



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA

RELATÓRIO FINAL DO PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
2021/2022

**Diversidade e comportamento de besouros escarabeíneos:
Sazonalidade e diversidade funcional na ilha de Santa Catarina**

Bolsista PIBIC: Lais Conti Stein

Orientadora: Profa. Dra. Malva Isabel Medina Hernández

RESUMO

Besouros da subfamília Scarabaeinae são importantes indicadores ambientais, além de exercerem funções e serviços ecossistêmicos imprescindíveis à manutenção de processos naturais e qualidade de vida do ser humano. Através de seus comportamentos alimentares e reprodutivos atuam na alocação de recursos orgânicos, ciclagem de nutrientes, dispersão secundária de sementes, bioturbação do solo, supressão de parasitas, regulação trófica e polinização. Para melhor compreender a relação entre as comunidades de Scarabaeinae coprófagos presentes na Ilha de Santa Catarina com o funcionamento e a manutenção dos processos ecossistêmicos ao longo das estações do ano, o presente trabalho realizou medições da biodiversidade através da diversidade funcional, considerando riqueza funcional e equitabilidade funcional das comunidades da Ilha de Santa Catarina. Através de análises de variância (ANOVA) e correlações estatísticas (correlação de Pearson) verificou-se ausência de variação no volume funcional ao longo das estações do ano permitindo a manutenção dos processos ecossistêmicos, independente de sazonalidade, embora fosse observada uma relação positiva entre temperatura e riqueza funcional. Além disso, calculou-se o volume funcional das 15 espécies presentes na ilha, totalizando 10 grupos funcionais distintos, as espécies foram plotadas em suas respectivas posições dentro de um volume tridimensional, possibilitando a visualização da sobreposição de 8 espécies em 3 grupos funcionais.

Palavras-chave: Scarabaeinae. Diversidade funcional. Sazonalidade.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	3
MATERIAIS E MÉTODOS	
1. Área de estudo.....	6
2. Coleta e análise dos dados.....	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
CONCLUSÕES.....	19
AVALIAÇÃO DO ALUNO EM RELAÇÃO AO PIBIC.....	20
REFERÊNCIAS.....	21

INTRODUÇÃO

Besouros da subfamília Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) popularmente conhecidos como “besouros rola-bosta” estão distribuídos ao redor de todo globo e apresentam grande diversidade, principalmente em ambientes de florestas tropicais e savanas (NICHOLS et al., 2008), sendo principalmente abundantes em períodos quentes e chuvosos (HERNÁNDEZ & VAZ DE MELLO, 2009). Por se tratarem de espécies sensíveis a mudanças ambientais e processos de fragmentação de habitat, são amplamente estudados como bioindicadores, apresentando diferentes padrões na organização das comunidades como resposta às perturbações humanas (HALFFTER & FAVILA, 1993; HERNÁNDEZ & VAZ DE MELLO, 2009; MCGEOCH et al., 2002).

Além de bioindicadores de qualidade de habitat, as comunidades de besouros rola-bosta estão intrinsecamente ligadas aos processos ecossistêmicos, através de seus comportamentos alimentares e reprodutivos atuam diretamente na alocação de recursos orgânicos, ciclagem de nutrientes, dispersão secundária de sementes, bioturbação do solo, supressão de parasitas, regulação trófica e polinização (HERNÁNDEZ et al., 2019; NICHOLS et al., 2008; SLADE et al., 2007). Citadas tais valiosas funções ecossistêmicas ficam implícitas suas contribuições diretas e indiretas aos seres humanos através dos chamados serviços ecossistêmicos, dentre eles podem ser apontados os serviços de fertilização e aeração do solo, controle de parasitas, melhoria no desenvolvimento de plantas, remoção de fezes, redução na emissão de gases do efeito-estufa, dentre outros (NICHOLS et al., 2008; NIERO et al., 2022; SLADE et al., 2016).

Para melhor compreender a relação entre as comunidades presentes em determinado ambiente com o funcionamento e a manutenção dos processos ecossistêmicos, como os processos anteriormente citados, este trabalho busca medir a biodiversidade através da diversidade funcional. Existem diversas maneiras de interpretar e medir a biodiversidade, a mais comumente utilizada é a diversidade taxonômica, que toma como métrica o número de espécies presentes em determinada região (riqueza de espécies) e suas contribuições relativas, mensuradas pelos índices de Shannon e de Simpson, porém esse tipo de medição de biodiversidade, ao levar em conta apenas medidas quantitativas, não têm representado a estrutura e o funcionamento das comunidades (CIANCIARUSO et al., 2009). Por outro lado, a diversidade funcional leva em conta medidas qualitativas da comunidade no que diz respeito à interação das diferentes espécies com o ambiente, levando em consideração o ‘papel’ e as contribuições de cada espécie no ecossistema em que reside. A diversidade funcional

apresenta diversas definições, Tilman (2001) a define como “o valor a variação das espécies e de suas características que influencia o funcionamento das comunidades”, Mouillot e colaboradores (2013) descrevem diversidade funcional como “a distribuição das espécies e suas abundâncias no espaço funcional de uma determinada comunidade”, e Sarmiento-Garcés e Hernández (2021) agregam o conceito caracterizando diversidade funcional como a quantificação de grupos funcionais, níveis tróficos ou recursos mobilizados pelas espécies, que podem ser medidos através de métodos multivariados com a finalidade de verificar variabilidade funcional. A diversidade funcional vai para além da diversidade taxonômica, levando em consideração as características funcionais das espécies, independentemente da filogenia. Ou seja, espécies distintas podem acabar sendo agrupadas num mesmo grupo funcional, uma vez que as características medidas sejam redundantes.

Com a crescente perda de biodiversidade, ocasionada principalmente por ações humanas de destruição de habitat, poluição, sobrexploração, introdução de espécies exóticas e mudanças climáticas (SLINGENBERG et al., 2009), se torna cada vez mais importante compreender as contribuições das espécies, auxiliando desta maneira com o estabelecimento de prioridades em ações de conservação (WALKER, 1992). Ecossistemas mais resilientes tendem a apresentar maior nível de redundância no que diz respeito às características funcionais das espécies ali presentes, logo, ambientes com menor nível de redundância, podem ser estabelecidos como prioridades de proteção, para que desta maneira possa ser mantida a integridade das funções ecossistêmicas, e menores sejam as perdas em determinado ambiente (WALKER, 1992). O trabalho de Sarmiento-Garcés & Hernández (2021) nos mostra uma redução preocupante na diversidade funcional de escarabeíneos em ambientes fortemente antropizados da Mata Atlântica, a ação humana tem ocasionado simplificação e homogeneização das espécies e seus atributos funcionais, alterando a dinâmica e estrutura das paisagens. Análises da diversidade funcional têm se mostrado importantes uma vez que a perda de determinadas formas de vida pode causar efeitos distintos à estrutura e funcionamento dos ecossistemas. Tendo os processos de ciclagem de nutrientes e formação de solo como base para diversas outras funções ecossistêmicas, a manutenção da diversidade da biota responsável por tais processos, como os besouros rola-bosta, é fundamental para a dinâmica ecossistêmica.

Além de serem afetadas por ações antrópicas, a diversidade de besouros escarabeíneos também é afetada por variações naturais do ambiente, estando a riqueza de espécies e a abundância de indivíduos relacionadas à temperatura e umidade, havendo maior riqueza e maior abundância em estações com temperaturas e umidade elevadas (DA SILVA et

al., 2013; HALFFTER, 1991; HERNÁNDEZ & VAZ-DE-MELLO, 2009; ROESNER, 2017). As variações diárias da temperatura em conjunto com fatores evolutivos também ditam o período de atividade das diferentes espécies, havendo espécies com período de atividade noturno, outras diurnas, espécies crepusculares e ainda existem espécies que se encontram ativas tanto no período diurno como noturno (HERNÁNDEZ et al., 2019), ocupando por sua vez um nicho mais amplo.

O comportamento alimentar dos escarabeíneos varia entre a coprofagia, necrofagia, fungivoria e frugivoria de frutas em processo de decomposição. Pode-se afirmar que em sua maioria, os besouros da subfamília Scarabaeinae são majoritariamente coprófagos, consumindo o componente líquido das fezes de mamíferos rico em microorganismos, enquanto que a parte fibrosa é utilizada para o processo de nidificação (NICHOLS et al., 2008). Diferentes estratégias de nidificação classificam os escaravelhos em três grupos, diferindo em paracoprídeos, telecoprídeos e endocoprídeos, tais estratégias diferenciam-se entre si na alocação do recurso fecal, gerando distintas influências ecológicas ao ecossistema em que residem. Escaravelhos paracoprídeos retiram parte do recurso e o realocam em câmaras verticais abaixo do local de deposição; escaravelhos telecoprídeos transportam o recurso a determinadas distâncias horizontais do local de deposição para depois enterrar sob a superfície do solo; e, escaravelhos endocoprídeos não realizam transporte do recurso, estes por sua vez nidificam na própria massa fecal.

A quantidade do recurso a ser utilizada e transportada, no caso de escaravelhos paracoprídeos e telecoprídeos, depende do tamanho e massa corporal do indivíduo em questão. Espécies com maior tamanho corporal são capazes de realocar maiores quantidades de recurso, enquanto que espécies com menor média corporal transportam/utilizam menores quantidades do recurso. Vale pontuar que a quantidade do recurso a ser utilizada não depende só e unicamente do tamanho e massa corporal do escaravelho, variações ambientais como composição do solo, umidade e a qualidade do esterco também geram influência sobre a utilização do recurso (NICHOLS et al., 2008), porém no trabalho em questão tais variáveis serão descartadas à medida que as coletas foram realizadas em ambientes similares sem grandes divergências na composição da fauna fornecedora de recursos e nas condições climáticas.

Na tentativa de compreender a diversidade biológica e suas relações com a estrutura e dinâmica ecossistêmica, o presente trabalho objetiva medir e analisar a diversidade funcional das assembleias de besouros coprófagos da subfamília Scarabaeinae em fragmentos de Mata Atlântica da ilha de Santa Catarina e sua flutuação sazonal. Considerando que a

abundância das espécies de besouros rola-bosta é comparativamente maior nas estações com altas temperaturas (verão e primavera), espera-se que, apesar da abundância reduzida nas estações de baixa temperatura, a diversidade funcional se mantenha estável independente das flutuações sazonais, permitindo a manutenção dos processos ecossistêmicos durante todo o ano.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Área de estudo

Foram realizadas coletas sazonais em remanescentes de Mata Atlântica da Ilha de Santa Catarina, mais especificamente no Monumento Natural Municipal da Lagoa do Peri (27°43' S, 48°30' O) e na Unidade de Conservação Ambiental Desterro (27°32' S, 48°29' O). O Monumento Natural Municipal da Lagoa do Peri (PERI) compreende uma área de 4.274,43 ha (FLORIANÓPOLIS, 2019), situa-se na porção sul da ilha e apresenta 2 tipos de vegetação, Floresta Ombrófila Densa e vegetação típica de restinga, ou ainda, Vegetação Litorânea (DOS SANTOS et al., 1989); o local de coleta dentro do Monumento abrange a área de Floresta Ombrófila Densa e apresenta 50m de altitude. Vale ressaltar que no passado, durante a colonização açoriana, a área em questão sofreu ações antrópicas com uso do solo para atividades agrícolas (DOS SANTOS et al., 1989), podendo-se verificar nas áreas de coleta algumas ruínas de antigas lavouras. Atualmente a vegetação é composta principalmente por mata secundária em diversos estágios de regeneração, a área onde foram realizadas as coletas apresenta os estágios de capoeira, capoeirão e floresta primária com desmatamento seletivo (DOS SANTOS et al., 1989).

A Unidade de Conservação Ambiental Desterro (UCAD), por sua vez, apresenta uma área total de 491,5 ha, localiza-se na porção central da ilha de Santa Catarina e a área de amostragem apresenta 150 m de altitude. Assim como o Monumento Natural Municipal da Lagoa do Peri, conta com um histórico de utilização do solo para agricultura e extração de recursos madeireiros (BONNET & QUEIROZ, 2006), até que em 1995 a área passa a ser responsabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina. Dado tal histórico, a vegetação atual da área se assemelha à outra área de estudo, apresentando mata de capoeira, capoeirinha, capoeirão e mata primária que sofreu desmatamento seletivo (BONNET & QUEIROZ, 2006). Os dois locais de coleta distanciam entre si cerca de 20 km, a região apresenta predominantemente clima Cfa (subtropical úmido), com verões quentes (~21 ° C) e chuvas bem distribuídas ao longo do ano (~1500 mm anuais).

2. Coleta e análise dos dados

As coletas se iniciaram na primavera de 2016 e desde então têm se realizado esforços trimestrais, o presente trabalho reúne a amostragem de 3 anos consecutivos (2016 a 2019), englobando 3 primaveras, 3 verões, 3 outonos e 3 invernos, somando um total de 12 coletas (Tabela 1).

Tabela 1 - Datas das coletas.

Coleta	Ano	Mês	Dias
1	2016	setembro	20, 21 e 22
2	2016	dezembro	13, 14 e 15
3	2017	março	21, 22 e 23
4	2017	julho	3, 4 e 5
5	2017	setembro	25, 26 e 27
6	2017	dezembro	5, 6 e 7
7	2018	março	14, 15 e 16
8	2018	julho	16, 17 e 18
9	2018	outubro	2, 3 e 4
10	2019	janeiro	16, 17 e 18
11	2019	abril	2, 3 e 4
12	2019	julho	11, 12 e 13

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A coleta de escarabeíneos foi padronizada, fazendo-se o uso de armadilhas pitfall (Figura 1), potes plásticos de 15 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade enterrados no solo com 200 ml água e detergente para quebrar a tensão superficial da água e permitir que os insetos afundem. Em cada área de coleta foram instaladas 10 armadilhas, 5 iscadas com 10g de fezes humanas e outras 5 iscadas com 10g de carne em decomposição, estas foram distanciadas aos pares a cada 100 m. Durante as análises foram excluídas as capturas ocorridas nas armadilhas iscadas com carne, uma vez que o presente trabalho busca avaliar a diversidade funcional de besouros coprófagos, que abrangem a grande maioria das espécies da subfamília Scarabaeinae (TEIXEIRA, 2016), em conjunto com espécies generalistas, excluindo assim besouros unicamente necrófagos.

As armadilhas ficaram expostas durante 48 horas, os insetos foram capturados mortos, retirados da área de estudo e armazenados em potes com álcool 90°, posteriormente foram triados e identificados no Laboratório de Ecologia Terrestre Animal (LECOTA, UFSC) em nível de espécie. Todos os indivíduos coletados foram montados em alfinetes entomológicos, posicionados devidamente e secos em estufa a 50°C durante três dias, os besouros foram depositados na Coleção Entomológica MitiaHeusi Silveira do Centro de Ciências Biológicas da UFSC.

Figura 1 - À esquerda armadilha pitfall iscada com fezes logo após a montagem, e à direita armadilha após exposição de 48h com diversos escarabeíneos.



Fonte: Fotografias tiradas em campo pela autora (2022).

Além da coleta dos besouros também foram obtidos os dados das temperaturas de cada local de estudo, tendo em vista a influência que a mesma tem sobre as espécies em estudo. Nos pontos centrais das áreas de coleta da UCAD e do PERI foram instalados 2 dataloggers, sendo que um deles mede a temperatura do solo, enterrado a uma profundidade de 5cm, e o outro mede a temperatura do ar, amarrado a um tronco de árvore a 1m de altura. Ambos foram programados para medir a temperatura num intervalo de 1h, a coleta das temperaturas se iniciou em setembro de 2016 e desde então têm sido realizadas a manutenção e troca de aparelhos para que a medição não seja interrompida. Em cada campanha de coleta trimestral, os dados das temperaturas foram e ainda permanecem sendo lidos e armazenados em um computador para posterior análise em planilhas Excel, de maneira que são calculadas as temperaturas máximas, médias e mínimas por dia de coleta de cada região, além das temperaturas mínimas, médias e máximas sazonais e anuais.

Baseando-se na literatura disponível, no comportamento e fenótipo dos escarabaeíneos, foram delimitados atributos relevantes para formação de grupos funcionais (Tabela 2), dentre os parâmetros estabelecidos se enquadram período de atividade (diurno, noturno ou diurno e noturno), alocação de recursos (endocoprídeo, telecoprídeo ou paracoprídeo) e tamanho do corpo (pequeno, médio ou grande). O hábito alimentar não foi enquadrado como parâmetro uma vez que houve a delimitação da pesquisa acerca besouros coprófagos e generalistas. Para atribuição das características a cada espécie e conseguinte separação em grupos funcionais, foi utilizada como referência a publicação de Hernández e colaboradores (2019), a qual qualifica as espécies presentes na ilha de Santa Catarina utilizando os parâmetros escolhidos em conjunto com informações adicionais.

Os dados foram inicialmente organizados através do programa Excel, onde através de uma tabela dinâmica possibilitou-se a exclusão das capturas ocorridas nas armadilhas iscadas com carne, restringindo a pesquisa a escarabaeíneos coprófagos e generalistas, e possibilitou-se a delimitação das coletas (de setembro de 2016 a julho de 2019) que entraram para as análises. Também no Excel foram realizados gráficos de temperaturas, abundância, riqueza taxonômica e funcional, além de serem construídas as tabelas do presente trabalho. Para as análises realizadas no programa RStudio, foram construídas 2 planilhas no Excel, sendo uma delas uma matriz de períodos amostrais x espécies e a outra, uma matriz dos períodos amostrais x grupos funcionais. Através do pacote FD (Measuring Functional Diversity), no software RStudio, foram analisados os componentes de riqueza (FRic) e equitabilidade (FEve) da diversidade funcional, para isto foram incluídos os valores obtidos nas 3 primaveras, 3 verões e assim por diante em ambos locais de coleta, totalizando 24 amostras, sendo 6 para cada estação. Vale ressaltar que os valores de ambas comunidades (do PERI e da UCAD) foram consideradas para análises, de forma independente, pois se tratam de duas comunidades distintas.

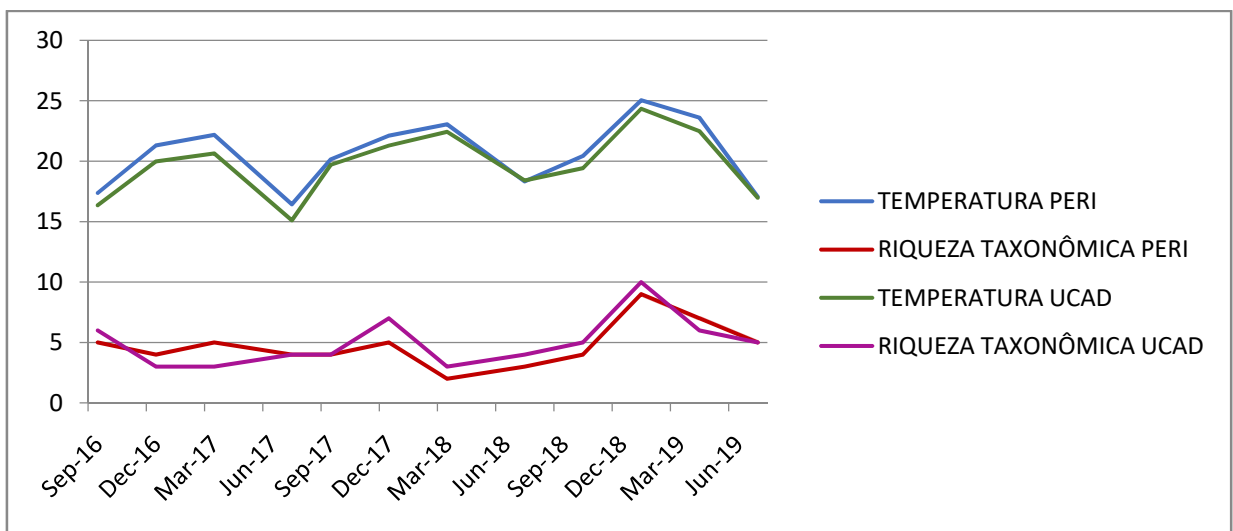
Com o intuito de comparar os valores obtidos da diversidade funcional para cada estação e sua variação dentro do mesmo grupo, realizou-se no programa Statistica uma análise de variância (ANOVA) para cada componente da diversidade funcional, sendo uma ANOVA para riqueza funcional e outra ANOVA para equitabilidade funcional. No mesmo programa foi verificada a correlação entre riqueza funcional e temperatura através da correlação de Pearson, gerando um gráfico. Além disso, efetuou-se uma análise de coordenadas principais (PCoA) acerca dos atributos funcionais das espécies, a partir de uma matriz espécies x atributos, para visualizar o volume funcional, os valores gerados nos 3 eixos da PCoA foram utilizados para a composição dos eixos e as espécies foram plotadas no

espaço tridimensional, de acordo com suas respectivas características, representando o período de atividade, alocação de recursos e tamanho do corpo, como já mencionado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do estudo foram coletadas 15 espécies (Tabela 2), sendo 12 presentes no PERI e 13 na UCAD, das 15 espécies encontradas 10 estavam presentes em ambas localidades, enquanto que 2 espécies foram encontradas apenas no PERI (*Eurysternuscyanescens* e *Eurysternusinflexus*) e 3 espécies unicamente na UCAD (*Deltochilumrubripenne*, *Dichotomiusaff. acuticornus* e *Dichotomiusascanius*). Dada a semelhança histórica, fitofisionômica e a proximidade de ambas áreas, sendo climaticamente idênticas e termicamente similares (Figura 2), as análises foram feitas para ilha de Santa Catarina como um todo, reunindo as amostras de ambos locais sem pretensão comparativa entre eles.

Figura 2—Gráfico das temperaturas médias do ar nos três dias de coleta em ambos locais de estudo (PERI e UCAD) em conjunto com a riqueza taxonômica, ou seja, o número de espécies encontradas no PERI e UCAD separadamente.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Observando a Figura 2 fica evidente a semelhança entre os dois locais de amostragem, seja a semelhança na variação das temperaturas ao longo do tempo, quanto a dinâmica das comunidades de escarabeíneos de ambas áreas. Com exceção do verão e outono de 2017, a riqueza taxonômica, ou seja, o número de espécies coletadas, se assemelham ao longo do tempo num gradiente que se eleva e reduz acompanhando altas e baixas

temperaturas, respectivamente. Diversas pesquisas descrevem uma correlação positiva entre riqueza de espécies e temperatura ambiental (DA SILVA et al., 2013; HALFFTER, 1991; HERNÁNDEZ & VAZ-DE-MELLO, 2009; ROESNER, 2017), reforçando a consistência dos dados amostrados na ilha de Santa Catarina.

Para além da riqueza taxonômica, foram avaliados componentes da diversidade funcional, em específico a riqueza funcional (FRic) e a equitabilidade funcional (FEve), que de acordo com Sarmiento-Garcés e Hernández (2021), podem ser definidos como o espaço funcional preenchido pela comunidade (FRic) e a regularidade nas distribuições de abundância dentro do espaço funcional (FEve). Com tal propósito as espécies foram separadas em grupos funcionais (Tabela 2) que levaram em consideração 3 atributos, sendo o período de atividade, alocação de recursos e o tamanho médio da espécie, formando um total de 10 grupos funcionais para as 15 espécies encontradas. Tais características escolhidas unem aspectos físicos (tamanho) e comportamentais (alocação de recursos e período de atividade) que influenciam diretamente no papel ecológico dos escarabeíneos dentro dos processos ecossistêmicos. Espécies maiores, por exemplo, são capazes de mobilizar maiores quantidades de fezes do que espécies menores, besouros telecoprídeos e paracoprídeos realizam com maior eficiência aeração e bioturbação do solo (NIERO et al., 2022), e espécies noturnas ocupam nichos distintos das espécies diurnas e vice-versa; portanto, verifica-se que todos atributos considerados são válidos para determinação funcional das espécies.

Tabela 2 – Atributos funcionais das espécies encontradas e seus respectivos grupos funcionais. Dentre as características ecológicas selecionadas estão presentes o “Hábito”, que faz jus ao período de atividade da espécie (D = diurno, N = noturno, DN = diurno e noturno), a “Alocação” de recursos realizada pela espécie (P = paracoprídeo, T = telecoprídeo, E = endocoprídeo) e o “Tamanho” médio dos indivíduos que compõem a espécie (P = pequeno, M = médio, G = grande). A última coluna da tabela determina o grupo funcional relativo à cada espécie, unindo as características ecológicas selecionadas.

Espécies	Hábito(D/N/DN)	Alocação(P/T/E)	Tamanho (P/M/G)	Grupo Funcional
<i>Canthidiumaff. trinodosum</i>	D	P	P	DPP
<i>Canthonrutilanscyanescens</i>	D	T	P	DTP
<i>Coprophanaeussaphirinus</i>	D	P	G	DPG
<i>Deltochilum brasiliense</i>	DN	T	G	DNTG
<i>Deltochilummorbillosum</i>	DN	T	M	DNTM
<i>Deltochilum multicolor</i>	DN	T	M	DNTM
<i>Deltochilumrubripenne</i>	D	T	M	DTM
<i>Dichotomiusaff. acuticornus</i>	N	P	M	NPM
<i>Dichotomiusascanius</i>	N	P	M	NPM
<i>Dichotomiussericeus</i>	N	P	M	NPM
<i>Eurysternuscyanescens</i>	D	E	M	DEM
<i>Eurysternusinflexus</i>	D	E	M	DEM
<i>Eurysternusparallelus</i>	D	E	M	DEM
<i>Phanaeussplendidulus</i>	D	P	M	DPM
<i>Uroxyssp.b</i>	N	P	P	NPP

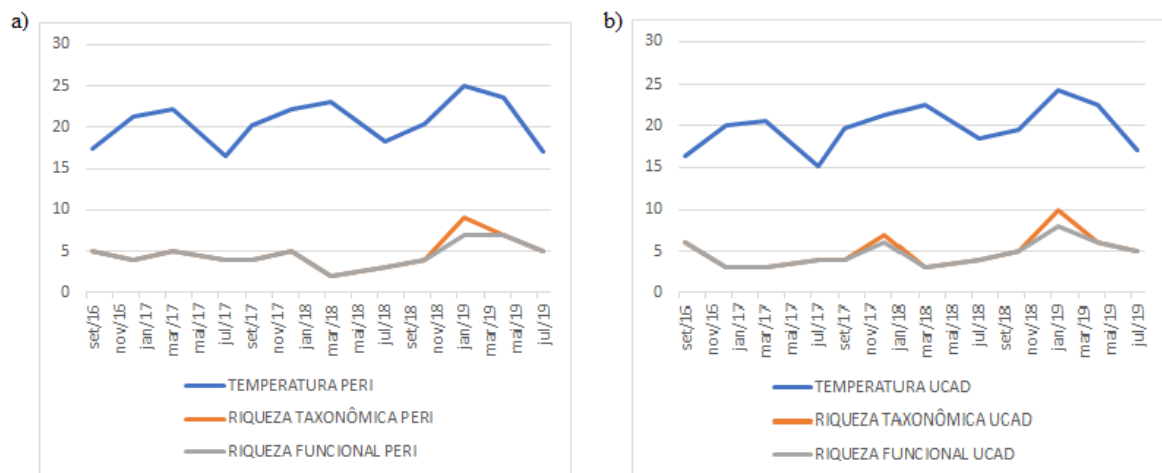
Fonte: Elaborada pela autora com base na publicação de Hernández et al.(2019).

Nos 10 grupos funcionais formados, 3 grupos uniram mais de uma espécie, de maneira que *Deltochilum multicolor* e *Deltochilummorbillosum* foram unidos no grupo “DNTM”, *Dichotomiusaff. acuticornus*, *Dichotomiusascanius* e *Dichotomiussericeus* foram unidos no grupo “NPM” e, *Eurysternuscyanescens*, *Eurysternusinflexus* e *Eurysternusparallelus* unidos no grupo “DEM”. Tais espécies agrupadas num mesmo grupo podem ser ditas como redundantes, ou seja, dados os atributos analisados, estas parecem exercer funções similares no ecossistema em que atuam. Vale observar que os agrupamentos ocorreram apenas para espécies do mesmo gênero (*Deltochilum*, *Dichotomius* e *Eurysternus*), evidenciando suas similaridades, enquanto que os outros gêneros apresentaram a ocorrência de apenas uma espécie nos locais de coleta, cada uma compondo um grupo funcional distinto. As únicas espécies que se separaram do agrupamento de gênero foi *Deltochilumrubripenne*, por apresentar apenas comportamento diurno, se distinguindo de *Deltochilum multicolor* e

Deltochilum morbillosum que apresentam atividade diurna e noturna, e *Deltochilum brasiliense*, que diferente das outras espécies, definidas com tamanho médio, apresenta tamanho grande.

Assim como foi observado para a riqueza taxonômica (Figura 2), a riqueza funcional visualmente apresenta uma tendência, sobrepondo a curva da riqueza taxonômica, aparentando refletir as influências da temperatura (Figura 3), de maneira a acompanhar um gradiente que se eleva e reduz com altas e baixas temperaturas, respectivamente.

Figura 3 – Flutuação da temperatura do ar em conjunto com as flutuações da riqueza taxonômica (número de espécies) e funcional (número de grupos funcionais) de ambas comunidades ao longo do tempo, sendo a) no PERI e b) na UCAD.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Analisando com maior precisão, foram obtidos os valores da riqueza funcional (FRic) e da equitabilidade funcional (FEve), expostos na Tabela 3 em conjunto com a temperatura média do ambiente. Os dados somam um total de 23 amostras, sendo 3 primaveras de 3 anos distintos (2016, 2017 e 2018) em duas comunidades diferentes (PERI e UCAD), somando um total de 6 dados amostrais para as primaveras, o mesmo ocorreu para o verão (2016, 2017 e 2019) e o inverno (2017, 2018 e 2019). O outono, por sua vez, apresenta 5 dados amostrais, pois no ano de 2018 no PERI, especificamente na coleta do outono houve insuficiência de dados para gerar os valores de riqueza e equitabilidade funcional, pois ocorreram apenas 2 capturas (um *Canthon rutilans cyanescens* e um *Dichotomius sericeus*), portanto a coleta foi excluída das análises.

Tabela 3– Valores de temperatura média nos 3 dias de coleta, em conjunto com os valores obtidos para riqueza funcional (FRic) e equitabilidade funcional (FEve). As estações foram representadas por letras, sendo a = primavera, b = verão, c = outono e d = inverno, os 12 primeiros valores são referentes à UCAD e os 11 restantes são referentes ao PERI.

Estação	Temperatura	FRic	FEve
a	16,36	0,567	0,467
b	19,98	0,004	0,622
c	20,64	0,004	0,214
d	15,11	0,174	0,774
a	19,7	0,406	0,753
b	21,29	0,429	0,319
c	22,43	0,352	0,898
d	18,41	0,301	0,417
a	19,43	0,428	0,435
b	24,34	0,733	0,478
c	22,48	0,591	0,214
d	16,98	0,353	0,367
a	17,37	0,549	0,515
b	21,31	0,368	0,275
c	22,18	0,515	0,608
d	16,43	0,056	0,587
a	20,15	0,219	0,634
b	22,11	0,252	0,556
d	18,32	0,004	0,342
a	20,43	0,301	0,548
b	25,04	0,845	0,438
c	23,6	0,845	0,408
d	17,05	0,353	0,364

Fonte:Elaborada pela autora (2022). Valores obtidos no RStudio.

Buscando analisar estatisticamente os valores gerados para a riqueza funcional, tanto sua variação dentro da mesma estação em diferentes amostragens, quanto a variação entre estações diferentes (a, b, c, d), os valores gerados para FRic foram submetidos à uma análise de variância (ANOVA), tal análise possibilita comparação dos dados, definindo se estes são significativamente distintos ou não. A ANOVA realizada para riqueza funcional mostra que a média da riqueza funcional para cada estação dentre os diferentes anos e locais de coleta e seus respectivos desvios padrão (Tabela 4).

Tabela 4 – Média, número amostral (N) e desvio padrão (DP) para os valores de riqueza funcional (FRic) na primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d).

Estação	Média	N	DP
a	0,411	6	0,136
b	0,438	6	0,310
c	0,462	5	0,311
d	0,207	6	0,152
Total	0,376	23	0,244

Fonte: Elaborada pela autora (2022). Valores obtidos na ANOVA, programa Statistica.

Os valores médios das riquezas funcionais não anunciam grandes divergências, todas as estações apresentaram médias próximas da média total, sendo o outono o período em que a média atingiu o maior valor, porém ainda sim o desvio padrão é grande, atingindo o menor valor de desvio padrão na primavera. O menor valor médio de riqueza funcional ocorreu no inverno, porém a simples observação das médias e desvios padrão não é suficiente, para melhor compreensão das diferenças e semelhanças entre tais dados foram obtidos os valores de F (F de Fisher-Snedecor) e P (probabilidade). A análise de variância mostrou não haver diferença significativa entre a riqueza funcional ao longo do ano ($F_{(3, 19)} = 1,404$, $P = 0,272$). Dado os graus de liberdade da amostra e do erro, verifica-se na tabela de limites unilaterais de distribuição F de Fisher-Snedecor ao nível de 5% de probabilidade que o F-crítico apresenta um valor de 3,127, sendo o valor-F (1,4) inferior ao F-crítico, demonstrando a ausência de diferença estatística entre as médias dos grupos. Além disso, o valor-P maior que 0,05 ($p=0,272$) reafirma a veracidade da hipótese nula, ou seja, a ausência de diferença estatística significativa na riqueza funcional entre as estações do ano, portanto o volume funcional se mantém independente da estação.

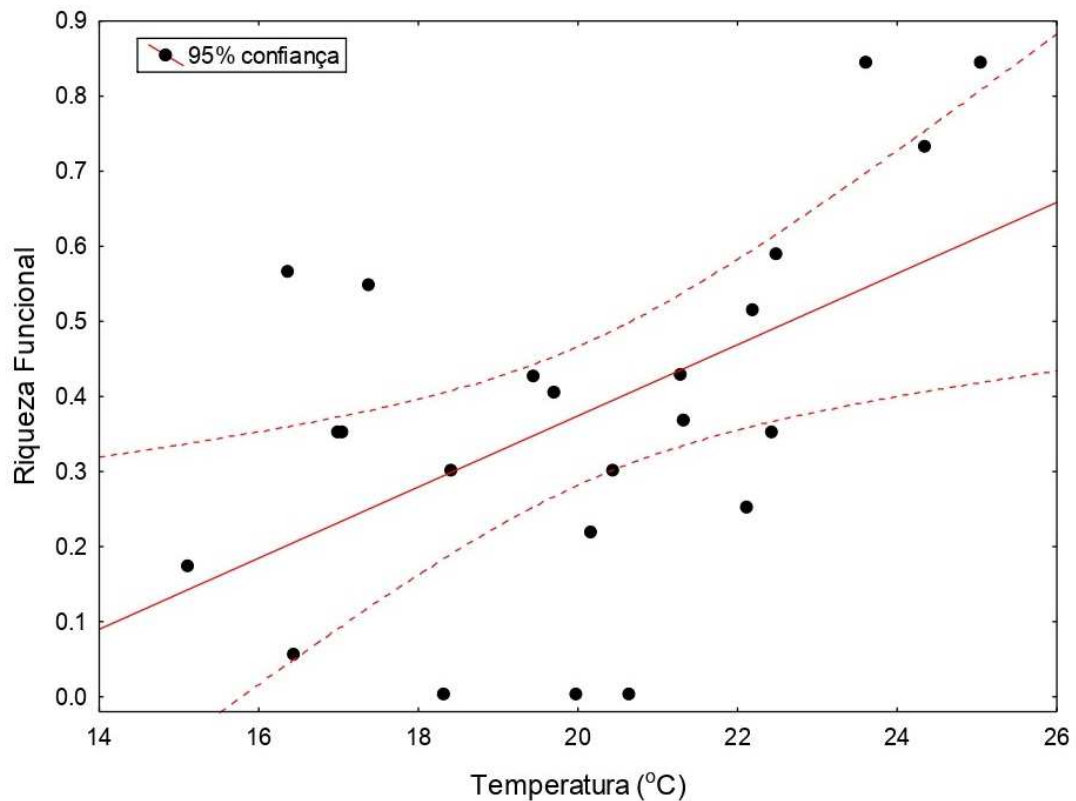
O mesmo foi realizado para a equitabilidade funcional, onde a ANOVA também demonstrou ausência de diferença significativa entre as estações do ano no que diz respeito à distribuição das abundâncias dentro do espaço funcional ($F_{(3, 19)} = 0,419$, $P = 0,740$). O valor-F da análise (0,419) é inferior ao F-crítico (3,127) além do valor-P (0,74) exceder excessivamente o valor limite de 0,05, reiterando a inexistência de diferenças significativas entre as estações do ano.

As análises de variância nos indicam que os parâmetros considerados para diversidade funcional (FRic e FEve) independem das estações, porém, a variação da temperatura dentro da mesma estação pode vir a influenciar os resultados, como por exemplo a primeira primavera de 2016 que obteve uma temperatura de 16,36 °C (Tabela 3), se

aproximando da temperatura do inverno de 2017 (16,43°C). Numa mesma estação a variação da temperatura pode afetar a dinâmica da comunidade de escarabeíneos, e o resultado obtido nas ANOVA's não negam a intrínseca relação destes organismos com a temperatura como demonstrado em diversas publicações (DA SILVA et al., 2013; HALFFTER, 1991; HERNÁNDEZ & VAZ DE MELLO, 2021; ROESNER, 2017; SARMIENTO-GARCÉS & HERNÁNDEZ, 2021).

Para melhor compreensão foi realizada uma correlação entre a riqueza funcional e a temperatura (Figura 4), deixando de lado o agrupamento por estações e considerando apenas as temperaturas e os grupos funcionais amostrados.

Figura 4– Variação da riqueza funcional na Ilha de Santa Catarina num gradiente de temperatura, com um intervalo de 95% de confiança.



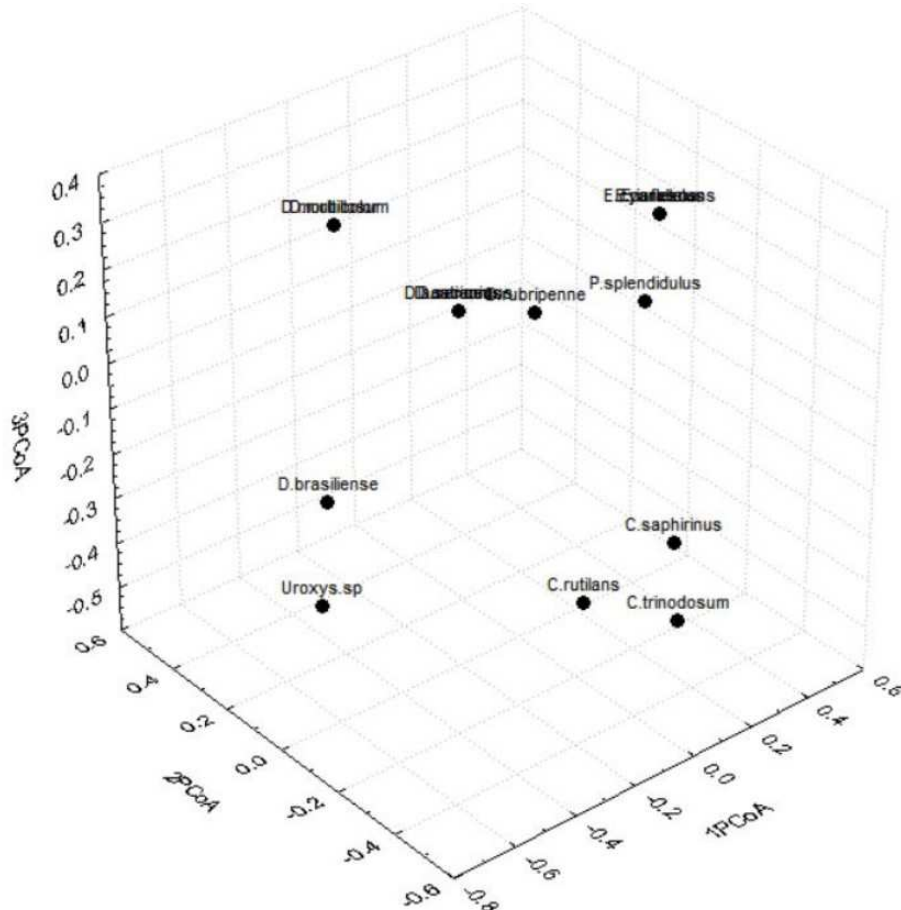
Fonte: Elaborado pela autora no programa Statistica (2022).

Com um intervalo de 95% de confiança, verificou-se que há correlação significativa entre a temperatura e a riqueza funcional ($p = 0,01$), de maneira que se faz presente um maior número de grupos funcionais em temperaturas mais elevadas e menor número de grupos funcionais em temperaturas reduzidas ($r = 0,53$, mostrando uma correlação positiva).

Há variação da riqueza funcional quando a comunidade é submetida à diferentes temperaturas, porém ao considerar as estações do ano, agrupando as amostras para análises, tal variação não se observa. Isto ocorre porque dentro de uma mesma estação existe variação da temperatura, desta forma os dados são influenciados pela temperatura nos dias da amostragem. A variação das temperaturas dentro de uma mesma estação apresenta relevância, pois em períodos mais quentes uma maior quantidade de grupos funcionais voltará a exercer suas respectivas atividades, o que é de extrema importância para a manutenção dos processos ecossistêmicos.

Considerando a manutenção da diversidade funcional ao longo do ano, foi plotado o volume funcional para visualização da posição das espécies num espaço tridimensional. Com tal finalidade, foi realizada uma análise de coordenadas principais (PCoA) com os atributos funcionais das espécies (Tabela 2), gerando 3 eixos, um para cada atributo, tais valores foram plotados gerando o volume funcional (Figura 5).

Figura 5 – Distribuição das espécies no espaço funcional, tendo como componentes dos eixos os valores gerados pela PCoA. O eixo X (1PCoA) leva em consideração o atributo “hábito” (período de atividade), o eixo Y (2PCoA) diz respeito ao atributo “alocação” de recursos e o eixo Z (3PCoA), o atributo “tamanho” do corpo.



Fonte: Elaborado pela autora no programa Statistica (2022).

O primeiro eixo da análise de correspondência (eixo X) diz respeito ao período de atividade das espécies e parece ser a característica de maior impacto de agrupação, espécies deslocadas para região direita do gráfico apresentam comportamento diurno (*C. trinodosum*, *C. saphirinus*, *C. rutilans*, *P. splendidulus*, *D. rubripenne*, e *Eurysternus* spp.), enquanto que as deslocadas para região esquerda são noturnas (*Dichotomius* spp. e *Uroxys* spp.), na região central estão localizadas espécies que apresentam tanto comportamento diurno quanto noturno (*D. brasiliense*, *D. morbillosum* e *D. multicolor*).

As 15 espécies que compõem o pool regional encontram-se dispersas no volume funcional, com exceção da sobreposição de algumas delas (8 spp.) que foram reunidas em 3 grupos funcionais, sendo 3 espécies de *Eurysternus* sp. sobrepostos na região superior direita do plot (entidade funcional “DEM”), além das 3 espécies de *Dichotomius* sp. (entidade

funcional “NPM”) amontoados na região superior central, e as espécies *Deltochilummorbillosum* e *Deltochilummulticolor* sobrepostas na região superior esquerda (entidade funcional “DNTM”), possibilitando a observação de um total de 10 grupos funcionais. As espécies que foram sobrepostas no volume funcional, como já pontuado anteriormente, podem ser consideradas espécies redundantes em termos da função que exercem no ecossistema.

Apesar da definição “redundante” passar a impressão de algo dispensável, é de extrema importância a existência de espécies que aparentemente atuam da mesma maneira num dado ambiente, conferindo resiliência ao ecossistema. Em outras palavras, a redundância de funções ecológicas eleva a capacidade de um dado ecossistema manter suas características e processos ecossistêmicos (WALKER, 1992). As espécies sobrepostas no gráfico (*Eurysternus* sp., *Dichotomius* sp., *Deltochilummorbillosum* e *Deltochilummulticolor*), aparentemente desempenham as mesmas funções dentro dos 3 grupos formados, mas isso não significa afirmar que elas respondem da mesma maneira às mudanças ambientais, pode ser que uma seja mais resistente à baixas temperaturas do que outra, por exemplo, espécies funcionalmente redundantes geralmente apresentam distintas condições ambientais favoráveis ao seu crescimento populacional (CHAPIN et al., 1995). Nesse sentido, dada às mudanças climáticas que temos vivenciado e que ainda estão por vir, é essencial a existência de redundância funcional num dado sistema natural, uma vez que esta lhe atribui maior resiliência, mantendo sua integridade e reduzindo a possível perda de espécies e de funções ecossistêmicas.

CONCLUSÕES

Com base nas análises de variância, verifica-se a ausência de alterações sazonais no volume da diversidade funcional de besouros Scarabaeinae na ilha de Santa Catarina, tanto a riqueza funcional quanto a equitabilidade funcional se mantêm estáveis, independente das flutuações sazonais, havendo manutenção das funções ecossistêmicas exercidas pelas espécies em seus respectivos grupos funcionais e proporcionando a permanência dos processos ecossistêmicos durante todo o ano.

Apesar da ausência de flutuações sazonais na diversidade funcional, a riqueza funcional se encontra positivamente relacionada à temperatura, assim como a riqueza e abundância taxonômica também dependem desse fator (DA SILVA et al., 2013; HERNÁNDEZ & VAS DE MELLO, 2009; ROESNER, 2017). Ao considerar as temperaturas

desagrupadas de suas respectivas estações, se torna possível a observação de um aumento da riqueza funcional em altas temperaturas. A variação térmica dentro de uma mesma estação impossibilita o estabelecimento de diferenças estatísticas entre a diversidade funcional por estações, tal variação aparenta permitir a atuação de todos grupos funcionais possibilitando a manutenção dos processos ecossistêmicos.

Vale também pontuar a existência desobreplicação de funções ecossistêmicas em 8 das 15 espécies amostradas. Tal sobreposição, denominada redundância ecossistêmica, é de extrema importância, contribuindo com a resiliência do ecossistema (WALKER, 1992). Tendo em vista que ambas localidades sofreram certo grau de perturbações antrópicas no passado (BONNET & QUEIROZ, 2006; DOSSANTOS et al., 1989), possivelmente reduzindo a biodiversidade local (SARMIENTO-GARCÉS & HERNÁNDEZ, 2021), seria interessante num momento futuro realizar novamente uma análise da riqueza funcional de ambas áreas, buscando verificar se houve aumento, após um período de tempo maior para regeneração natural do ecossistema, averiguando se as comunidades de escarabeíneos têm respondido positivamente à essa regeneração e se apresentam, de alguma forma, maior redundância, indicando que o ambiente adquiriu resiliência.

Por fim, dadas as circunstâncias de mudanças climáticas temos vivenciado, a manutenção da diversidade funcional das comunidades submetidas a variações térmicas naturais em diferentes períodos do ano, reitera a eficiência da medição de biodiversidade através da diversidade funcional, uma vez que esta se mantém estável em flutuações naturais do ecossistema e parece ser principalmente alterada por distúrbios, sejam antrópicos ou eventos naturais extremos.

AVALIAÇÃO DO ALUNO EM RELAÇÃO AO PIBIC

A iniciação científica foi um importante instrumento que contribuiu com minha formação acadêmica, a pesquisa incentivou questionamentos acerca dos acontecimentos cotidianos e estimulou o contato com diversas literaturas, enriquecendo meu arcabouço teórico. Além disso, permitiu melhor compreensão acerca da metodologia científica, dos procedimentos de sistematização de dados, aperfeiçoamento de experimentos, análises estatísticas e agregou-me diversas teorias da grande área da ecologia, campo em que pretendo atuar. A identificação dos besouros coletados, realizada no laboratório, me tornou apta a identificar determinadas espécies em campo e as reuniões do laboratório, onde foram discutidos artigos científicos e metodologias de pesquisa, me proporcionou crescimento tanto

acadêmico como pessoal. Sou grata pela cooperação de todos que contribuíram com minha formação e a elaboração desse trabalho, em principal minha orientadora, e posso afirmar com firmeza que as leituras, as discussões e a escrita científica contribuíram imensamente com minha formação científico-profissional.

REFERÊNCIAS

BONNET, Annete; QUEIROZ, Maike Hering de. Estratificação vertical de bromélias epifíticas em diferentes estágios sucessionais da Floresta Ombrófila Densa, Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 29, p. 217-228, 2006.

CHAPIN III, F.S.; LUBCHENCO J.; REYNOLDS, H.L. Biodiversity effects on patterns and processes of communities and ecosystems. *In* **Global Biodiversity Assessment**, UNEP. Heywood VH (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, p. 289-301, 1995.

CIANCIARUSO, Marcos Vinicius; SILVA, Igor Aurélio; BATALHA, Marco Antônio. Phylogenetic and functional diversities: new approaches to community ecology. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 93-103, jun. 2009.

DA SILVA, Pedro G.; VAZ-DE-MELLO, Fernando Z.; DI MARE, Rocco A. Diversity and seasonality of Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) in forest fragments in Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n.2, p. 679-697, 2013.

DOS SANTOS, Gilberto F.; DA SILVA, José T.N.; MENDONÇA, Magaly; VEADO, Ricardo W.V. Análise Ambiental da Lagoa do Peri. **Geosul**, v. 8, p. 101-123, 1989.

FLORIANÓPOLIS. Lei nº 10.530, de 02 de maio de 2019. Dispõe sobre a criação da Unidade de Conservação Monumento Natural Municipal da Lagoa do Peri (MONA da Lagoa do Peri). Diário Oficial Eletrônico do Município de Florianópolis, Florianópolis, SC, 9 de maio de 2019.

HALFFTER, Gonzalo; FAVILA, Mario E. The Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera) an animal group for analysing, inventorying and monitoring biodiversity in Tropical rainforest and modified landscapes. **Biology International**, n. 27, p. 15-21, 1993.

HALFFTER, Gonzalo. Historical and ecological factors determining the geographical distribution of beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). **Biogeographia–The Journal of Integrative Biogeography**, v. 15, n. 1, 1991.

HERNÁNDEZ, Malva I. Medina; VAZ-DE-MELLO, Fernando Z. Seasonal and spatial species richness variation of dung beetle (Coleoptera, Scarabaeidae s. str.) in the Atlantic Forest of southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 4, p. 607-613, 2009.

HERNÁNDEZ, Malva Isabel Medina et al. Ecological characteristics of Atlantic Forest dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in the state of Santa Catarina, southern Brazil. **The Coleopterists Bulletin**, v. 73, n. 3, p. 693-709, 2019.

MCGEOCH, Melodie A.; VAN RENSBURG, Berndt J.; BOTES, Antoinette. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. **Journal of Applied Ecology**, v. 39, n. 4, p. 661-672, 2002.

NICHOLS, Elizabeth S.; SPECTOR, Sacha H.; LOUZADA, Julio; LARSEN, Trond Halvor; AMEZQUITA, Sandra P. Montealegre, & FAVILA, Mario E. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, n. 6, p. 1461–1474, 2008.

NIERO, Mariana Mrotskoski; BATILANI-FILHO, Moacyr; MEDINA HERNÁNDEZ, Malva Isabel. Comparative Analysis of the Ecological Functions of Dung Removal and Seed Dispersal among Two Telecoprid and Two Paracoprid Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). **The Coleopterists Bulletin**, v. 76, n. 2, p. 221-231, 2022.

ROESNER, Diogo Ricardo. Variação sazonal da diversidade de besouros Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) na Mata Atlântica de Santa Catarina, sul do Brasil. 2017.

SARMIENTO-GARCÉS, Rodrigo; HERNÁNDEZ, Malva Isabel Medina. A decrease in taxonomic and functional diversity of dung beetles impacts the ecosystem function of manure removal in altered subtropical habitats. **Plos One**, v. 16, n. 1, p. 1-20, 2021.

SLADE, Eleanor M. *et al.* Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. **Journal of Animal Ecology**, v. 76, n. 6, p. 1094-1104, 2007.

SLADE, Eleanor M. *et al.* The role of dung beetles in reducing greenhouse gas emissions from cattle farming. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2016.

SLINGENBERG, Allister *et al.* Study on understanding the causes of biodiversity loss and the policy assessment framework. **European Commission Directorate-General for Environment**, p. 29-56, 2009.

TEIXEIRA, Mariana Silva Leodora da Silva. Especificidade alimentar em Scarabaeinae (Scarabaeidae, Coleoptera) necrófagos em fragmentos florestais. *In: XX Seminário de Iniciação Científica da UEFS, 2016, Feira de Santana. Ciência Alimentando o Brasil. Feira de Santana: UEFS, v. 20, 2018.*

TILMAN, David. Functional diversity. **Encyclopedia of biodiversity**, v. 3, n. 1, p. 109-120, 2001.

WALKER, Brian H. Biodiversity and ecological redundancy. **Conservation Biology**, v. 6, n. 1, p. 18-23, 1992.