

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE**

**Efeito de variações ambientais sobre a diversidade de besouros rola-
bostas (Coleóptera: Scarabaeinae) e as suas funções ecológicas em
agroflorestas de cacau**

Orientador/e-mail: Dr. José Carlos Morante-Filho/jcmfilho9@hotmail.com*

*Orientação vigente no período da qualificação

Nome do Candidato/e-mail: Me. Débora Lima Santos/deblslima3@gmail.com

Nível/Ano de ingresso: Doutorado/2020

Ilhéus, 20/01/2020

RESUMO

A Mata Atlântica é considerada prioritária para a conservação devido sua vasta biodiversidade e alto endemismo. Especificamente no sul da Bahia, a paisagem é composta por remanescentes de Mata Atlântica entremeados pelos tradicionais sistemas agroflorestais de cacau. Os besouros Scarabaeinae, popularmente conhecidos como rola-bostas, são utilizados como bioindicadores ambientais devido a sua alta diversidade, ampla distribuição, facilidade amostral e de identificação, além de serem sensíveis a perturbações ambientais. Durante a manipulação do recurso, os rola-bostas desempenham diversas funções ecológicas imprescindíveis a integridade do ecossistema. Neste estudo objetivamos compreender o efeito da composição da paisagem e de características locais das agroflorestas de cacau sobre a diversidade taxonômica e funcional do grupo, bem como sua influência sobre a fertilização do solo, a dispersão secundária de sementes e a escavação do solo (bioturbação). Amostraremos 36 áreas sendo 30 agroflorestas de cacau e 6 fragmentos florestais localizados nos municípios de Ilhéus, Una e Belmonte. A diversidade taxonômica e funcional será estimada por meio de armadilha de captura do tipo *pitfall* e as funções ecológicas serão mensuradas por meio de experimentos realizados em campo. Também analisaremos a qualidade nutricional do solo por meio de análise química e a produção de cacau será estimada por meio da biomassa vegetal dos cacauzeiros. Com os resultados obtidos acerca dos fatores que influenciam os serviços ecológicos prestados pelos rola-bostas, esperamos embasar estratégias que auxiliem no manejo sustentável das agroflorestas de cacau conciliando a produção com a manutenção da biodiversidade.

PALAVRAS CHAVE: ciclagem de nutrientes; dispersão secundária de sementes; Mata Atlântica; paisagens antrópicas; perda de habitat.

INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica sofreu intensa perda de habitat, restando atualmente cerca de 15% de sua cobertura original (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE, 2018). Especificamente no sul da Bahia, a paisagem atual é composta por remanescentes de Mata Atlântica entremeados por sistemas agroflorestais de cacau (*Theobroma cacao*). Esse sistema é de grande importância para a manutenção da biodiversidade regional (Cassano et al., 2009), uma vez que as árvores nativas de grande porte são utilizadas para o sombreamento do cacau que é plantado no sub-bosque (Schroth et al., 2011). Entretanto, a intensificação do manejo local tem levado os produtores ao corte das árvores nativas para aumentar a área produtiva (Martin et al., 2020), e assim, reduzindo drasticamente o importante papel desses agrossistemas para a conservação. Concomitante com essa modificação local, o sul da Bahia vem sofrendo altas taxas anuais de desmatamento. Entre 2018 e 2019 foram perdidas 3.500ha de áreas florestadas o que corresponde a um aumento de 27% em relação ao período anterior (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE, 2020).

Perturbações na escala local e de paisagem podem ter grandes efeitos na estruturação das comunidades biológicas em paisagens antrópicas (Barlow et al., 2016), alterando a composição de espécies. Especialistas de habitat tendem a serem substituídos por generalistas em ambientes altamente modificados (Filgueiras et al., 2011; Pardini et al., 2010). Além

disso, a perda de determinados grupos taxonômicos pode gerar coextinções de grupos associados (Bovendorp et al., 2019; Dirzo et al., 2014; Nichols et al., 2009), interferindo nas relações ecológicas e no funcionamento dos ecossistemas. O desaparecimento de mamíferos em paisagens desmatadas, por exemplo, pode resultar na perda de diversidade de besouros escarabeídeos, uma vez que o grupo depende da fauna para obter alimento (Bogoni et al., 2016; Nichols et al., 2009; Raine & Slade, 2019).

Os besouros escarabeídeos (Coleoptera: Scarabaeinae), popularmente conhecidos como rola-bostas, são insetos copronecrófagos sensíveis a perturbações ambientais (França et al., 2020; Nichols et al., 2007; Souza et al., 2020). Esses organismos são amplamente distribuídos por diversos ecossistemas, e apresentam alta diversidade taxonômica e funcional (Slade et al., 2011). Os rola-bostas podem ser divididos em quatro grupos principais: roladores (telecoprídeos), moradores (endocoprídeos), tuneleiros (paracoprídeos) e cleptocoprídeos (cleptoparasitas) (Hanski & Cambefort, 1991). Os roladores criam uma bola de recurso e a movem sob os solos para um túnel longe da pilha de esterco, enquanto os moradores, vivem e se alimentam dentro ou logo abaixo da pilha de esterco. Os tuneleiros cavam túneis abaixo da pilha de esterco e movem porções do esterco nos túneis que servirá como abrigo e alimento para a prole. Os cleptocoprídeos roubam excrementos enterrados por outros rola-bostas e utilizam para reprodução (Hanski & Cambefort, 1991). Assim, a diversidade funcional do grupo está associada a manipulação e ao uso do recurso (Nichols et al., 2008).

A manipulação do recurso pelos besouros rola-bostas beneficiam indiretamente o equilíbrio do ecossistema (Beiroz et al., 2017; Griffiths, Bardgett, et al., 2016; Manning et al., 2016), como a ciclagem de nutrientes, a bioturbação (deslocamento e mistura de partículas de sedimentos), a fertilização do solo, e a dispersão secundária de sementes (Maldonado et al., 2019; Slade et al., 2007). Os rola-bostas fertilizam e aeram o solo movendo porções de matéria orgânica e sedimentos sob e sobre a serapilheira (Tixier et al., 2015), favorecendo a ciclagem de nutrientes (Slade et al., 2016; Slade et al., 2011), disponibilizando-os para a fauna edáfica e facilitando a absorção destes pelas plantas (Manning et al., 2016). Além disso, a dispersão secundária de sementes aumenta a chance do escape a predação e o estabelecimento de plantas nativas, beneficiando a regeneração natural e contribuindo com a heterogeneidade vegetal (Manning et al., 2016; Slade et al., 2016).

A perda de florestas nativas aumenta a importância de sistemas agroflorestais para a conservação dos artrópodes (Tscharrntke et al., 2015). As agroflorestas de cacau, por exemplo, ainda podem abrigar um alto nível de biodiversidade devido ao sombreamento exercido pelas árvores nativas (Schroth et al., 2011). Dessa forma, os sistemas agroflorestais tem grande potencial para conciliar desenvolvimento econômico e a conservação da biodiversidade (Rezende et al., 2018; Schroth & Harvey, 2007), oferecendo diversos recursos para as espécies em paisagens agrícolas (Cassano et al., 2009; Faria et al., 2007; Santos-Heredia et al., 2018). Os sistemas agroflorestais são mais amigáveis para a biodiversidade, uma vez que a cobertura vegetal nativa é mantida e assim pode aumentar a qualidade da matriz (Arroyo-Rodríguez et al., 2020). Portanto, as agroflorestas de cacau fornecem refúgio a fauna, além de servirem como corredores ecológicos, facilitando a dispersão das espécies entre fragmentos florestais (Cassano et al., 2012).

Estudos sobre a perda da diversidade taxonômica e funcional de besouros rola-bostas em sistemas agroflorestais ainda são insuficientes (Bos et al., 2007; Santos-Heredia et al., 2018; Tscharrntke et al., 2015). Portanto, faz-se necessário investigar essas lacunas para que possamos compreender melhor o real efeito desse grupo ecológico para a produtividade das agroflorestas de cacau. Neste sentido, realizaremos experimentos empíricos com o intuito de

ampliar as informações sobre a diversidade taxonômica e funcional dos escarabeídeos em agroflorestas de cacau, e investigaremos como o grupo responde as diferentes mudanças ambientais atuando dentro das agroflorestas e nas paisagens que esses sistemas estão inseridos. Avaliaremos também a contribuição do grupo sobre os processos ecológicos de fertilização e escavação do solo (bioturbação), e dispersão secundária de sementes (Carvalho et al., 2020; França et al., 2018; Santos-Heredia et al., 2018; Slade et al., 2016).

OBJETIVOS

Geral

Avaliar os efeitos de variações ambientais locais e na paisagem sobre a diversidade taxonômica e funcional de besouros rola-bostas (Coleoptera: Scarabaeinae) e sobre as funções ecológicas desempenhadas pelo grupo em agroflorestas de cacau.

Específicos

1. Avaliar os efeitos da estrutura da paisagem e da estrutura da vegetação local das agroflorestas de cacau sobre a diversidade taxonômica e funcional de rola-bostas;
2. Avaliar os efeitos da estrutura da paisagem e da estrutura da vegetação local das agroflorestas sobre a dispersão de sementes e a ciclagem de nutrientes no solo realizada pelos rola-bostas;
3. Avaliar o efeito da associação entre diversidade (taxonômica e funcional) de rola-bostas e a ciclagem de nutrientes (bioturbação e nutrição do solo) sobre a produtividade do cacau.

METODOLOGIA

Área de estudo

Este estudo será realizado em um conjunto de agroflorestas de cacau, além de fragmentos florestais, distribuídos nos municípios de Ilhéus, Una e Belmonte (entre as coordenadas 13 ° 11' - 18 ° 20'S e 38 ° 51 ' - 40 ° 37 'W) figura 1. Os municípios estão distribuídos em paisagens que formam um mosaico composto por fragmentos de florestas primária e secundária, agroflorestas de cacau, seringueiras, plantações de eucalipto e pastagens (Pardini et al., 2009). A temperatura e a precipitação média anual é de 24°C e de 2.000mm, respectivamente. Não há variação climática sazonal, mas um período sem chuva pode ocorrer entre dezembro e março (Thomas et al., 1998).

A partir de um mapeamento prévio (Morante-Filho et al., 2015) que será atualizado com auxílio de imagens do MapBiomas e Google Earth selecionaremos 36 sítios amostrais, 12 por região, sendo 10 agroflorestas de cacau e 2 fragmentos florestais (controle), a uma distância mínima de 2km entre cada sítio. Os sítios serão cuidadosamente escolhidos com base na extensão geográfica das fazendas de cacau, contexto da paisagem e nível de intensidade de manejo.

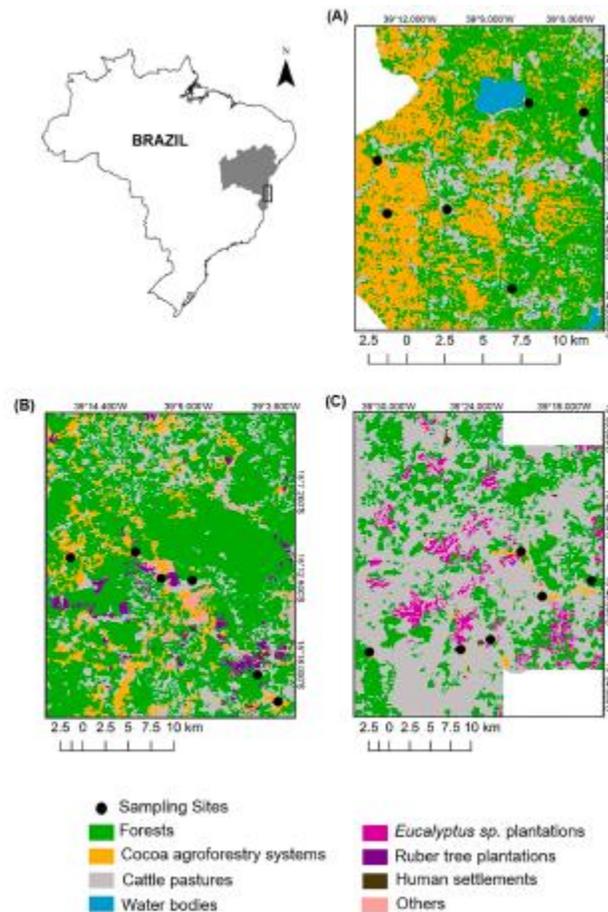


Figura 1. Mapa ilustrativo das áreas de estudo retirado de Cabral et al., 2021, em cada região do mapa serão dispostos mais 6 sítios amostrais, 12 por área.

Descritores da paisagem

Para avaliar o efeito da paisagem sobre a comunidade de besouros rola-bostas, utilizaremos o software QGIS (3.10.6) para criar um buffer de 1 km em torno do ponto central de cada sítio amostral. Cada buffer será considerado neste estudo como uma paisagem, onde os descritores da paisagem (cobertura florestal, densidade de borda e cobertura de pastagem) serão avaliados e será sobrepostos ao mapa de uso e cobertura do solo (Morante-Filho et al., 2015). A análise dos descritores também será realizada no software QGIS (3.10.6). A porcentagem de cobertura florestal e as variáveis de densidade de borda serão baseadas em fragmentos florestais (floresta antiga e floresta secundária) presentes no buffer.

Trabalharemos neste estudo com o teste da escala de efeito (Fahrig, 2013), testando o raio com maior escala de efeito para as métricas que serão amostradas e escolheremos o ponto onde há maior resposta. Iniciaremos o buffer com o de raio de 1 km para a análise dos descritores porque representa a maior distância de movimento registrada para espécies de besouro rola bostas na Mata Atlântica em um período de 48 h (Da Silva & Hernández, 2015). As paisagens serão separadas por pelo menos 2 km da borda do buffer para garantir a amostragem independente de besouros rola bostas (Da Silva & Hernández, 2015).

Estrutura da vegetação

No centro de cada sitio amostral serão plotadas aleatoriamente 5 parcelas de 10x10 m mantendo uma distância mínima de 50m da borda. Em cada parcela será mensurada a abertura do dossel, por meio de fotos hemisféricas, o DAP ≥ 10 cm e a área basal (m^2/ha) de todas as árvores presentes (exceto os cacauzeiros). Cada árvore será enumerada, identificada e terá sua densidade por parcela estimada.

Produção do cacau

A biomassa dos cacauzeiros acima do solo será estimada através da equação utilizada por (Hervé B. & Vidal, 2008; Steffan-Dewenter et al., 2007):

$$\ln B = -3.375 + 0.948 * \ln (D^2 * H)$$

Onde B é a biomassa acima do solo, D é o DAP e H é a altura. Para estimar a produção dos cacauzeiros, em cada parcela de 10x10, será estimado o diâmetro com casca, à altura de inserção do primeiro galho dos cacauzeiros. Em seguida, será calculado o diâmetro médio (q) dos cacauzeiros, por meio da seguinte expressão utilizada por Cotta et al. (2008):

$$q = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}$$

Onde q é o diâmetro médio ou quadrático, d é o diâmetro de cada árvore e n é o número de árvores ou frequência. Com base nos diâmetros médios, serão selecionados 10 cacauzeiros como árvores-amostra em cada parcela. Em cada cacauzeiro árvore-amostra será contabilizado o número de frutos, logo após, 10 frutos serão demarcados para a estimativa de produção, totalizando 100 frutos de cacau por parcela. No período da colheita os frutos demarcados serão pesados em balança semi-analítica, com precisão de 0,001g (até 3 casas decimais). O peso total do fruto (casca+polpa) será utilizado como métrica para avaliar a produção dos cacauzeiros.

Amostragem dos rola-bostas

Os besouros serão amostrados em armadilhas tipo *pitfall*, em cada parcela será exposta uma armadilha composta por três *pitfalls*, a uma distância de 2m entre si no centro da parcela. De acordo com a disposição de armadilhas, serão expostas 5 armadilhas, uma por parcela. Cada *pitfall* presente na armadilha irá conter esterco humano, suíno, e baço de boi, numa proporção de 1:3 em um recipiente de 50ml, fixado no centro do *pitfall* envolto por 250ml de uma solução de sal + detergente para evitar que os besouros fujam e para conservá-los até a coleta, após 48h (Santos-Heredia et al., 2018). Em seguida, as amostras serão identificadas e conduzidas ao laboratório de Ecologia Aplicada à Conservação (LEAC) da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) para posterior triagem. Os indivíduos coletados serão contados e identificados ao menor nível taxonômico possível. Em cada sitio amostral, iremos mensurar a biomassa e as características morfológicas (i) tamanho do corpo (soma do pronoto e comprimento do élitro), (ii) área da protúbia e (iii) comprimento da metatúbia de 30 indivíduos de cada espécie (Griffiths, Louzada, et al., 2016). Finalmente, todos os indivíduos coletados serão classificados em grupos funcionais de acordo com o comportamento de realocação de recursos (tuneladores, rola-bostas e moradores, Hanski & Cambefort, 1991) e guilda funcional (coprófagos, necrófagos e generalistas). Consultaremos

um especialista sempre que necessário.

Diversidade de rola-bostas

A diversidade taxonômica dos rola-bostas será medida pela riqueza de espécies e pelo Índice de Simpson (incorporando abundância). Para avaliar a diversidade funcional, será calculada uma matriz de dissimilaridade de espécies com base em características múltiplas usando a “abordagem de Gower” da função “trova” no software R. Para a construção da matriz utilizaremos a biomassa média e a guilda funcional para cada espécie de rola-bosta, essas características são consideradas pois apresentam o maior efeito nas funções ecológicas dos rola-bostas (Braga et al., 2013). A distância de Gower combina diferentes tipos de características, como quantitativa (biomassa de besouros rola-bostas) e qualitativa (associação funcional de besouros rola-bostas). Para analisar os dados de diversidade funcional serão utilizados os índices: riqueza (FRic), equitatividade (FEve) e divergência funcional (FDiv).

Dispersão secundária de sementes

A dispersão secundária de sementes será avaliada por meio do uso de miçangas plásticas para mimetizar sementes (daqui em diante tratadas no texto como sementes), seguindo o protocolo de Braga et al. (2013). Em cada pilha de esterco serão misturadas 80 sementes esféricas de três tamanhos 10 grandes (15 mm), 20 médias (8 mm) 10 pequenas (3 mm). O uso de três tamanhos simula a composição natural de sementes encontradas no recurso em ambiente natural. Fixaremos no centro de cada parcela uma “arena de mesocosmo” que consiste em um círculo com diâmetro de 1m, com borda delimitada por cerca de nylon (0,08mm) de aproximadamente 20cm de altura fixada com varas de bambu. A cerca limita o movimento das porções de esterco permitindo acompanhar a remoção do recurso e mensurar as funções ecológicas realizadas. No centro da arena, será disposta uma pilha de esterco humano e suíno na proporção 1:4 contendo 200g de esterco fresco com sementes. As pilhas de esterco ficarão expostas pelo período de 48h (Carvalho et al., 2020a). Posteriormente, as sementes encontradas no esterco serão contadas e separadas por tamanho. As sementes não encontradas no esterco remanescente na superfície do solo, ou na pilha experimental serão assumidas como dispersas pelos besouros (França et al., 2018). Serão consideradas como dispersas as sementes que forem: (1) cobertas pelo solo escavado pelos besouros ou (2) enterradas abaixo da superfície (Braga et al., 2017)

Escavação do solo

A contribuição dos besouros rola-bostas para o processo de bioturbação será analisada a partir da escavação do solo realizada no experimento de arena de mesocosmo seguindo a metodologia de Braga et al. (2013). A quantidade de solo escavado em cada mesocosmo será utilizada como métrica para mensurar o processo de bioturbação. Todo o solo solto visível no chão da arena e associado aos orifícios de saída dos túneis dos besouros será coletado, acondicionado em saco plástico, identificado e conduzido ao LEAC. O solo será seco em estufa a 60°C e pesado até atingir peso constante (França et al., 2018).

Nutrientes do solo

A relação entre a diversidade de besouros e a maior biomassa de cacau (vide tópico *produção de cacau*) será investigada a partir de análises químicas dos macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S); e dos

micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), molibdênio (Mo) e zinco (Zn). Em cada parcela coletaremos os primeiros 20 cm de solo, homogeneizaremos e retiraremos 300g de cada sítio amostral (n = 36) que será destinado para análise nutricional. A profundidade da coleta de solo escolhida é compatível com a atividade de escavação dos rola-bostas (Carvalho et al., 2020) e é onde ocorre a maior absorção de nutrientes pelo cacauzeiro (Kummerow et al., 1982; Snoeck et al., 2016). As amostras de solo serão enviadas a laboratório especializado em análises de solo.

ANÁLISE DOS DADOS

Avaliaremos o efeito da estrutura ambiental local e da paisagem sobre a diversidade taxonômica e funcional dos besouros rola-bostas por meio da construção de modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição de erros adequada seguido de análise de variância (ANOVA). As variáveis explicativas para teste dos objetivos 1. “Avaliar os efeitos da estrutura da paisagem e da estrutura da vegetação local das agroflorestas de cacau sobre a diversidade taxonômica e funcional de rola-bostas” e 2. “Avaliar os efeitos da estrutura da paisagem e da estrutura da vegetação local das agroflorestas sobre a dispersão de sementes e a ciclagem de nutrientes no solo realizada pelos rola-bostas” serão os descritores da paisagem (cobertura florestal, densidade de borda e cobertura de pastagem) e as métricas estruturais da vegetação local. Já as variáveis respostas serão: a diversidade taxonômica e funcional dos besouros, a dispersão de sementes e a ciclagem de nutrientes (escavação do solo). Para o teste do objetivo 3. “Avaliar o efeito da associação entre diversidade (taxonômica e funcional) de rola-bostas e a ciclagem de nutrientes (bioturbação e nutrição do solo) sobre a produtividade do cacau” as variáveis explicativas serão a diversidade (taxonômica e funcional) de besouros, o peso do solo escavado (bioturbação) e a nutrição do solo. As variáveis respostas serão a produção do cacau (número de frutos por árvore e peso dos frutos). Também será utilizado GLMs para avaliar a associação entre as variáveis ambientais e as funções ecológicas desempenhadas pelos besouros. Por fim utilizaremos equações estruturais (*path analysis*) para avaliar relações diretas e indiretas entre as características ambientais, diversidade de besouros rola-bostas, nutrientes no solo e biomassa de cacau.

IMPACTOS DO ESTUDO PARA A CONSERVAÇÃO

O sul da Bahia está entre os principais produtores de cacau cujo cultivo se dá majoritariamente via sistemas agroflorestais. As agroflorestas representam uma opção de uso da terra economicamente viável que beneficia a produção econômica e a natureza, podendo abrigar um alto nível de biodiversidade e, portanto, auxiliar na manutenção da fauna e da flora. Estudos sobre a diversidade de besouros escarabeídeos para a Mata Atlântica ainda são insuficientes (da Silva & Hernández, 2016; Souza et al., 2020), principalmente nos sistemas agroflorestais. Assim, o inventário da diversidade de espécies de besouros escarabeídeos nas agroflorestas de cacau no sul da Bahia pode colaborar com ações de conservação para o grupo, visto sua fundamental importância destes para a integridade dos ecossistemas (França et al., 2018). A conservação da cobertura vegetal nativa nas agroflorestas de cacau é benéfica à fauna, tornando a produção de cacau amiga da biodiversidade, gerando menos impacto quando comparado à agricultura convencional, podendo render aos produtores selos de incentivo à produção mais sustentável. A fauna ao transitar pelos sistemas agroflorestais faz o aporte de sementes nativas e enriquece o solo com o aporte de nutrientes contidos nas fezes. Ao manipular as fezes de mamíferos de médio e grande porte, os rola-bostas colaboram para a manutenção da flora nativa por meio do revolvimento do solo (bioturbação), contribuindo

assim, para o estabelecimento de plântulas por meio da dispersão secundária de sementes, do incremento de nutrientes no solo, do enriquecimento e transporte da microbiota e aumento da umidade do solo. Globalmente, se comprovada a relação benéfica da maior diversidade de rola bostas e a maior qualidade nutricional dos sistemas agroflorestais e seu consequente ganho econômico (i.e., seja pelo aumento da produção ou diminuição do aporte de insumos agrícolas) nossos resultados podem ser usados como incentivo para uma produção mais sustentável, extrapolando os benefícios gerados pelos rola bostas a outros sistemas de cultivo.

REFERÊNCIAS

- Arroyo-Rodríguez, V., Fahrig, L., Tabarelli, M., Watling, J. I., & Tischendorf, L. (2020). Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Journal: Ecology Letters*, 1915(c), 1–39. <https://doi.org/10.1111/ele.13535>
- Barlow, J., Lennox, G. D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A. C., Nally, R. Mac, Thomson, J. R., Ferraz, S. F. D. B., Louzada, J., Oliveira, V. H. F., Parry, L., Ribeiro De Castro Solar, R., Vieira, I. C. G., Aragaõ, L. E. O. C., Begotti, R. A., Braga, R. F., Cardoso, T. M., Jr, R. C. D. O., Souza, C. M., ... Gardner, T. A. (2016). Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*, 535(7610), 144–147. <https://doi.org/10.1038/nature18326>
- Beiroz, W., Slade, E. M., Barlow, J., Silveira, J. M., Louzada, J., & Sayer, E. (2017). Dung beetle community dynamics in undisturbed tropical forests: implications for ecological evaluations of land-use change. *Insect Conservation and Diversity*, 10(1), 94–106. <https://doi.org/10.1111/icad.12206>
- Bogoni, J. A., Graipel, M. E., de Castilho, P. V., Fantacini, F. M., Kuhnen, V. V., Luiz, M. R., Maccarini, T. B., Marcon, C. B., de Souza Pimentel Teixeira, C., Tortato, M. A., Vaz-de-Mello, F. Z., & Hernández, M. I. M. (2016). Contributions of the mammal community, habitat structure, and spatial distance to dung beetle community structure. *Biodiversity and Conservation*, 25(9), 1661–1675. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1147-1>
- Bos, M. M., Höhn, P., Saleh, S., Büche, B., Buchori, D., Steffan-Dewenter, I., & Tschardtke, T. (2007). Insect diversity responses to forest conversion and agroforestry management. *Stability of Tropical Rainforest Margins*, 277–294. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30290-2_14
- Bovendorp, R. S., Brum, F. T., McCleery, R. A., Baiser, B., Loyola, R., Cianciaruso, M. V., & Galetti, M. (2019). Defaunation and fragmentation erode small mammal diversity dimensions in tropical forests. *Ecography*, 42(1), 23–35. <https://doi.org/10.1111/ecog.03504>
- Braga, Carvalho, R., Andresen, E., Anjos, D. V., Alves-Silva, E., & Louzada, J. (2017). Quantification of four different post-dispersal seed deposition patterns after dung beetle activity. *Journal of Tropical Ecology*, 33(6), 407–410. <https://doi.org/10.1017/S0266467417000335>
- Braga, R. F., Korasaki, V., Andresen, E., & Louzada, J. (2013). Dung Beetle Community and Functions along a Habitat-Disturbance Gradient in the Amazon: A Rapid Assessment of Ecological Functions Associated to Biodiversity. *PLoS ONE*, 8(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057786>

- Cabral, J. P., Faria, D., & Morante-filho, C. (2021). *Forest Ecology and Management* Landscape composition is more important than local vegetation structure for understory birds in cocoa agroforestry systems. *481*(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118704>
- Carvalho, R. L., Andersen, A. N., Anjos, D. V., Pacheco, R., Chagas, L., & Vasconcelos, H. L. (2020). Understanding what bioindicators are actually indicating: Linking disturbance responses to ecological traits of dung beetles and ants. *Ecological Indicators*, *108*(September 2019), 105764. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105764>
- Cassano, C. R., Barlow, J., & Pardini, R. (2012). *Large Mammals in an Agroforestry Mosaic in the Brazilian Atlantic Forest*. *0*(0), 1–8.
- Cassano, C. R., Schroth, G., Faria, D., Delabie, J. H. C., & Bede, L. (2009). Landscape and farm scale management to enhance biodiversity conservation in the cocoa producing region of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, *18*(3), 577–603. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9526-x>
- da Silva, P. G., & Hernández, M. I. M. (2016). Spatial variation of dung beetle assemblages associated with forest structure in remnants of southern Brazilian Atlantic Forest. *Revista Brasileira de Entomologia*, *60*(1), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2015.11.001>
- Da Silva, P. G., & Hernández, M. I. M. (2015). Spatial patterns of movement of dung beetle species in a tropical forest suggest a new trap spacing for dung beetle biodiversity studies. *PLoS ONE*, *10*(5), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126112>
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, *345*(6195), 401–406. <https://doi.org/10.1126/science.1251817>
- Fahrig, L. (2013). Rethinking patch size and isolation effects: The habitat amount hypothesis. *Journal of Biogeography*, *40*(9), 1649–1663. <https://doi.org/10.1111/jbi.12130>
- Faria, D., Paciencia, M. L. B., Dixo, M., Laps, R. R., & Baumgarten, J. (2007). Ferns, frogs, lizards, birds and bats in forest fragments and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, *16*(8), 2335–2357. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9189-z>
- Filgueiras, B. K. C., Iannuzzi, L., & Leal, I. R. (2011). Habitat fragmentation alters the structure of dung beetle communities in the Atlantic Forest. *Biological Conservation*, *144*(1), 362–369. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.013>
- França, F., Louzada, J., & Barlow, J. (2018). Sective logging effects on ‘brown world’ faecal-detritus pathway in tropical forests: A case study from Amazonia using dung beetle. *Forest Ecology and Management*, *410*, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.027>
- França, Ferreira, J., Vaz-de-Mello, F. Z., Maia, L. F., Berenguer, E., Ferraz Palmeira, A., Fadini, R., Louzada, J., Braga, R., Hugo Oliveira, V., & Barlow, J. (2020). El Niño impacts on human-modified tropical forests: Consequences for dung beetle diversity and associated ecological processes. *Biotropica*, *52*(2), 252–262. <https://doi.org/10.1111/btp.12756>

- Fundação SOS Mata Atlântica & INPE. (2020). Fundação SOS Mata Atlântica Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ATLAS DOS REMANESCENTES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA PERÍODO 2018-2019 São Paulo. *Atlas Dos Remanescentes Florestais Da Mata Atlântica.*, 1–61.
- Fundação SOS Mata Atlântica, & INPE. (2018). Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. *Relatório Técnico*, 65. <https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/>
- Griffiths, H. M., Bardgett, R. D., Louzada, J., Barlow, J., & Griffiths, H. M. (2016). *The value of trophic interactions for ecosystem function : dung beetle communities influence seed burial and seedling recruitment in tropical forests.*
- Griffiths, H. M., Louzada, J., Bardgett, R. D., & Barlow, J. (2016). Assessing the importance of intraspecific variability in dung beetle functional traits. *PLoS ONE*, *11*(3), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145598>
- Hanski, I., & Cambefort, Y. (1991). *Beetle Ecology.*
- Hervé B., B. D., & Vidal, S. (2008). Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in southern Cameroon under different management. *Biodiversity and Conservation*, *17*(8), 1821–1835. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9276-1>
- Kummerow, J., Kummerow, M., & Souza da Silva, W. (1982). Fine-root growth dynamics in cacao (*Theobroma cacao*). *Plant and Soil*, *65*(2), 193–201. <https://doi.org/10.1007/BF02374650>
- Maldonado, M. B., Aranibar, J. N., Serrano, A. M., Chacoff, N. P., & Vázquez, D. P. (2019). Dung beetles and nutrient cycling in a dryland environment. *Catena*, *179*(June 2018), 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.035>
- Manning, P., Slade, E. M., Beynon, S. A., & Lewis, O. T. (2016). Functionally rich dung beetle assemblages are required to provide multiple ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *218*, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.007>
- Martin, D. A., Osen, K., Grass, I., Hölscher, D., Tschardtke, T., Wurz, A., & Kreft, H. (2020). Land-use history determines ecosystem services and conservation value in tropical agroforestry. *Conservation Letters*, *January 2020*, 1–12. <https://doi.org/10.1111/conl.12740>
- Morante-Filho, J. C., Faria, D., Mariano-Neto, E., & Rhodes, J. (2015). Birds in Anthropogenic Landscapes: The Responses of Ecological Groups to Forest Loss in the Brazilian Atlantic Forest. *PLOS ONE*, *10*(6), e0128923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128923>
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcuita, S., & Favila, M. E. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, *141*(6), 1461–1474. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.011>
- Nichols, Gardner, T. A., Peres, C. A., & Spector, S. (2009). Co-declining mammals and dung beetles: an impending ecological cascade. *Oikos*, *118*(4), 481–487. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.17268.x>
- Nichols, Larsen, T., Spector, S., Davis, A. L., Escobar, F., Favila, M., & Vulinec, K. (2007). Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. *Biological Conservation*, *137*(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.01.023>
- Pardini, R., de Bueno, A. A., Gardner, T. A., Prado, P. I., & Metzger, J. P. (2010). Beyond

- the fragmentation threshold hypothesis: Regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. *PLoS ONE*, 5(10).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013666>
- Pardini, R., Faria, D., Accacio, G. M., Laps, R. R., Mariano-Neto, E., Paciencia, M. L. B., Dixo, M., & Baumgarten, J. (2009). The challenge of maintaining Atlantic forest biodiversity: A multi-taxa conservation assessment of specialist and generalist species in an agro-forestry mosaic in southern Bahia. *Biological Conservation*, 142(6), 1178–1190. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.010>
- Raine, E. H., & Slade, E. M. (2019). Dung beetle-mammal associations: Methods, research trends and future directions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1897). <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2002>
- Rezende, C. L., Scarano, F. R., Assad, E. D., Joly, C. A., Metzger, J. P., Strassburg, B. B. N., Tabarelli, M., Fonseca, G. A., & Mittermeier, R. A. (2018). From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 16(4), 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>
- Santos-Heredia, C., Andresen, E., Zárate, D. A., & Escobar, F. (2018). Dung beetles and their ecological functions in three agroforestry systems in the Lacandona rainforest of Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 27(9), 2379–2394. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1542-x>
- Schroth, G., Faria, D., Araujo, M., Bede, L., van Bael, S. A., Cassano, C. R., Oliveira, L. C., & Delabie, J. H. C. (2011). Conservation in tropical landscape mosaics: The case of the cacao landscape of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 20(8), 1635–1654. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0052-x>
- Schroth, G., & Harvey, C. A. (2007). Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: An overview. *Biodiversity and Conservation*, 16(8), 2237–2244. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9195-1>
- Slade, E. M., Mann, D. J., Villanueva, J. F., & Lewis, O. T. (2007). Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. In *Journal of Animal Ecology* (Vol. 76, Issue 6, pp. 1094–1104). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01296.x>
- Slade et al. (2011). Biodiversity and ecosystem function of tropical forest dung beetles under contrasting logging regimes. *Biological Conservation*, 144(1), 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.08.011>
- Slade, Roslin, T., Santalahti, M., & Bell, and T. (2016). Disentangling the “brown world” faecal-detritus interaction web: Dung beetle effects on soil microbial properties. *Oikos*, 125(5), 629–635. <https://doi.org/10.1111/oik.02640>
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., & Jagoret, P. (2016). *Cacao Nutrition and Fertilization*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4
- Souza, T., França, F. M., Barlow, J., Dodonov, P., Santos, J. S., Faria, D., & Baumgarten, J. (2020). The relative influence of different landscape attributes on dung beetle communities in the Brazilian Atlantic forest. *Ecological Indicators*, 117, 106534. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106534>
- Steffan-Dewenter, I., Kessler, M., Barkmann, J., Bos, M. M., Buchori, D., Erasmi, S., Faust, H., Gerold, G., Glenk, K., Gradstein, S. R., Guhardja, E., Harteveld, M., Hertel, D., Höhn, P., Kappas, M., Köhler, S., Leuschner, C., Maertens, M., Marggraf, R., ... Tschardtke, T. (2007). Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification.

- Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(12), 4973–4978. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608409104>
- Thomas, W. W., De Carvalho, A. M. V., Amorim, A. M. A., Garrison, J., & Arbeláez, A. L. (1998). Plant endemism in two forests in southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 7(3), 311–322. <https://doi.org/10.1023/A:1008825627656>
- Tixier, T., Bloor, J. M. G., & Lumaret, J. P. (2015). Species-specific effects of dung beetle abundance on dung removal and leaf litter decomposition. *Acta Oecologica*, 69, 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2015.08.003>
- Tscharntke, T., Milder, J. C., Schroth, G., Clough, Y., Declerck, F., Waldron, A., Rice, R., & Ghazoul, J. (2015). Conserving Biodiversity Through Certification of Tropical Agroforestry Crops at Local and Landscape Scales. *Conservation Letters*, 8(1), 14–23. <https://doi.org/10.1111/conl.12110>