (Coleoptera: Histeridae: Omalodini). **Zootaxa**. p. 33-46, 2012.
- LEIVAS, F.W.T., GROSSI, P.C. & ALMEIDA, L.M. Histerídeos (Staphyliniformia: Coleoptera: Histeridae) dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 2, 2013.
- LOPES, P. P.; LOUZADA, J. N. C.; OLIVEIRA-REBOUÇAS P. L.; NASCIMENTO L. M. E SANTANA-REIS V. P. G. Resposta da comunidade de Histeridae (Coleoptera) a diferentes fisionomias da vegetação de restingas no Espírito Santo. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 25–31, 2005.
- MAGURA, T., TÓTHMÉRÉSZ, B., BORDÁN, Z. Effects of nature management practice on carabid assemblages (Coleoptera: Carabidae) in a non-native plantation. **Biological Conservation**, v. 93, p. 95-102, 2000.
- MANNING, P.; SLADE, E. M.; BEYNON, S. A.; LEWIS, O. T. Functionally rich dung beetle assemblages are required to provide multiple ecosystem services. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 218, p. 87–94, 2016.
- MARINONI, R. C. Os grupos tróficos em Coleoptera. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 18, n. 1, p. 205–224, 2001.
- MARTÍN-VEGA, D.; CIFRIÁN, B.; DÍAZ-ARANDA, L. M.; BAZ, A. Necrophilous Histerid Beetle Communities (Coleoptera: Histeridae) in Central Spain: Species Composition and Habitat Preferences. **Environmental Entomology**, v. 44, n. 4, 2015.
- MASHALY, A. M. A. Carrion beetles succession in three different habitats in Riyadh, Saudi Arabia. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 24, n. 2, p. 430-435, 2017.
- MAZUR, S. **Ecology and habitats of Histeridae**. *Proceedings on Taxonomy and Faunistics of Beetles (Coleoptera) dedicated to the 100th birthday of the Latvian entomologist Mihails Stiprais (1905 - 1990)*, p. 29-36, 2005.
- MISE, K. M.; SOUZA, A. S. B.; CAMPOS, C. M.; KEPPLER, R. L. F.; ALMEIDA, L. M. Coleoptera associated with pig carcass exposed in a forest reserve, Manaus, Amazonas, Brasil. **Biota Neotropica**.v. 10. n. 1, p. 321-324, 2010.
- MOUCHET, M. A.; VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H.; MOUILLOT, D. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. **Functional Ecology**, v. 24, p. 867–876, 2010.

- MOURA, D. P. **Análise Cladística de *Omalodes* e revisão de *Omalodes* (*Omalodes*) Dejean, 1833 (Coleoptera, Histeridae, Histerinae)**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, p. 303, 2014.
- MOUILLOT, D.; GRAHAM, N. A. J.; VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H.; BELLWOOD, D. R. A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 28, n. 3, p. 167-177, 2013.
- MORAES, R. M.; MENDONÇA M. S.; OTT, R. Carabid beetle assemblages in three environments in the Araucaria humid forest of Southern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, p. 67-74, 2013.
- NERVO, B.; TOCCO, C.; CAPRIO, E.; PALESTRINI, C.; ROLANDO, A. The effects of body mass on dung removal efficiency in dung beetles. **PLoS ONE**, v. 9, n. 9, p. 1-9, 2014.
- KREMEN, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? **Ecology Letters**, v. 8, p. 468-479, 2005.
- LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v. 91, p. 299-305, 2010.
- OLIVEIRA, V. H. F.; SOUZA, J. G. M.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; NEVES, F. S.; FAGUNDES, M. Variação na fauna de besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeinae) entre habitats de cerrado, mata seca e mata ciliar em uma região de transição Cerrado - Caatinga no norte de Minas Gerais. **M.G. Biota**, v. 4, n. 4, p. 4-16,
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.
- PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity (FD), species richness and community composition. **Ecology Letters**, v. 5, p. 402-411, 2002.
- PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, v. 9, p. 741-758, 2006.
- PICCINI, I.; ARNIERI, F.; CAPRIO, E.; NERVO, B.; PELISSETTI, S.; PALESTRINI, C.; ROSLIN, T.; ROLANDO, A. Greenhouse gas emissions from dung pats vary with dung beetle species and with assemblage composition. **PLoS ONE**, v. 12, n. 7, p. 1-15, 2017.
- PINTO, A. C. M. et al., Análise de danos de colheita de madeira em floresta tropical úmida sob regime de manejo florestal sustentado na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 459-466, 2002.
- PRECIUS WOODS AMAZON (PWA), Manejo Florestal Sustentável (**Resumo Público**), Itacoatiara – AM, edição 2019.
- PRICE, D. L.; MAY, M. L. Behavioral ecology of *Phanaeus* dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae): Review and new observations. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 25, n. 1, p. 211-238, 2009.
- PRICE, D. L. Species diversity and seasonal abundance of scarabaeoid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae, Geotrupidae and Trogidae) attracted to cow dung in central New Jersey. **Journal of the New York Entomological Society**, v. 112, n. 4, p. 334-347, 2004.

SPECTOR, S. Scarabaeine dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. **The Coleopterists Bulletin**, v. 60, p. 71-83, 2006.

SOUZA, C. J. Monitoring of Forest Degradation. In: ACHARD, F., HANSEN, M.C. **Global Forest Monitoring from Earth Observation**. Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, p. 185–208, 2012.

SCHULDT, A.; ASSMANN, T.; BREZZI, M.; BUSCOT, F.; EICHENBERG, D.; GUTKNECHT, J.; BRUELHEIDE, H. Biodiversity across trophic levels drives multifunctionality in highly diverse forests. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 39, 2018.

TILMAN, D. Functional diversity. Em: Encyclopedia of Biodiversity. **Academic Press**, San Diego, CA, v. 3, p. 109-120, 2001.

VIEIRA, L.; NASCIMENTO, P. K. S.; LEIVAS, F. W. T. Habitat Association Promotes Diversity of Histerid Beetles (Coleoptera: Histeridae) in Neotropical Ecosystems. **The Coleopterists Bulletin**, v. 72, n. 3, p. 541–549, 2018.

VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H.; MOUILLOT, D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. **Ecology**, v. 89, p. 2290-2301, 2008.

VIOLLE, C., NAVAS, M.L., VILE, D., KAZAKOU, E., FORTUNEL, C., HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, p. 882-892, 2007.

VON BEEREN, C.; TISHECHKIN, A. K. *Nymphister kronaueri* von Beeren & Tishechkin sp. nov., an army ant-associated beetle species (Coleoptera: Histeridae: Haeteriinae) with an exceptional mechanism of phoresy. **BMC Zoology**, v. 2, n. 1, p. 16, 2017.

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, n. 1, p. 60-71, 2005.

ZHANG, J. T.; XIAO, J.; LI, L. F. Variation of plant functional diversity along a disturbance gradient in mountain meadows of the Donglingshan Reserve, Beijing, China. **Russian Journal of Ecology**, v. 46, n. 2, p. 157-166, 2015.

ZHANG, J. T.; BAI, X.; SHAO, D. Functional diversity and its attribute factors in the yunmeng mountain national forest park in Beijing, China. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 75-84, 2017.