



## PADRÕES DE PREDÇÃO DA SEMENTE DO PINHEIRO-DO-PARANÁ (*Araucaria angustifolia*)

Larissa Inês Squinzani<sup>1\*</sup>, Pitágoras Augusto Piana<sup>2</sup> & Carlos Rodrigo Brocardo<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, mestra pelo programa de Conservação e Manejo de Recursos Naturais, Rua Universitária, 2069, CEP: 85819-110, Cascavel, PR, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, professor efetivo pelo programa de Conservação e Manejo de Recursos Naturais, Rua Universitária, 2069, CEP: 85819-110, Cascavel, PR, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Estr. p/ Boa Esperança, km 04 - Zona Rural, CEP: 85660-000, Dois Vizinhos, PR, Brasil.

<sup>4</sup> Instituto Neotropical: Pesquisa e Conservação, Pesquisador associado, Rua Purus, CEP: 82590-300, Curitiba, PR, Brasil.

Emails: larissaisquinzani@gmail.com (autor correspondente); pitapiana@yahoo.com.br; brocardocarolus@gmail.com

**Resumo:** O pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) é uma conífera relictual da família Araucariaceae, considerada espécie-chave para a fauna por fornecer recursos em um período de escassez alimentar. O pinhão, como é chamado a semente do pinheiro-do-paraná, constitui o único meio de propagação da espécie e, por ser grande e pesado, depende que a dispersão seja realizada por animais, os quais também consomem e predam uma grande parte das sementes produzidas anualmente. Contudo, observações diretas das interações entre animais e sementes raramente foram registradas, seja pela complexidade de encontrá-los em ambientes florestais ou pela complexidade logística do registro das interações. Uma forma viável para o acompanhamento da interação desses animais com o diásporo seria o uso de vestígios e resíduos das sementes. Considerando a importância para a fauna e a lacuna de conhecimento, o objetivo desse trabalho foi apresentar uma descrição detalhada dos padrões de predação do pinhão por diferentes espécies de aves e mamíferos que o utilizam como fonte de alimento, e apresentar uma chave-dicotômica ilustrada para ser usada como guia em futuros estudos. Foram descritos 38 padrões de predação do pinhão por aves e mamíferos, demonstrando o potencial uso do padrão de predação para identificação de espécies consumidoras bem como no uso em estudos de interação animal-planta. Considerando o *status* de ameaça do pinheiro-do-paraná, trabalhos relacionados à predação e à zoocoria de suas sementes podem auxiliar no entendimento do papel que as interações têm na conservação dessa conífera.

**Palavras-chave:** aves; chave de identificação; mamíferos; semente; vestígios de animais.

**PREDATION PATTERNS OF THE PINHEIRO-DO-PARANÁ (*Araucaria angustifolia*) SEEDS:** The Parana pine (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) is a relictual conifer of the Araucariaceae family. It is considered a key species for the fauna, as it provides resources in a period of food shortage. The *pinhão*, which is called the seed of the Parana pine, constitutes the only means of propagation of the species. Because it is large and heavy, and it depends on the dispersion being carried out by animals. Which, in their turn, also consume and prey it a large part of the seeds produced annually. However, direct observations of interactions between animals

and seeds were rarely recorded, either because of the complexity of finding them in forest environments or because of the logistical complexity of recording those interactions. A viable way to monitor the interaction of these animals with the diaspore would be the use of traces and residues of the seeds. Considering the importance for the fauna and the knowledge gap, the objective of this work was to present a detailed description of the *pinhão* predation patterns by different species of birds and mammals that use it as a food source, and to present an illustrated dichotomous key to be used as a guide in future studies. Thirty-eight patterns of predation of the Parana pine seed among birds and mammals were described, demonstrating the potential use of the predation pattern to identify consuming species as well as in animal-plant interaction studies. Considering the endangered status of the Parana pine, studies related to predation and zoochory of its seeds can help to understand the role that interactions play in the conservation of this conifer.

**Keywords:** birds; identification key; mammals; seed; animal vestiges.

## INTRODUÇÃO

As interações animal-planta sempre receberam bastante atenção no campo da ecologia, e seu estudo promove informações biológicas importantes no esclarecimento da dinâmica evolutiva e ecológica das espécies envolvidas (Micheneau *et al.* 2009, Di Musciano *et al.* 2020, Schupp *et al.* 2010, Zhang *et al.* 2022). Dentre os tipos de interação animal-planta, a predação de sementes é uma etapa crítica para a demografia das plantas por diminuir a sobrevivência de sementes, ao mesmo tempo que representa uma fonte de recursos que pode ser fundamental para os animais, afetando o uso do habitat e suas densidades (Jorge & Peres 2005, Janzen 1971). Contudo, observações diretas das interações entre animais e sementes podem ser difíceis de serem registradas. Métodos com observação focal direta de eventos de predação de sementes têm sido empregados principalmente com aves, embora até para este grupo pode haver dificuldade de visualização dos animais em ambientes florestais do Neotrópico, e algumas espécies podem ser inibidas se perceberem a presença humana (Pizo & Galetti 2010). Para mamíferos predadores de sementes neotropicais há ainda uma dificuldade maior em registrar interações diretamente, devido aos hábitos noturno e/ou elusivo de muitas espécies (Vidal *et al.* 2013).

Uma alternativa que permite o registro de interações entre vertebrados e frutos ou sementes é o uso de armadilhas fotográficas (Brocardo *et al.* 2018). No entanto, seu emprego demanda alto investimento financeiro, e seu uso é feito principalmente para detectar interações no solo

ou em árvores de baixo porte (*e.g.* Zhu *et al.* 2022), já que a instalação nas copas das maiores árvores demanda uma logística envolvendo escalada (Gregory *et al.* 2014). Uma forma viável, tanto financeiramente como em termos logísticos, para o acompanhamento da interação desses animais com o diásporo, é a análise dos vestígios deixados nos resíduos das sementes (Sanguinetti & Krizberger 2010, Tella *et al.* 2016). Isto, por exemplo, permitiu a Tella *et al.* (2016) avaliarem o papel de papagaios como predadores e dispersores de sementes (pinhões) do pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze). No caso dos pinhões, sabe-se que os animais que predam deixam marcas específicas ao abrir a casca para se alimentar do endosperma (Müller 1986, Ferracioli 2013, Lopes 2014), porém a única descrição detalhada de padrões de predação de pinhões é a dissertação de mestrado de Müller (1986), que está limitada a 11 espécies de vertebrados, dentre as mais de 70 que podem preda pinhões (Tabela S1).

O pinheiro-do-paraná pertence à família Araucariaceae, é uma espécie secundária longeva que vive em média 250 anos (Carvalho 2002), normalmente dioica, ou seja, há produção de estróbilos masculinos e femininos em árvores diferentes, com maturação das sementes (pinhões) entre 20 e 24 meses após a polinização (Mantovani *et al.* 2004). A queda dos pinhões ocorre frequentemente entre março e julho (Mantovani *et al.* 2004), período que corresponde à escassez de frutos na Floresta Ombrófila Mista (FOM), e assim os pinhões constituem um recurso chave para a fauna (Bogoni *et al.* 2020; Vieira & Iob 2009). O pinhão, por ser grande e pesado, se beneficia da dispersão promovida por animais, principalmente

a realizada por animais estocadores (Squinzani *et al.* 2022). O sucesso de recrutamento também está ligado à interação com a fauna, sendo maior onde há maior disponibilidade de sementes, o que pode levar à saciação dos dispersores/predadores, ou ainda em locais com menor atividade de predadores de sementes (escape da predação) (Squinzani *et al.* 2022, Brocardo *et al.* 2018, Gibinski & Krupek 2016). A predação de pinhões pela fauna é provavelmente o principal gargalo natural à regeneração da espécie, que também sofre com a intensa coleta de pinhões para consumo humano e introdução do javali (*Sus scrofa* Linnaeus 1758), espécie exótica com alto potencial reprodutivo (Malmsten *et al.* 2017), que pode consumir grande quantidade de pinhão e consequentemente impactar o recrutamento da espécie (Brocardo *et al.* 2018, Brocardo *et al.* 2022). O baixo recrutamento é um fator preocupante para a espécie devido à redução populacional de pelo menos 80% que a espécie sofreu ao longo do último século, colocando-a como criticamente em perigo de extinção (Thomas 2013).

Avaliar quais espécies de animais interagem predando os pinhões e quantificar as taxas de predação, além de trazer dados importantes para o entendimento da ecologia do pinheiro-do-paraná, pode ser útil para guiar ações de conservação da espécie, principalmente se as taxas de predação forem influenciadas por fatores antrópicos, tais como a redução e fragmentação de florestas ou a introdução de espécies exóticas (Brocardo *et al.* 2018). Sendo assim, este estudo objetivou apresentar uma descrição detalhada dos padrões de predação do pinhão por diferentes espécies de aves e mamíferos que o utilizam como fonte de alimento, apresentando uma chave-dicotômica ilustrada que poderá ser usada como guia em futuros estudos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### ***Obtenção de padrões de predação de pinhão***

Para a observação dos padrões de predação por diferentes animais foram ofertados pinhões a animais em cativeiro no Zoológico Municipal de Cascavel (Parque Municipal Danilo José Galafassi), no Parque Ecológico Klabin e em um Criadouro de suínos de São Pedro do Iguaçu-PR. Os vestígios de pinhões advindos dessas instituições fizeram

parte dos dados primários do estudo. O Zoológico, fundado em 1978, está localizado no município de Cascavel e conta com cerca de 340 animais de aproximadamente 70 espécies de aves, répteis e mamíferos (Oliveira 2017). O Parque Ecológico Klabin está localizado na Fazenda Monte Alegre, em Telêmaco Borba, Paraná. Ele foi criado na década de 1980, contando com atividades voltadas à conservação da biodiversidade e serve de abrigo para 180 animais de 50 espécies que vivem no Jardim Zoológico (Klabin 2020). A oferta dos pinhões seguiu o cronograma alimentar de cada espécie, estabelecido pelo Zoológico Municipal de Cascavel e do Parque Ecológico Klabin. Devido à pandemia de Covid-19 (Ministério da Saúde 2020), somente três instituições se disponibilizaram a participar.

Para a seleção de espécies usadas no experimento (Tabela S2) foi considerado se a ocorrência natural das mesmas coincide ou é limítrofe com a distribuição histórica de *A. angustifolia*, de modo a avaliar se as espécies animais poderiam ser potencialmente consumidoras do pinhão em vida livre. Por exemplo, a arara-canindé (*Ara ararauna* Linnaeus 1758), embora não ocorra na FOM, tem registros em áreas limítrofes (Straube 2010). Em decorrência de não haver espécimes de pequenos roedores silvestres em cativeiro, o padrão para pequenos roedores foi avaliado com duas espécies exóticas que ocorrem na FOM, o rato (*Rattus norvegicus* Berkenhout 1769) e o camundongo (*Mus musculus* Linnaeus 1758), ambos disponíveis no Biotério do Zoológico.

Como a gralha-picaça (*Cyanocorax chrysops* Vieillot 1818) não fazia parte dos planteis em cativeiro no momento do experimento, foi necessária a utilização da região de mata do Zoológico Municipal de Cascavel. Nessa área, foi escolhido um ponto amostral onde pinhões foram amarrados a um tronco de árvore, onde foi possível acoplar uma armadilha fotográfica. Com as imagens da câmera foi garantido que os pinhões utilizados foram predados por *C. chrysops*. Os pinhões precisaram ser presos para verificar o ato de predação e para que os vestígios pudessem ser recolhidos, analisados e registrados. Para que esses pinhões fossem amarrados à árvore foi preciso realizar um furo na região do polo ab-axial (região superior da semente).

Existem alguns animais invasores que ocorrem

em áreas com presença da *Araucaria angustifolia* e interação com o pinhão, como, por exemplo, o javali (*Sus scrofa scrofa*) e a lebre-europeia (*Lepus europaeus* Pallas 1778) (Dénes *et al.* 2018). Além das espécies silvestres, foi incluído na análise o porco doméstico (*Sus scrofa domesticus* Erxleben 1777), espécie que pode viver de forma asselvajada no Brasil (Rosa *et al.* 2020), ou mesmo ser criado solto em áreas de mata (Brandt 2015). Para conseguir o padrão de predação desta espécie foi necessário a colaboração de um criador do município de São Pedro do Iguaçu-PR que seguiu o protocolo de oferta e recolhimento dos vestígios dos pinhões após predação. Para a lebre, a descrição foi baseada em literatura pois não havia espécimes em cativeiro.

Com o auxílio dos tratadores, os vestígios dos pinhões predados foram recolhidos e posteriormente fotografados e feita a descrição do padrão de abertura e consumo dos pinhões. A oferta de pinhões ocorreu no período de abril a agosto de 2020 com várias ofertas de pinhão ao longo desses meses para 24 espécies animais em cativeiro.

Para a biossegurança e manuseio seguro dos pinhões predados por animais em cativeiro, que frequentemente encontrava-se com presença de fungos, os vestígios de pinhões foram colocados em solução de hipoclorito de sódio (NaClO), diluído em água (0,02%), por um total de cinco minutos. Considerando que as instituições que participaram dos experimentos não abrigavam todas as possíveis espécies predadoras de pinhões, foram utilizados, de forma complementar, trabalhos que apresentaram descrições ou imagens de pinhões predados que formaram os dados secundários (Müller 1986, Tella *et al.* 2016, Dénes *et al.* 2018) (Tabela S2).

### ***Análise de dendrograma e construção da chave de identificação***

Para os vestígios de pinhões advindos de dados primários, foram tomadas as seguintes medidas: tamanho de abertura que consiste na medida da porcentagem da área danificada do tegumento da semente por animais com classificação de dano de pequeno (dano de 12,5% a 24% do tegumento), médio (dano de 25% a 49% do tegumento) ou grande (dano mínimo de 50% do tegumento), tipo de borda com medidas de distância de serrilhado e formato do tegumento (Tabela 1). As medidas

foram realizadas por meio das fotos feitas de cada pinhão. Foram selecionados dez pinhões para cada espécie animal por sorteio. Posteriormente, foi realizado a análise de Cluster (Kaufman & Rousseeuw 1990) utilizando o software estatístico R com o pacote *Cluster (Cluster: analysis basics and extensions R package version 2.0.8)* (Maechler *et al.* 2019) e a produção de gráfico dendrograma com o pacote *ggplot2* (Wickham 2016). A análise foi necessária para verificar agrupamentos de espécies que possuem o padrão de abertura do pinhão similar entre elas, o que auxiliou na elaboração da chave de identificação.

Para a chave de identificação adotou-se a terminologia anatômica do pinhão elaborada por Hertel (1963) e seguida por Müller (1986): tegumento (região externa, envoltório protetor da semente), polo axial (região inserida no eixo da pinha), polo ab-axial (região localizada externamente a pinha), endosperma (tecido nutritivo da semente), embrião (estrutura germinativa da semente). A chave foi elaborada a partir de características como padrão de abertura, tipo de marcas, tipo de borda e formato do tegumento e, foram utilizadas para agrupar e separar padrões de predação (Tabela 1).

## **RESULTADOS**

Os pinhões foram diretamente ofertados a 24 espécies animais, embora duas espécies recusaram o pinhão durante as tentativas de amostragem: *Lycalopex gymnocercus* (Fischer 1814) (graxaim-do-campo, descartada do estudo) e *Psittacara leucophthalmus* (Statius Muller 1776) (periquitão-maracanã, utilizado dados secundários para a descrição (Tabela S2)). Dentre as 38 espécies analisadas (experimento e referências) pudemos diferenciar 17 tipos de padrões de predação.

### ***Descrições dos padrões de predação do pinhão***

#### Aves

##### *Psittacidae*

*Amazona aestiva* (Linnaeus 1758) (papagaio-verdadeiro – Spl; 20 vestígios analisados) – abertura única, grande de polo a polo do tegumento da semente. Vestígios que se resumem a uma pequena porção da semente (centro ou um



**Tabela 1.** Dados sobre caracteres dos tegumentos das sementes e seus diferentes estados após a predação da semente da *Araucaria angustifolia* utilizados para a classificação e identificação de padrões de predação por diferentes espécies animais.

**Table 1.** Data on characters of seed integuments and their different states after seed predation of *Araucaria angustifolia*, which is used for the classification and identification of predation patterns by different animal species.



dos polos) e borda lisa do tegumento. Formato arredondado do tegumento. Em algumas sementes o tegumento apresenta-se com abertura irregular que dá característica de rasgado (Tabela 1, Figura 1 e Figura S1).

*Amazona amazonica* (Linnaeus 1766) (papagaio-do-mangue – Sp2; 21 vestígios analisados) – produz padrão de predação semelhante ao descrito para *Amazona aestiva* (Tabela 1, Figura 1 e Figura S2).

*Amazona pretrei* (Temminck 1830) (papagaio-charão – Sp3) – produz padrão de predação semelhante ao descrito para *Amazona aestiva*. (Figura 2) (Tella *et al.* 2016).

*Amazona vinacea* (Kuhl 1820) (papagaio-de-peito-roxo – Sp4; 135 vestígios analisados) - produz padrão de predação semelhante ao descrito para *Amazona aestiva*. Três sementes apresentaram presença de germinação após

predação de pequena parte do polo axial. Pode-se notar marcas de arranhões nos vestígios, resultado da forma do animal segurar a semente com o auxílio de um dos pés para a predação (Tabela 1, Figura 1 e Figura S3).

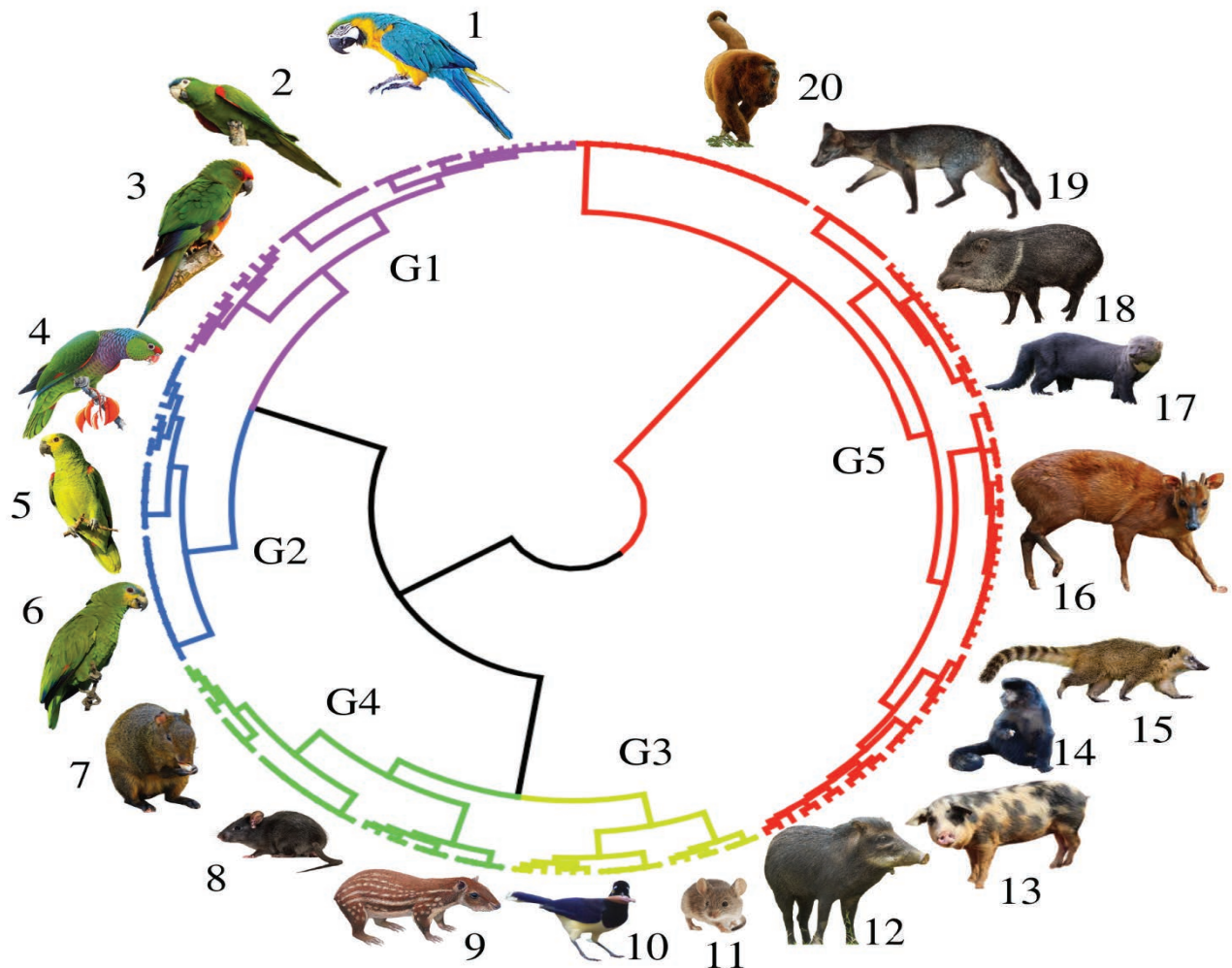
*Ara ararauna* (Linnaeus 1758) (arara-canindé – Sp5; 96 vestígios analisados) - abertura única, média com fenda longitudinal no tegumento da semente, por onde o animal retira o endosperma. Essa fenda ocorre de polo a polo da semente. Algumas vezes, essa fenda possui uma abertura maior na parte central da semente, aumentando a abertura do tegumento. O endosperma é retirado completamente. As bordas na região de abertura têm um formato liso e o tegumento possui formato arredondado (Tabela 1, Figura 1 e Figura S1).

*Aratinga auricapillus* (Kuhl 1820) (jandaia-de-testa-vermelha – Sp6; 17 vestígios analisados)

– abertura única, grande de polo a polo do tegumento. Formato arredondado do tegumento com característica rasgada e sobra de apenas o polo ab-axial. Alguns vestígios apresentaram rupturas transversais no tegumento (Tabela 1, Figura 1 e Figura S2).

*Diopsittaca nobilis* (Linnaeus 1758) (maracanã-nobre – Sp7; 17 vestígios analisados) -

abertura única, média do tegumento pelos polos axial e ab-axial, geralmente do polo ao centro da semente e borda lisa. Formato arredondado do tegumento. Em algumas sementes o tegumento apresenta-se com abertura irregular que dá uma característica de rasgado. Verificou-se a germinação de duas sementes após a predação pelo polo axial do pinhão. A maioria dos vestígios



**Figura 1.** Dendrograma demonstrando os grupos de espécies que possuem maior similaridade no padrão de abertura do pinhão. Grupo 1 formado pelas espécies: 1-*Ara ararauna*, 2-*Diopsittaca nobilis* e 3-*Aratinga auricapillus*. Grupo 2 formado pelas espécies: 3-*Amazona vinacea*, 4-*Amazona aestiva* e 5-*Amazona amazonica*. Grupo 3 formado pelas espécies: 10-*Cyanocorax chrysops* e 11-*Mus musculus*. Grupo 4 formado pelas espécies: 7-*Dasyprocta azarae*, 8-*Rattus norvegicus* e 9-*Cuniculus paca*. Grupo 5 formado pelas espécies: 20-*Alouatta guariba clamitans*, 19-*Cercopithecus thomasi*, 18-*Dicotyles tajacu*, 17-*Eira barbara*, 16-*Mazama nana*, 15-*Nasua nasua*, 14-*Sapajus nigritus*, 13-*Sus scrofa*, e 12-*Tayassu pecari*.

**Figure 1.** Dendrogram showing the groups of species that have greater similarity in the opening pattern of the pine. Group 1 formed by the species: 1-*Ara ararauna*, 2-*Diopsittaca nobilis* and 3-*Aratinga auricapillus*. Group 2 formed by the species: 3-*Amazona vinacea*, 4-*Amazona aestiva* and 5-*Amazona amazonica*. Group 3 formed by the species: 10-*Cyanocorax chrysops* and 11-*Mus musculus*. Group 4 formed by the species: 7-*Dasyprocta azarae*, 8-*Rattus norvegicus* and 9-*Cuniculus paca*. Group 5 formed by the species: 20-*Alouatta guariba clamitans*, 19-*Cercopithecus thomasi*, 18-*Dicotyles tajacu*, 17-*Eira barbara*, 16-*Mazama nana*, 15-*Nasua nasua*, 14-*Sapajus nigritus*, 13-*Sus scrofa*, and 12-*Tayassu pecari*.



possuem ainda parte do endosperma. (Tabela 1, Figura 1 e Figura S3).

*Eupsittula aurea* (Gmelin 1788) (periquito-rei – Sp8) – abertura única, pequena pelo polo axial de onde extraem o endosperma, bordas lisas. Formato arredondado do tegumento. Em algumas sementes o tegumento apresenta-se com abertura irregular que dá característica de rasgado (Tabela 1) (Tella *et al.* 2016).

*Myiopsitta monachus* (Boddaert 1783) (caturrita – Sp9) - deixam marcas de predação semelhantes a *Eupsittula aurea* (Tella *et al.* 2016).

*Pionus maximiliani* (Kuhl 1820) (maitaca-verde – Sp10) – abertura única, média do tegumento na região central, causando menos danos do que as espécies do gênero *Amazona* (Tella *et al.* 2016). A abertura da semente é mais estreita, formando algumas vezes uma fenda longitudinal de polo a polo na semente e possuem bordas lisas. Formato arredondado do tegumento. Em algumas sementes o tegumento apresenta-se com abertura irregular que dá característica de rasgado (Tabela 1 e Figura 2).

*Psittacara leucophthalmus* (Statius Muller 1776) (periquitão-maracanã – Sp11) – deixam marcas de predação semelhantes a *Eupsittula aurea* (Tella *et al.* 2016).

*Pyrrhura frontalis* (Vieillot 1817) (tiriba-de-testa-vermelha – Sp12) - deixam marcas de predação semelhantes a *Eupsittula aurea* (Figura 2) (Tella *et al.* 2016).

#### Corvidae

*Cyanocorax chrysops* (Vieillot 1818) (gralha-picaça – Sp13; 6 vestígios analisados) - preda a semente segurando-a com as garras, bicando o centro da semente até abrir um pequeno buraco por onde pode puxar partes do tegumento. Isso produz um padrão de abertura única e média na região central da semente. As bordas possuem presença de pedaços do tegumento em forma de fiapos curvados e aspecto rasgado do tegumento. Também é possível verificar marcas de garras e pequenos furos causados pelo bico nos vestígios (Tabela 1, Figura 1 e Figura S4).

*Cyanocorax caeruleus* (Vieillot, 1818) (gralha-azul – Sp14) – padrão muito semelhante ao descrito para *Cyanocorax chrysops* (Pereira & Ganade 2008, Tella *et al.* 2016).

## Mamíferos

### Atelidae

*Alouatta guariba clamitans* (Cabrera, 1940) (bugio-ruivo – Sp15; 92 vestígios analisados) - as sementes possuem alguns furos causados pelos dentes do animal no ato da mordedura. Abertura única do tegumento, grande, de polo a polo. Algumas sementes possuem rupturas latitudinais, abertura em espiral com fragmentos esticados e aspecto rasgado. Provavelmente causado pela força exercida pelo primata ao morder e puxar o pinhão na tentativa da remoção do tegumento. As bordas da abertura são onduladas, o formato do tegumento é arredondado, podendo ainda ter o formato de ‘V’ invertido (Tabela 1, Figura 2 e Figura S5).

### Cebidae

*Sapajus nigritus* (Goldfuss 1809) (macaco-prego – Sp16; 111 vestígios analisados) – abertura única, grande do tegumento de polo a polo com bordas onduladas, com ou sem rupturas latitudinais. O tegumento possui formato arredondado. Algumas sementes possuem aspecto rasgado. Pode apresentar tegumento com formato de ‘V’ ou sobra apenas do polo ab-axial, furos e/ou pequenos amassados (marcas de dentes). Os macacos mordem o pinhão com o canino ou incisivo, buscando abrir uma porção, por onde conseguem remover a semente (Tabela 1, Figura 2 e Figura S9).

### Cricetidae

*Sooretamys angouya* (Fischer, 1814) (camundongo – Sp17) - devoram o pinhão por partes, iniciando em sua grande maioria, pelo polo axial do pinhão, nem sempre devoram um pinhão totalmente, abandonando-o quando ainda resta uma parte considerável do endosperma e partindo para um novo ataque. O ataque ocorre no sentido longitudinal dos pinhões (Figura 2) (Müller 1986).

*Akodon montensis* (Thomas 1913) (camundongo – Sp19) – padrão similar ao descrito para *Sooretamys angouya* (Figura 2) (Müller 1986).

*Castoria angustidens* (Winge, 1887) (camundongo – Sp20) – padrão similar ao descrito para *Sooretamys angouya* (Figura 2) (Müller 1986).

*Thaptomys nigrita* (Lichtenstein, 1829) (camundongos – Sp21) – padrão similar ao descrito para *Sooretamys angouya* (Figura 2) (Müller 1986).

Cricetidae sp. (ver Tabela S1) (camundongo –

Sp18) – padrão similar ao descrito para *Sooretamys angouya* (Figura 2) (Müller 1986).

#### *Cuniculidae*

*Cuniculus paca* (Linnaeus, 1766) (paca – Sp22; 69 vestígios analisados) – abertura grande do tegumento, de polo a polo com borda serrilhada longa. Tegumento com formato arredondado e com aspecto rasgado, ocasionado pela mordida do animal. Algumas sementes possuem formato do tegumento em meia lua ou sobra apenas de pequenos pedaços de vestígios. Existe marcas de arranhões em alguns vestígios da ação do animal segurar a semente no momento da predação (Tabela 1, Figura 2 e Figura S7).

#### *Dasyproctidae*

*Dasyprocta azarae* (Lichtenstein, 1823) (cutia – Sp23; 182 vestígios analisados) – semelhante ao padrão descrito para *Cuniculus paca*, a diferença está que os vestígios não possuem aspecto rasgado pela ação de abertura apenas com os dentes incisivos (Tabela 1, Figura 2 e Figura S7).

#### *Erethizontidae*

*Coendou spinosus* (Cuvier 1823) (ouriço – Sp24) - seguram os pinhões com as patas dianteiras e o ataque acontece de forma longitudinal. O sinal de roedura é mais imperceptível do que o sinal de outros roedores. A semente geralmente fica com duas aberturas longitudinais por onde o endosperma é retirado, muitas vezes, inteiro (Figura 3) (Müller 1986).

#### *Muridae*

*Mus musculus* (Linnaeus 1758) (camundongo – Sp25; 30 vestígios analisados) - a borda apresenta um padrão serrilhado típico da predação por roedores. A abertura do tegumento varia de única para várias aberturas, pequeno para grande, polo a polo para polo a centro. Varia de pequena abertura na região axial do pinhão a aberturas maiores de formatos diferentes no centro e laterais da semente. A borda possui serrilhado curto, pequeno e o tegumento possui formato arredondado. Em muitos casos parte do endosperma ainda permanece após a predação e algumas sementes possuem remoção superficial do tegumento (Tabela 1, Figura 2 e Figura S8).

*Rattus norvegicus* (Berkenhout 1769) (rato

– Sp26; 102 vestígios analisados) - possuem padrão de abertura semelhante a *Mus musculus*. As diferenças acontecem na borda que, para *R. norvegicus*, possui serrilhado médio e em sua grande maioria predaram a amêndoa por completo (Tabela 1, Figura 2 e Figura S8).

#### *Sciuridae*

*Guerlinguetus brasiliensis* (Gmelin 1788) (esquilo ou serelepe – Sp27) - roem totalmente o polo ab-axial para retirar o endosperma. Atacam a semente tanto na pinha, quanto no chão e o seguram com as patas dianteiras durante a predação (Tabela 1, Figura 3) (Müller 1986).

#### *Leporidae*

*Lepus europaeus* (Pallas 1778) (lebre-europeia – Sp28) - mordiscam tudo, exceto o polo ab-axial da semente (Tella *et al.* 2016). Borda serrilhada e tegumento com aspecto rasgado (Tabela 1, Figura 3).

#### *Canidae*

*Cerdocyon thous* (Linnaeus 1766) (cachorro-domato – Sp29; 75 vestígios analisados) – abertura única da semente, geralmente grande de polo a polo da semente e com borda ondulada. Grande exposição do tegumento interno, rupturas latitudinais, tegumento com formato achatado e aspecto rasgado. O formato do tegumento pode variar em 'V', 'V' invertido ou sobra de apenas o polo axial. Possui furos causados pelos dentes pontiagudos (Tabela 1, Figura 2 e Figura S6).

#### *Mustelidae*

*Eira barbara* (Linnaeus 1758) (irara – Sp31; 4 vestígios analisados) - muito semelhante ao padrão descrito para *Cerdocyon thous*. Apresenta sementes com mais de uma abertura (Tabela 1, Figura 2 e Figura S11).

#### *Procyonidae*

*Nasua nasua* (Linnaeus 1766) (quati – Sp32; 67 vestígios analisados) – semelhante ao padrão descrito para *Sapajus nigratus*. A diferença está no padrão mais rasgado para *N. nasua*, que segura a semente com as patas, mastiga com os molares para romper a casca e extrair o endosperma (Tabela 1, Figura 2 e Figura S9).



*Tapiridae*

*Tapirus terrestris* (Linnaeus 1758) (anta – Sp33) - consome a semente por inteira, sem deixar vestígios.

*Tayassuidae*

*Dicotyles tajacu* (Linnaeus 1758) (cateto – Sp38; 120 vestígios analisados) – abertura única, grande de polo a polo, tegumento achatado e com aspecto rasgado. Pouca exposição do tegumento interno (tegumento macerado), rupturas latitudinais, tegumento com formato de ‘V’ ou ‘V’ invertido, pequenos amassados causados pelos dentes chatos. Algumas vezes, parte da amêndoa permanece amassada junto ao tegumento (Tabela 1, Figura 2 e Figura S10).

*Tayassu pecari* (Link 1795) (queixada – Sp39; 104 vestígios analisados) – muito semelhante ao padrão descrito para *Dycoteles tajacu* (Tabela 1, Figura 2 e Figura S10).

*Cervidae*

*Mazama rufa* (Illiger 1815) (veado-mateiro – Sp34) - mastiga a semente por inteiro deixando marcas distintas (Tella *et al.* 2016). Quebra aleatória da casca durante a mastigação, com aberturas e bordas variáveis. Presença de um leve achatamento nos vestígios (Tabela 1 e Figura 3) (Tella *et al.* 2016). Muito semelhante ao padrão descrito para *Dicotyles tajacu*. Também pode consumir as sementes por inteiro como fazem *M. gouzoubira* e *M. nana*.

*Mazama gouzoubira* (Fischer 1814) (veado-catingueiro – Sp35) - consome a semente por inteira, sem deixar vestígios (Brocardo, C.R. obs. pessoal).

*Mazama nana* (Hensel 1872) (veado-bororó – Sp36; 22 vestígios analisados) - muito semelhante ao padrão descrito para *Dycoteles tajacu* (Tabela 1, Figura 2 e Figura S11), mas também pode consumir a semente inteira (Brocardo, C.R. obs. pessoal).

*Suidae*

*Sus scrofa* (Linnaeus 1758) (javali e porco doméstico – Sp37; 7 vestígios analisados) - o porco doméstico produziu pequenos fragmentos de tegumento e com alguns pequenos amassados que são possíveis marcas de dentes (Tabela 1, Figura 2 e Figura S6). Entretanto, observando imagens disponíveis de predação de pinhão por javali (*S. scrofa*) no trabalho de Tella *et al.* (2016), é possível ver que o padrão para esta espécie é muito semelhante ao padrão descrito para *Dicotyles tajacu*.

A análise de dendrograma apresentou uma divisão inicial agrupando de um lado aves juntamente com os mamíferos roedores e em separado as outras espécies de mamíferos. O ramo Aves+ Mammalia roedores se subdividiu em Psittaciformes e Rodentia+ Passeriformes, este último se dividindo em Rodentia (com exceção de *Mus musculus*) e em Mus+Cyanocorax. Assim, totalizaram-se cinco agrupamentos diferentes nos quais mamíferos não-roedores ficaram agrupados (Mammalia não-roedores), psitacídeos tiveram uma subdivisão (Psittacidae), *Cyanocorax chrysops* e *Mus musculus* formaram um grupo (Mus+Cyanocorax) diferente dos outros roedores (Rodentia) (Figura 1).

**Chave de identificação de padrões de predação de pinhão**

A chave de identificação elaborada com base nos padrões deixados nas sementes pelas espécies responsáveis pela predação.

Chave

1. Borda lisa ..... 2
- 1'. Borda irregular ..... 6
2. Abertura do tegumento média a grande ..... 3
- 2' Abertura do tegumento pequena no polo axial ..... *Eupsittula aurea*, *Myiopsitta monachus*, *Pyrrhura frontalis* e *Psittacara leucophthalmus*.
3. Abertura do tegumento grande, de polo a polo. Formato do tegumento arredondado com característica rasgada e sobra do polo axial ou ab-axial ..... *Amazona aestiva*, *Amazona amazonica*, *Amazona vinacea* e *Amazona pretrei*.
- 3' Abertura do tegumento média ou grande, de polo a polo e polo a centro ..... 4

4. Abertura do tegumento média .....	5
4' Abertura do tegumento grande com ruptura latitudinal. Formato do tegumento arredondado com característica rasgada e sobra do polo ab-axial .....	<i>Aratinga auricapillus</i>
5. Abertura do tegumento com fenda longitudinal. Formato do tegumento arredondado .....	<i>Ara ararauna</i>
5'. Abertura do tegumento com ruptura latitudinal. Formato do tegumento arredondado com característica rasgada .....	<i>Diopsittaca nobilis</i> e <i>Pionus maximiliani</i>
6. Abertura do tegumento média de polo a polo ou centro. Formato do tegumento arredondado .....	7
6'. Abertura do tegumento grande a média .....	8
7. Borda com fiapos longos .....	<i>Cyanocorax caeruleus</i> e <i>Cyanocorax chrysops</i>
7'. Borda serrilhada curta .....	9
8. Borda serrilhada .....	10
8'. Borda ondulada .....	11
9. Formato do tegumento com sobra do polo ab-axial e remoção superficial do tegumento .....	<i>Mus musculus</i> , <i>Sooretamys angouya</i> , <i>Akodon montensis</i> , <i>Castoria angustidens</i> , <i>Thaptomys nigrita</i> e <i>Cricetidae</i> sp.
9'. Abertura do tegumento com duas fendas longitudinais .....	<i>Coendou spinosus</i>
10. Borda serrilhada longa. Abertura do tegumento grande de polo a polo. Formato do tegumento em meia lua .....	12
10'. Borda serrilhada média .....	14
11. Abertura do tegumento de polo a polo ou polo a centro com rupturas latitudinais. Formato do tegumento achatado, em 'V' ou 'V' invertido, com característica rasgada e presença de furos .....	15
11'. Abertura do tegumento grande de polo a polo. Formato do tegumento macerado e achatado, em 'V' ou 'V' invertido, com característica rasgada .....	<i>Dicotyles tajacu</i> , <i>Tayassu pecari</i> , <i>Sus scrofa</i> , <i>Mazama nana</i> e <i>Mazama rufa</i> .
12. Abertura do tegumento grande de polo a polo. Formato do tegumento em meia lua .....	13
12'. Sobra apenas do polo ab-axial .....	<i>Lepus europaeus</i>
13. Formato do tegumento arredondado .....	<i>Dasyprocta azarae</i>
13'. Formato do tegumento arredondado rasgado .....	<i>Cuniculus paca</i>
14. Abertura do tegumento grande de polo a polo. Formato do tegumento arredondado com remoção superficial do tegumento .....	<i>Rattus norvegicus</i>
14'. Abertura do tegumento pequena do polo ab-axial .....	<i>Guerlinguetus brasiliensis</i>
15. Abertura do tegumento grande .....	16
15'. Abertura do tegumento média .....	<i>Nasua nasua</i>
16. Abertura do tegumento em espiral com fragmentos esticados .....	<i>Alouatta guariba clamitans</i>
16'. Abertura do tegumento sem a presença de espiral com fragmentos esticados .....	<i>Sapajus nigritus</i> , <i>Cerdocyon thous</i> e <i>Eira barbara</i> .

## DISCUSSÃO

O estudo proporcionou a verificação de padrões distintos na abertura e consumo de pinhões por animais que podem ser usados na identificação dos responsáveis pela predação. Dados diretos e indiretos demonstraram similaridades e diferenças

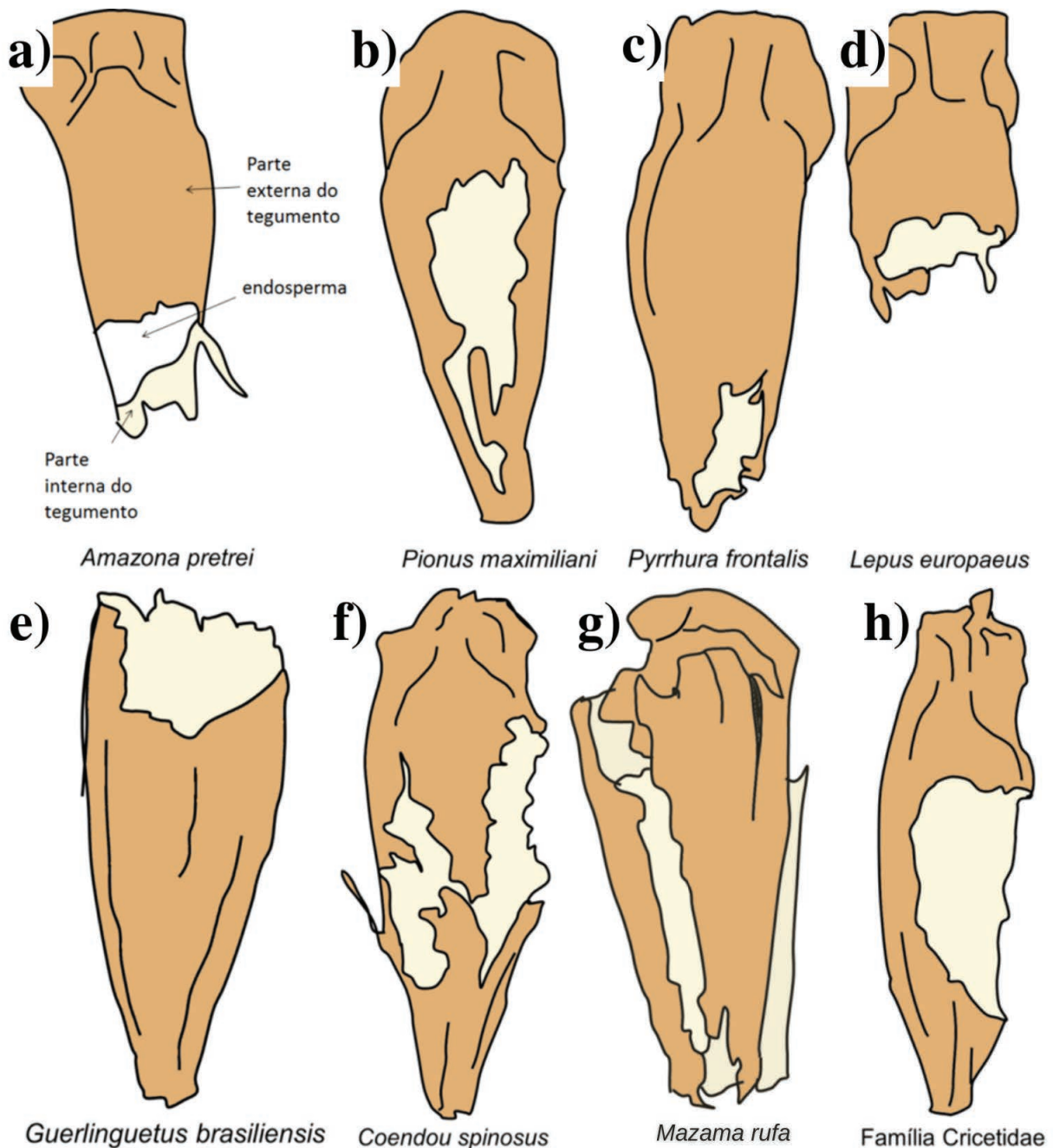
entre os padrões deixados pelas espécies animais consumidoras de pinhões, que são resumidos no dendrograma, agrupando as espécies em subgrupos de acordo com as características de abertura. No dendrograma, observa-se que dois ramos principais emergem: Aves+Mammalia roedores e Mammalia não-roedores, sendo que



**Figura 2.** Prancha que representa as formas de predação do pinhão por aves e mamíferos: a) *Ara ararauna*, b) *Amazona amazônica*, c) *Amazona aestiva*, d) *Aratinga auricapillus*, e) *Amazona vinacea*, f) *Diopsittaca nobilis*, g) *Cyanocorax chrysops*, h) *Dasyprocta azarae*, i) *Mus musculus*, j) *Rattus norvegicus*, k) *Cuniculus paca*, l) *Alouatta guariba clamitans*, m) *Sapajus nigritus*, n) *Nasua nasua*, o) *Cerdocyon thous*, p) *Eira barbara*, q) *Mazama nana*, r) *Dicotyles tajacu*, s) *Tayassu pecari* e t) *Sus scrofa*.

**Figure 2.** Plate representing evidence of Parana Pine seed predation by birds and mammals: a) *Ara ararauna*, b) *Amazona amazônica*, c) *Amazona aestiva*, d) *Aratinga auricapillus*, e) *Amazona vinacea*, f) *Diopsittaca nobilis*, g) *Cyanocorax chrysops*, h) *Dasyprocta azarae*, i) *Mus musculus*, j) *Rattus norvegicus*, k) *Cuniculus paca*, l) *Alouatta guariba clamitans*, m) *Sapajus nigritus*, n) *Nasua nasua*, o) *Cerdocyon thous*, p) *Eira barbara*, q) *Mazama nana*, r) *Dicotyles tajacu*, s) *Tayassu pecari* and t) *Sus scrofa*.





**Figura 3.** Representação de padrões de predação com base em literatura: a) *Amazona pretrei*, b) *Pionus maximilliani*, c) *Pyrrhura frontalis*, d) *Lepus europaeus* e g) *Mazama rufa* a partir de Tella *et al.* 2016; e) *Guerlinguetus brasiliensis*, f) *Coendou spinosus* e h) Cricetidae (*Sooretamys angouya*, *Akodon montensis*, *Castoria angustidens*, *Thaptomys nigrita* e Cricetidae sp.) a partir de Müller 1986. Para observar a variação nos padrões consultar as referências citadas.

**Figure 3.** Representation of predation patterns based on literature: a) *Amazona pretrei*, b) *Pionus maximilliani*, c) *Pyrrhura frontalis*, d) *Lepus europaeus* and g) *Mazama rufa* from Tella *et al.* 2016; e) *Guerlinguetus brasiliensis*, f) *Coendou spinosus* and h) Cricetidae (*Sooretamys angouya*, *Akodon montensis*, *Castoria angustidens*, *Thaptomys nigrita* e Cricetidae sp) from Müller 1986. To observe variation in patterns, consult the references cited.

o primeiro grupo produz uma abertura definida na semente, enquanto o segundo apresenta um padrão mais irregular, provocado principalmente pela mastigação pelos dentes molares.

Entre as aves, espécies da família Psittacidae demonstraram similaridade quanto aos padrões de predação de pinhão, fator que deve estar relacionado ao formato de bico presente na

família que é especializado em abrir sementes duras (Mendonça *et al.* 2020). De forma geral, as marcas observadas nos vestígios de pinhões são causadas pela mandíbula inferior desses animais (Tella *et al.* 2016). Este grupo pode ser subdividido em dois grupos: 1) *Ara ararauna*, *Diopsittaca nobilis* e *Aratinga auricapillus* e 2) *Amazona vinacea*, *Amazona aestiva* e *Amazona amazonica*. No primeiro grupo a abertura do tegumento da semente ocorre de polo a polo e polo a centro e no segundo grupo apenas de polo a polo. Espécies maiores de psitacídeos (espécies do gênero *Amazona*) geralmente deixam danos maiores quando comparado às espécies menores (*Aratinga auricapillus*, *Diopsittaca nobilis*, *Eupsittula aurea*, *Myiopsitta monachus*, *Pionus maximiliani*, *Pyrrhura frontalis* e *Psittacara leucophthalmus*) que se utilizam de uma abertura menor para a remoção do endosperma (Tella *et al.* 2016). Entre as espécies de psitacídeos apresentadas no estudo, apenas *Ara ararauna* não se encaixa no padrão tamanho corporal e tamanho de abertura do tegumento do pinhão por apresentar maior precisão na retirada do endosperma. Já a família Corvidae (representada pelas espécies *Cyanocorax chrysops* e *Cyanocorax caeruleus*) demonstrou um padrão de predação bem distinto ao padrão observado na família Psittacidae. As espécies *C. chrysops* e *C. caeruleus*, possuem um bico mais fino e alongado do que as espécies de psitacídeos, deixando uma abertura central no pinhão com bordas irregulares com a presença de fiapos enrolados. Gralhas em geral, perfuram com o bico toda a face da semente com golpes repetidos, não deixando as marcas típicas da mandíbula inferior dos papagaios (Tella *et al.* 2016).

Entre as espécies de mamíferos, as maiores semelhanças foram observadas entre os roedores, os quais produzem, na maioria das vezes padrões serrilhados nas bordas, provocados pelos incisivos, uma dentição altamente especializada. Antunes *et al.* (2017) encontraram uma relação alométrica entre a largura dos incisivos e o tamanho corporal dos roedores que auxilia também na explicação das diferenças encontradas no tamanho do serrilhado no padrão de predação do pinhão entre os roedores. Para Müller (1986), o padrão de predação para rato e camundongo é o mesmo, entretanto é possível ver diferença no padrão de predação entre *Rattus norvegicus*, *Mus musculus*

e espécies da família Cricetidae onde, o tamanho do dano causado ao tegumento da semente e o tamanho do espaçamento do serrilhado da borda é proporcional ao tamanho do animal, ou seja, para ratos maiores e para camundongos menores. A diferenciação do padrão de predação de pequenos para médios roedores é fácil, pois os roedores pequenos, como, por exemplo, *Rattus norvegicus*, *Mus musculus*, *Sooretamys angouya*, Cricetidae sp, *Akodon montensis*, *Castoria angustidens* e *Thaptomys nigrita*, deixam uma marca de mordida arredondada e bem definida no tegumento (Pereira & Ganade 2008). A paca (*Cuniculus paca*) e a cutia (*Dasyprocta azarae*) deixam marcas distintas nos vestígios de pinhões, as quais se distinguem entre as duas espécies por uma borda de abertura do tegumento mais irregular e vestígios com aspecto mais rasgados para paca. Segundo Pereira & Ganade (2008), a cutia deixa marcas características com seus dentes incisivos no tegumento do pinhão, enquanto a paca, além de marcas de dentes incisivos, primeiro esmaga a semente. Esse esmagamento da semente pode explicar a diferença entre os padrões de predação pelas duas espécies observados neste estudo. Esses achados não são condizentes com o padrão verificado por Müller (1986), o qual não observou distinção entre os vestígios de predação de pinhões por pacas e cutias. Para roedores de pequeno porte silvestres apresentamos apenas a descrição feita por Müller (1986), que foi genérica para cinco espécies da família Cricetidae, indicando a necessidade de pesquisas futuras para avaliar se há diferenças mais sutis entre as marcas de predação deixadas pelas espécies da família. Para tanto, o uso de experimentos com captura de animais de vida livre pode ser uma alternativa, devido à raridade desses animais em cativeiro, com a oferta de pinhões no sistema cafeteria (e.g. Galetti *et al.* 2015).

Grande parte dos mamíferos não-roedores deste estudo são onívoros e possuem dentição generalista, como a irara (*Eira barbara*), o cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*), o cateto (*Dicotyles tajacu*), o queixada (*Tayassu pecari*), o javali (*Sus scrofa scrofa*), o macaco-prego (*Sapajus nigritus*) e o quati (*Nasua nasua*) (Reis *et al.* 2006). A forma de abertura para animais maiores como veados, javalis e macacos ocorre por meio da mastigação da semente inteira para a retirada do endosperma (Tella *et al.* 2016), o que causa uma quebra aleatória da casca e como

consequência uma difícil diferenciação entre as espécies. Assim, para mamíferos, além dos padrões de predação, o uso de outros vestígios de presença animal (pegadas, fezes) associados aos vestígios de consumo de pinhões, deve ser considerado (Tella *et al.* 2016), principalmente para as espécies que não possuem diferenças evidentes nos padrões de predação de pinhão.

Entre os mamíferos, *S. nigrurus* e *N. nasua* são os que mais diferem no padrão de predação do pinhão, pois essas duas espécies não deixam o tegumento achatado após a predação e, por isso, possuem marcas de predação semelhantes entre si. Para *N. nasua* já foi descrito que este, no momento da predação, descasca o pinhão dividindo-o em duas partes (Pereira & Ganade 2008) e foi verificado que a abertura do tegumento da semente é menor e com aspecto mais rasgado comparada a abertura realizado por *S. nigrurus*. Foi possível diferenciar também *E. barbara* e *C. thous* de *D. tajacu*, *T. pecari*, *S. scrofa*, *M. nana* e *M. rufa*. O primeiro grupo produziu furos evidentes provocados pela dentição afiada e pela presença de caninos, aspecto característico da ordem Carnivora em relação ao segundo grupo que deixa o tegumento macerado, com pouca visualização do tegumento interno e pequenos amassados provocados pelos dentes chatos, característico na ordem Artiodactyla (Reis *et al.* 2006).

Animais de criação, como os suínos, podem ter alguns comportamentos alterados em decorrência do estresse gerado pelo confinamento (Baptista *et al.* 2011), por exemplo, a maneira de se alimentar. Dessa forma, é provável que essa seja a explicação para a diferenciação encontrada entre o padrão de predação amostrado para o porco doméstico (*Sus scrofa domesticus*) e as imagens disponibilizadas em outro estudo para o javali (*Sus scrofa scrofa*) (Figura S1 de Tella *et al.* 2016). *Sus s. domesticus* apresentou fragmentos bem menores que os vistos para *S. s. scrofa*, por mais que tenham dentição muito semelhante (Menezes *et al.* 2011). Isto pode ter ocorrido pelo maior tempo de exposição à semente no caso de *S. s. domesticus*, o que pode ter auxiliado ao animal comer mais partes da semente que animais de vida livre fariam.

A diferenciação de vestígios de predação em 17 tipos de padrões de predação para 38 espécies analisadas (experimento e referências) demonstra que o padrão de abertura dos pinhões pode ser usado

para auxiliar na identificação de espécies, famílias ou ordens de espécies interagentes. Como há uma ampla gama de espécies consumidoras de pinhão, mais de 90 espécies listadas no material suplementar (Tabela S1), essa identificação pode ser útil em levantamentos faunísticos. A utilização de vestígios deixados por animais para identificação e estudo com animais neotropicais, sobretudo mamíferos, tem sido amplamente indicada (Emmons *et al.* 1997, Silveira *et al.* 2003, Brocardo *et al.* 2012). Para tanto, guias de identificação de espécies animais têm sido produzidos para pegadas, pelos, fezes, tocas e identificação de padrões de consumo de itens alimentares (Quadros & Monteiro-Filho 2006, Borges & Tomás 2008, Becker & Dalponte 2013, Prist *et al.* 2020). A descrição dos padrões de predação de pinhão e a chave de identificação aqui apresentada são igualmente úteis para avaliar e quantificar a predação sobre sementes do pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), visto o impacto que as interações animal-plantas podem causar na ecologia regenerativa e na conservação dessa conífera (Brocardo *et al.* 2018, Bordignon & Monteiro-Filho 2000, Pereira & Ganade 2008, Vieira & Iob 2009, Pagno *et al.* 2015, Gibinski & Krupek 2016, Tella *et al.* 2016, Rosa *et al.* 2020, Squinzani *et al.* 2022). Assim este trabalho poderá auxiliar em pesquisas futuras sobre o tema por apresentar uma chave de identificação de espécies a partir das marcas deixadas no tegumento durante a predação da semente.

## AGRADECIMENTOS

Aos funcionários do Parque Ecológico Klabin e aos servidores do Zoológico Municipal de Cascavel pela cooperação nos experimentos. À Secretaria de Meio Ambiente de Cascavel e a Gerência de Sustentabilidade e Meio Ambiente da Klabin pela autorização à pesquisa em seus respectivos mantenedores de fauna. À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), número do processo: 88882.441522/2019-01, pela bolsa de mestrado concedida a LIS que possibilitou a realização do trabalho. CRB era bolsista de pós-doutorado da CAPES (Código: 001).



## REFERÊNCIAS

- Antunes, A. C., Baccaro, F., & Barnett, A. A. 2017. What bite marks can tell us: Use of on-fruit tooth impressions to study seed consumer identity and consumption patterns within a rodent assemblage. *Mammalian Biology*, 82, 74–79. DOI:10.1016/j.mambio.2016.11.009
- Baptista, R. I. A. D. A., Bertani, G. R., & Barbosa, C. N. 2011. Indicadores do bem-estar em suínos. *Ciência Rural*, 41(10), 1823-1830. DOI: 10.1590/S0103-84782011005000133
- Becker, M., & Dalponte, J. C. 2013. *Rastros de Mamíferos Silvestres Brasileiros - Um Guia de Campo*. Technical Books: p. 170.
- Bogoni, J. A., Muniz-Tagliari, M., Peroni, N., & Peres, C. A. 2020. Testing the keystone plant resource role of a flagship subtropical tree species (*Araucaria angustifolia*) in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecological Indicators*, 118, 106778. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106778
- Bordignon, M., & Monteiro-Filho, E. L. A. 2000. O serelepe *Sciurus ingrami* (Sciuridae: Rodentia) como dispersor do Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*) (Araucariaceae: Pinophyta). *Arq Ciên Vet Zool*, 3, 139–144.
- Borges, P., & Tomas, W. M. 2008. *Guia de rastros e outros vestígios de mamíferos do pantanal*. Embrapa, Corumbá: p. 139.
- Brandt, M. 2015. Criação de porcos” à solta” na floresta ombrófila mista de Santa Catarina: paisagem e uso comum da terra. *História* (São Paulo), 34(1), 303–322. DOI: 10.1590/1980-436920150001000051
- Brocardo, C. R., Rodarte, R., Bueno, R. D. S., Culot, L., & Galetti, M. 2012. Mamíferos não voadores do Parque Estadual Carlos Botelho, continuum florestal do Paranapiacaba. *Biota Neotropica*, 12(4), 198–208.
- Brocardo, C. R., Pedrosa, F., & Galetti, M. 2018. Forest fragmentation and selective logging affect the seed survival and recruitment of a relictual conifer. *Forest Ecology and Management*, 408, 87–93. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.09.046
- Brocardo, C. R., Szinwelski, N., Cândido-Jr, J. F., Squinzani, L. I., Prasniewski, V. M., Limont, M., & Fadini, R. F. 2022. Strengthening top-down strategies are also required for conservation of the Araucaria Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 1–3. DOI: 10.1016/j.pecon.2022.01.002
- Carvalho, P. E. R. 2002. *Pinheiro-do-paraná*. Colombo: Embrapa Florestas. p. 17. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 60). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42019/1/CT0060.pdf>.
- Dénes, F. V., Tella, J. L., Zulian, V., Prestes, N. P., Martínez, J., & Hiraldo, F. 2018. Combined impacts of multiple non-native mammals on two life stages of a critically endangered Neotropical tree. *Biological Invasions*, 20(11), 3055–3068. DOI: 10.1007/s10530-018-1758-4
- Di Musciano, M., Di Cecco, V., Bartolucci, F., Conti, F., Frattaroli, A. R., & Di Martino, L. 2020. Dispersal ability of threatened species affects future distributions. *Plant Ecology*, 221, 265–281. DOI:10.1007/s11258-020-01009-0.10.1007/s10530-018-1758-4
- Emmons, L., & Feer, F. 1997. *Neotropical rainforest mammals: a field guide* (2nd ed.), Chicago: University of Chicago Press: p. 281.
- Ferracioli, P. 2013. *Interação entre uma comunidade de pequenos mamíferos e a espécie Araucaria angustifolia em uma Floresta Ombrófila Mista no sul do Brasil*. Master thesis. Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada da Universidade Federal de Lavras. p. 116.
- Galetti, M., Guevara, R., Galbiati, L. A., Neves, C. L., Rodarte, R. R., & Mendes, C. P. 2015. Seed predation by rodents and implications for plant recruitment in defaunated Atlantic forests. *Biotropica*, 47(5), 521–525. DOI: 10.1111/btp.12246
- Gibinski, R., & Krupek, R. A. 2016. Influência de diferentes fatores sobre a predação de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. *Acta Biológica Catarinense*, 3(1), 60–68. DOI: 10.21726/abc.v3i1.430
- Gregory, T., Carrasco Rueda, F., Deichmann, J., Kolowski, J., & Alonso, A. 2014. Arboreal camera trapping: taking a proven method to new heights. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(5), 443–451.
- Hertel, R. J. G. 1963. *Estudos sobre Araucaria angustifolia*. I: Descrição morfológica do fruto; a germinação. *Boletim do Instituto de História Natural, Curitiba*, 5, 1–30.

- Janzen, D. H. 1971. "Seed predation by animals." Annual review of ecology and systematics, 465–492.
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. 1990. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Wiley, New York. p. 342.
- Jorge, M. S., & Peres, C. A. 2005. Population density and home range size of red-rumped Agoutis (*Dasyprocta leporina*) within and outside a natural Brazil nut stand in Southeastern Amazonia I. Biotropica: The Journal of Biology and Conservation, 37(2), 317–321.
- Klabin, Sustentabilidade, Meio Ambiente e Biodiversidade. Parque Ecológico, 2020. Disponível em: <https://klabin.com.br/sustentabilidade/meio-ambiente-e-biodiversidade>. Acesso em: 09 Jul. 2020.
- Ministério da Saúde. Coronavírus, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/Coronavirus>. Acesso em: 24 Fev. 2021.
- Lopes, D. K. 2014. Remoção e predação de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze pela fauna em um fragmento de floresta ombrófila mista em Lages/SC. Master thesis. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina. p. 80. Disponível em [https://www.udesc.br/arquivos/cav/id\\_cpmenu/1481/Disserta\\_\\_o\\_K\\_STER\\_LOPES\\_D\\_15687487768812\\_1481.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1481/Disserta__o_K_STER_LOPES_D_15687487768812_1481.pdf)
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., & Hornik, K. 2019. cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.0.8.
- Malmsten, A., Jansson, G., Lundeheim, N., & Dalin, A. M. 2017. The reproductive pattern and potential of free ranging female wild boars (*Sus scrofa*) in Sweden. Acta Veterinaria Scandinavica, 59(1), 1–7. DOI: 10.1186/s13028-017-0321-0
- Mantovani, A., Morellato, L. P. C., & Reis, M. S. D. 2004. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. Brazilian Journal of Botany, 27(4), 787–796. DOI: 10.1590/S0100-84042004000400017
- Menezes, L.T., Santos, A. L. Q., Moraes, F. M. de., Kaminishi, A. P. S., Leonardo, T. G., & Nascimento, L. R. 2011. Comportamento anatômico das artérias da base do encéfalo de javali (*Sus scrofa scrofa* – Linnaeus, 1758). PUBVET, 5(13), 1079–1085. DOI: 10.22256/pubvet.v5n13.1085
- Mendonça, R., Amaral, A. A. N., & Voltolini, J. C. 2020. Recepção, triagem e soltura de psitacídeos no Centro de Triagem de Animais Silvestres (CETAS) IBAMA Lorena, SP. Revista Biociências, 26(1), 70–79.
- Micheneau, C., Johnson, S. D., & Fay, M. F. 2009. Orchid pollination: from Darwin to the present day. Botanical Journal of the Linnean Society, 161(1), 1–19.
- Müller, J. A. 1986. A influência dos roedores e aves na regeneração da *Araucaria angustifolia* [Bert.] O. Kuntze. Master thesis. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. p. 65. Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/147519947.pdf>
- Oliveira, V. P. 2017. O uso do zoológico como instrumento pedagógico na educação ambiental (não) formal. Master thesis. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. p. 155. Disponível em <http://tede.unioeste.br/handle/tede/3084>
- Pagno, L., Cândido, J. F. J., & Brocardo, C. R. 2015. Seed predation of *Araucaria angustifolia* by *Sapajus nigritus*. Neotropical Primates, 22(1), 1–6.
- Pereira, F., & Ganade, G. 2008. Spread of a Brazilian keystone-species in a landscape mosaic. Forest Ecology and Management, 255, 1674–1683. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.11.026
- Pizo, M. A., & Galetti, M. 2010. Métodos e perspectivas do estudo da frugívora e dispersão de sementes por aves. In: S. Von Matter, F. C. Straube, I. A. Accordi, V. Piacentini, & J. F. Cândido-Jr (Eds.), Ornitologia e conservação: ciência aplicada, técnicas de pesquisa e levantamento. pp. 493–503. Rio de Janeiro: Ed. Technical Books.
- Prist, P. R., Silva, M. X. Y., & Papi, B. 2020. Guia de Rastros de Mamíferos Neotropicais de Médio e Grande Porte. São Paulo: Folio Digital, p. 249.
- Quadros, J., & Monteiro-Filho, E. L. D. A. 2006. Revisão conceitual, padrões microestruturais e proposta nomenclatória para os pêlos-guarda de mamíferos brasileiros. Revista Brasileira de Zoologia, 23(1), 279–292. DOI: 10.1590/S0101-81752006000100023

- Reis, N. R., Peracchi, A. L., Pedro, W. A., & Lima, I. P. de. 2006. Mamíferos do Brasil. Londrina: Editora da Universidade de Londrina, p. 437.
- Rosa, C., Hegel, C. G. Z., & Passamani, M. 2020. Seed removal of *Araucaria angustifolia* by native and invasive mammals in protected areas of Atlantic Forest. *Biota Neotropica*, 21(1), 1–6. DOI: 10.1590/1676-0611-bn-2020-1111
- Sanguinetti, J., & Kitzberger, T. 2010. Factors controlling seed predation by rodents and non-native *Sus scrofa* in *Araucaria araucana* forests: potential effects on seedling establishment. *Biological Invasions*, 12(3), 689–706. DOI: 10.1007/s10530-009-9474-8
- Schupp, E. W., Jordano, P., & Gómez, J. M. 2010. Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. *New Phytologist*, 188(2), 333–353. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03402.x
- Silveira, L., Jacomo, A. T., & Diniz-Filho, J. A. F. 2003. Camera trap, line transect census and track surveys: a comparative evaluation. *Biological conservation*, 114(3), 351–355. DOI: 10.1016/S0006-3207(03)00063-6
- Squinzani, L.I., Piana, P.A. & Brocardo, C.R. 2022. Does seed dispersal mode matter?. *Plant Ecology*, 223, 643–657. DOI: 10.1007/s11258-022-01238-5
- Straube, F. C. 2010. Fontes históricas sobre a presença de araras no estado do Paraná. *Atualidades Ornitológicas*, 156, 1–64.
- Tella, J., Dénes, F. V., Zulian, V., Prestes, N. P., Martínez, J., Blanco, G., & Hiraldo, F. 2016. Endangered plant-parrot mutualisms: seed tolerance to predation makes parrots pervasive dispersers of the Parana pine. *Scientific Reports*, 6(1), 1–11. DOI: 10.1038/srep31709
- Thomas, P. 2013. *Araucaria angustifolia*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T32975A2829141. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>. Downloaded on 18 April 2021. <https://doi.org/10.1038/srep31709>
- Vidal, M. M., Pires, M. M., & Guimaraes Jr, P. R. 2013. Large vertebrates as the missing components of seed-dispersal networks. *Biological Conservation*, 163, 42–48.
- Vieira, E., & Job G. 2009. Dispersão e predação de sementes de *Araucaria angustifolia*. In: C. R. Fonseca, A. F. Souza, A. M. Leal-Zanchet, T. Dutra, A. Backes, & G. Ganade (Eds.), *Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável*. pp. 85–96. Holos editora, Ribeirão Preto.
- Wickham, H. 2016. *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Zhang, Y., Yu, F., Yi, X., Zhou, W., Liu, R., Holyoak, M., Cao L., Zhang, M., Chen, J., Zhang, Z. & Yan, C. 2022. Evolutionary and ecological patterns of scatter-and larder-hoarding behaviours in rodents. *Ecology Letters*, 25(5), 1202–1214.
- Zhu, C., Li, W., Gregory, T., Wang, D., Ren, P., Zeng, D., Kang, Y., Ding, P., & Si, X. 2022. Arboreal camera trapping: a reliable tool to monitor plant-frugivore interactions in the trees on large scales. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(1), 92–104.

## MATERIAL SUPLEMENTAR

**Figura S1.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Ara ararauna* e *Amazona aestiva*.

**Figure S1.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Ara ararauna* and *Amazona aestiva*.

**Figura S2.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Aratinga auricapillus* e *Amazona amazonica*.

**Figure S2.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Aratinga auricapillus* and *Amazona amazonica*.

**Figura S3.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Diopsittaca nobilis* e *Amazona vinacea*.

**Figure S3.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Diopsittaca nobilis* and *Amazona vinacea*.

**Figura S4.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Cyanocorax chrysops*.

**Figure S4.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Cyanocorax chrysops*.

**Figura S5.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Alouatta guariba clamitans*.

**Figure S5.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Alouatta guariba clamitans*.



**Figura S6.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Cerdocyon thous* e *Sus scrofa*.

**Figure S6.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Cerdocyon thous* and *Sus scrofa*.

**Figura S7.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Cuniculus paca* e *Dasyprocta azarae*.

**Figure S7.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Cuniculus paca* and *Dasyprocta azarae*.

**Figura S8.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Mus musculus* e *Rattus norvegicus*.

**Figure S8.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Mus musculus* and *Rattus norvegicus*.

**Figura S9.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Sapajus nigritus* e *Nasua nasua*.

**Figure S9.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Sapajus nigritus* and *Nasua nasua*.

**Figura S10.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Dicotyles tajacu* e *Tayassu pecari*.

**Figure S10.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Dicotyle tajacu* and *Tayassu pecari*.

**Figura S11.** Prancha com várias formas de predação de pinhão por *Eira barbara* e *Mazama nana*.

**Figure S11.** Plate with various forms of Parana Pine seed predation by *Eira barbara* and *Mazama nana*.

**Tabela S1.** Espécies animais que participaram deste estudo advindas de coletas de material do Zoológico Municipal de Cascavel, Parque Ecológico Klabin, Parque Municipal Danilo José Galafassi e Criadouro de Suínos de São Pedro do Iguaçu-PR (dados primários) ou pela complementação de dados de espécies ausentes nos plantéis pelas descrições das referências de Tella et al. 2016 e Müller 1986 (dados secundários).

**Table S1.** Subject animal species that participated in this study from collections of material from the Cascavel Municipal Zoo, Klabin Ecological Park, Danilo José Galafassi Municipal Park and Swine Breeding Center in São Pedro do Iguaçu-PR (primary data) or by complementing data on

*species absent in the by the descriptions of the references by Tella et al. 2016 and Müller 1986 (secondary data).*

**Tabela S2.** Seleção de caracteres e estados do padrão de predação da semente da *Araucaria angustifolia* para seus consumidores animais.

**Table S2.** Character selection and predation pattern status of *Araucaria angustifolia* seed for its animal consumers.

Submitted: 13 October 2021

Accepted: 11 October 2022

Published online: 01 November 2022

Associate Editor: João Pedro Souza-Alves