

Dispersão de sementes por mamíferos semaquáticos Neotropicais

Pedro Henrique de Oliveira Hoffmann

Orientador: Dr. Leonardo Maltchik Garcia

Rio Grande
2024



Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de Ambientes
Aquáticos Continentais



Dispersão de sementes por mamíferos semiaquáticos Neotropicais

Aluno: Pedro Henrique de Oliveira Hoffmann
Orientador: Dr. Leonardo Maltchik Garcia

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Biologia de
Ambientes Aquáticos Continentais como
requisito parcial para a obtenção do
título de Mestre em Biologia de
Ambientes Aquáticos Continentais.

Rio Grande
2024

Ficha Catalográfica

H711d Hoffmann, Pedro Henrique de Oliveira.
Dispersão de sementes por mamíferos semiaquáticos
Neotropicais / Pedro Henrique de Oliveira Hoffmann. – 2024.
99 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –
FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes
Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2024.
Orientador: Dr. Leonardo Maltchik Garcia.

1. Endozoocoria 2. Diploendozoocoria 3. Áreas úmidas 4. Capivara
5. Ratão-do-banhado 6. Lontra-neotropical I. Garcia, Leonardo
Maltchik II. Título.

CDU 599

Catalogação na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344



**ATA DE DEFESA DE TESE DE MESTRADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 001/2024**

Às 09:00h (nove horas) do dia 19 (dezenove) do mês de março de 2024 (dois mil e vinte e quatro), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://conferenciaweb.rnp.br/sala/glaucocesar-dias-delevedove>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do acadêmico **Pedro Henrique de Oliveira Hoffmann**. A Dissertação intitulada **“Dispersão de sementes por mamíferos semiaquáticos Neotropicais”** foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelo Prof. Leonardo Maltchik Garcia (Orientador); Profª. Dra. Sônia Hefler (FURG) e Prof. Dr. Marco Aurélio Pizo (UNESP). Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou o acadêmico **APROVADO**. Desta forma, o acadêmico concluiu mais uma das etapas necessárias para a obtenção do grau de **MESTRE EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS**. Nada mais havendo a tratar, às 12:00h (doze horas) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pela Coordenadora do Curso.

Prof. Leonardo Maltchik Garcia

Documento assinado digitalmente
gov.br SONIA MARISA HEFLER
Data: 19/03/2024 13:10:08-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Profª. Dra. Sonia Marisa Hefler

Prof. Dr. Marco Aurélio Pizo

Documento assinado digitalmente
gov.br CAMILA DE MARTINEZ GASPAR MARTINS
Data: 21/03/2024 12:08:51-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Profª. Dra. Camila De Martinez Gaspar Martins
Coordenadora do Curso

*“Tudo está interligado: a terra, a água, o ar,
as plantas e os animais.”*

Ana Primavesi

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado, que permitiu que eu pudesse trabalhar pesquisando a vida e suas interações ecológicas.

Agradeço ao professor Dr. Leonardo Maltchik Garcia, meu orientador, por sua orientação valiosa, paciência e apoio constante ao longo deste processo. Sua expertise e feedback foram fundamentais para o aprimoramento deste trabalho. Estendo estas palavras à professora Dra. Cristina Stenert, que propiciou importantes ensinamentos sobre metodologia científica e me incentivou a continuar estudando.

Um agradecimento especial à minha amada companheira e colega, Me. Andressa Adolfo. Expresso minha profunda gratidão pelo constante apoio emocional e intelectual, além do incentivo ao longo de toda a jornada acadêmica. Seu amor e compreensão foram pilares essenciais para minha perseverança.

Agradeço ao professor Dr. Andy J. Green pelo seu suporte crítico, sugestões e colaboração neste trabalho. Estendo estes agradecimentos ao Dr. Giliandro Silva pelas trocas de ideias e experiência, o seu pioneirismo em endozoocoria foi o substrato para muitas perguntas, algumas abordadas neste trabalho. Ao Dr. Matheus M. M. Soares pelos ensinamentos sobre montagem de material entomológico e pela parceria na descrição do novo registro de ocorrência da pequena-mosca-do-esterco. Agradeço à Dra. Gisele Catian e Dra. Caroline Igansi pelo suporte com bibliografia especializada e pelo auxílio na identificação de diásporos. Agradeço ao colega Vinícius Weber pelo suporte nos trabalhos de campo, de laboratório e atividades acadêmicas.

Agradeço às instituições Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS e Zoológico de Sapucaia do Sul, que forneceram infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa. Às colegas da Unisinos, Me. Amanda Bauer, Me. Bruna Arenhardt, Me. Carol Brückmann, Me. Gabriela Olmedo e Me. Natascha Horn pelos cafés, boas conversas e lanches compartilhados. Um agradecimento especial à Natascha, que abriu as portas da Coleção Zoológica da Unisinos, possibilitando o desenvolvimento de partes importantes deste trabalho. Estendo minha sincera gratidão aos dedicados tratadores do zoológico de Sapucaia do Sul: Lisandro da Silva Siqueira,

Maria Catarina Meireles Azevedo, João Felipe Bussolo da Silva e à veterinária Maria do Carmo. Ambos pelo apoio ao longo de nosso trabalho com as capivaras. Em especial, agradeço à veterinária Dra. Raquel Von Hohendorff pelo seu apoio valioso, possibilitando o acesso ao Zoo para estudos preliminares.

Agradeço à toda equipe da Estação Ecológica do Taim – ESEC Taim pelo acolhimento e auxílio durante os campos de coleta realizados neste lugar único e cheio de vida. Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande - FURG, por ser uma Universidade pública e de qualidade e ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais – PPGBAC pela oportunidade de crescimento acadêmico. Minha gratidão se estende aos Técnicos do Laboratório de Limnologia e demais colegas do PPGBAC que compartilharam ideias, debateram conceitos e forneceram um ambiente acadêmico enriquecedor.

Gostaria de agradecer especialmente às 59.563.912 brasileiras e brasileiros que através do voto elegeram Lula como presidente do Brasil em 2022. Possibilitando assim, que a nação dê um primeiro passo contra o negacionismo científico e a desvalorização da educação. À Luiz Inácio Lula da Silva e todos os estudantes e pesquisadores que lutaram pelo reajuste no valor das bolsas de pós-graduação, que após dez anos congeladas foram reajustadas. Este ato de valorizar a ciência me permitiu sonhar, acreditar, e seguir na carreira científica.

Agradeço aos membros da banca examinadora, por dedicarem seu tempo e experiência na análise e avaliação deste trabalho.

Por fim, dedico este trabalho aos meus pais, Artur Carlos Hoffmann *in memoriam* e Marilda do Carmo de Oliveira, cujo exemplo de dedicação, valores e sacrifícios foram fontes inesgotáveis de inspiração ao longo da minha trajetória acadêmica.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista, o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

A dispersão é um processo ecológico que favorece a colonização contínua de diferentes habitats, influenciando a diversidade de espécies e contribuindo para a manutenção dos ecossistemas. Áreas úmidas são ecossistemas altamente relevantes, apesar disso, poucos estudos investigaram a dispersão de sementes nestes sistemas. Mamíferos presentes em áreas úmidas podem realizar a dispersão passiva de plantas e invertebrados, embora seu papel, especialmente nas áreas úmidas Neotropicais, permaneça pouco estudado. Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi descrever o papel de três espécies de mamíferos semiaquáticos (capivara, ratão-do-banhado e lontra-neotropical) como vetores de dispersão de plantas em áreas úmidas do sul do Brasil. Os objetivos específicos foram: (I) Caracterizar a abundância, riqueza e composição de diásporos encontrados em fezes de capivara, ratão-do-banhado e lontra; (II) Testar a viabilidade de diásporos após a passagem pelo trato digestório das capivaras, ratões-do-banhado e lontras; (III) Comparar o potencial de dispersão entre capivaras e ratões-do-banhado; (IV) Verificar o potencial de dispersão por diploendozoocoria via lontra-neotropical. Para executar os nossos objetivos coletamos excrementos dos três mamíferos semiaquáticos em áreas úmidas na Estação Ecológica do Taim, extremo sul do Brasil. Em laboratório as amostras foram segregadas sob água corrente com um conjunto de peneiras granulométricas e os diásporos intactos foram removidos sob estereomicroscópio. Posteriormente, os diásporos foram incubados a fim de testar a sua viabilidade. Registraramos diásporos de 27 táxons de plantas pertencentes a 13 famílias distintas em amostras de capivara e ratão-do-banhado. Estes dois roedores dispersam uma composição taxonômica de plantas distinta; enquanto capivaras dispersam mais diásporos de plantas terrestres, ratões-do-banhado dispersam mais de plantas aquáticas. Em amostras de excrementos de lontra-neotropical registramos 33 táxons de plantas pertencentes a 18 famílias distintas. Excrementos de lontras que predaram mais de duas classes de vertebrados apresentaram uma maior quantidade total de diásporos, incluindo uma maior abundância de diásporos provenientes de plantas de substrato aquático. Todos os mamíferos semiaquáticos estudados apresentaram germinação de alguns dos diásporos dispersos. Este foi o primeiro estudo a registrar a dispersão de algas-verdes, pteridófitas-aquáticas e angiospermas através de diferentes mamíferos semiaquáticos de áreas úmidas Neotropicais. Demonstramos que grandes roedores podem exercer um papel complementar dispersando diásporos de plantas aquáticas e terrestres. E lontras ao predar distintas classes de vertebrados podem dispersar secundariamente uma grande riqueza de diásporos especialmente de plantas aquáticas.

Palavras-chave: Endozoocoria, Diploendozoocoria, Áreas úmidas, Capivara, Ratão-do-banhado, Lontra-neotropical.

ABSTRACT

Seed dispersal is an ecological process that facilitates the continuous colonization of different habitats, influencing species diversity and contributing to ecosystem maintenance. Despite the ecological significance of wetlands, few studies have investigated seed dispersal in these ecosystems. Mammals inhabiting wetlands may play a role in the passive dispersal of plants and invertebrates, yet their role, particularly in Neotropical wetlands, remains poorly studied. In this context, the main objective of this research was to describe the role of three semiaquatic mammal species (capybara, nutria, and neotropical otter) as vectors for plant dispersal in the wetlands of southern Brazil. The specific objectives were: (I) Characterize the abundance, richness, and composition of diaspores found in the feces of capybaras, nutrias, and otters; (II) Test the viability of diaspores after mammals gut passage; (III) Compare the dispersal potential between capybaras and coypus; and (IV) Assess the dispersal potential via diploendozoochory by neotropical otters. To achieve our objectives, we collected fecal samples from the three semiaquatic mammals in wetland areas at the Taim Ecological Station in the extreme south of Brazil. In the laboratory, the samples were processed using a set of sieves under running water, and intact diaspores were removed under a stereo microscope. Subsequently, the diaspores were incubated to test their viability. We recorded diaspores from 27 plant taxa belonging to 13 distinct families in capybara and nutria samples. These two rodents dispersed a taxonomically distinct composition of plants; while capybaras dispersed more diaspores of terrestrial plants, nutrias dispersed more diaspores of aquatic plants. In neotropical otter fecal samples, we identified 33 plant taxa belonging to 18 distinct families. Otter feces that preyed on more than two vertebrate classes showed a higher total quantity of diaspores, including a greater abundance of diaspores from aquatic substrate plants. All the semiaquatic mammals exhibited germination of some dispersed diaspores. This study represents the first documentation of seed dispersal by semiaquatic mammals for green algae, aquatic ferns, and angiosperms in Neotropical wetlands. We demonstrated that large rodents can play a complementary role in dispersing diaspores from both aquatic and terrestrial plants. Additionally, otters, through predation on various vertebrate classes, can secondarily disperse a diverse array of diaspores, especially from aquatic plants.

Key-words: Endozoochory, Diploendozoochory, Wetlands, Capybara, Nutria, Neotropical otter.

APRESENTAÇÃO

A presente dissertação traz os resultados obtidos com minhas pesquisas durante o curso de Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais – PPGBAC, na Universidade Federal do Rio Grande – FURG. O foco central da dissertação foi a dispersão de plantas através de mamíferos semiaquáticos que ocorrem em áreas úmidas Neotropicais, com enfoque nas espécies de roedores capivara e ratão-do-banhado e no mustelídeo, carnívoro lontra-neotropical. Esta dissertação está estruturada de seguinte forma: (i) Introdução Geral, contendo definições, principais conceitos, trabalhos na área e caracterização dos vetores estudados; (ii) O primeiro capítulo intitulado “*Big rodents disperse small seeds in Neotropical wetlands*” aborda o processo de dispersão de plantas através de capivara e ratão-do-banhado em áreas úmidas no sul do Brasil. Esse capítulo foi formatado e submetido na revista *Journal of Ecology*; (iii) O segundo capítulo intitulado “*Dispersão de sementes por lontra-neotropical no extremo sul do Brasil*” aborda a dispersão de sementes através de endozoocoria e diploendozoocoria via lontra-neotropical. Este capítulo está formatado para ser submetido na revista *Freshwater Biology*; (iv) Principais conclusões e perspectivas resultantes deste estudo; e (v) Anexos. A introdução geral, considerações finais e perspectivas, estão formatadas de acordo com as normas da ABNT.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	v
INTRODUÇÃO GERAL	6
REFERÊNCIAS	9
CAPÍTULO 1	14
<i>Abstract</i>	15
<i>Introduction</i>	16
<i>Materials and Methods</i>	18
<i>Results</i>	24
<i>Discussion</i>	32
<i>References</i>	38
CAPÍTULO 2	48
<i>Resumo</i>	49
<i>Introdução</i>	51
<i>Métodos</i>	53
<i>Resultados</i>	59
<i>Discussão</i>	68
<i>Referências</i>	72
CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	85
ANEXOS.....	87

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figure 1. Study area with sites where capybara and nutria faeces were sampled at Taim Ecological Station.

Figure 2. Capybaras and nutrias in the study area, and their faeces. (a) group of 15 capybaras, (b) group of five nutrias feeding, (c) adult capybara, (d) adult nutria, (e) capybara (left) near a nutria with her cub in the nest, (f) capybara feces, (g) nutria feces. Penknife (10.5 cm long) shown for scale.

Figure 3. Aquatic plants dispersed by capybara and nutria. (a) *Spirodela intermedia* recovered from nutria feces, (b) *Bacopa monnieri* seedling after germination from the capsule previously recovered from rodent feces.

Figure 4. Relative abundance and taxonomic richness of recovered diaspores in capybara and nutria samples. (a) total abundance of diaspores (N=number of intact diaspores), (b) total richness of diaspores (N= plant taxa).

Figure 5. Size of diaspores found in capybara and nutria faeces samples. Boxes represent the range of quartiles Q2 and Q3 separated by the median (bold horizontal lines). Vertical lines indicate the limits for Q1 and Q4, while the dots represent outliers.

Figure 6. Rarefaction analyses showing the accumulated number of plant taxa recorded in faeces of capybara and nutria, in relation to number of samples. Error bars represent 95% confidence intervals.

Figure 7. Ordination of taxonomic composition of dispersed diaspores and their variation among capybara (orange ellipse) and nutria (turquoise ellipse). Crosses (+) represent plant taxa. Plant taxa named are those selected in indicator species analysis. The mammal silhouettes are downloaded from: phylopic.org, *Myocastor coypus* by Mattia Menchetti and *Hydrochoerus hydrochaeris* by Skye McDavid.

CAPÍTULO 2

Figura 1. Área de estudo na Estação Ecológica do Taim. Os pontos indicam locais onde as amostras de excremento de lontra-neotropical foram coletadas. Os números ao lado dos pontos correspondem a quantidade de amostras coletadas em cada local.

Figura 2. Canal onde as amostras foram coletadas na Estação Ecológica do Taim, extremo sul do Brasil. No detalhe, excremento de lontra-neotropical, escala em cm.

Figura 3. Macrófitas aquáticas encontradas em excrementos de lontra-neotropical, Foto (A) *Lemna minuta*, (B) *Wolffiella oblonga* e (C) *Azolla filiculoides*. Escala 1 mm.

Figura 4. Curva de rarefação exibindo o número acumulado de táxons de plantas encontradas em excrementos de lontra-neotropical em função do número de amostras. A linha tracejada vertical corresponde ao intercepto X (número de amostragens). O preenchimento em cinza ao longo da curva representa o intervalo de confiança de 95%.

Figura 5. Curva da relação entre riqueza de diásporos de plantas em função do peso seco dos excrementos de lontra-neotropical.

Figura 6. Boxplot entre a riqueza e abundância de diásporos em função das três categorias de presas: one = consumo de uma classe de presa, two = consumo de duas classes de presa e more = consumo de três ou mais classes de presas. As caixas representam o range dos quartis Q2 e Q3 separados pela linha horizontal da mediana em negrito. As linhas verticais indicam os limites máximos e mínimos Q1 e Q4.

Figura 7. Variação na riqueza e abundância de diásporos aquáticos, terrestres e que podem ocorrem em ambos substratos em função de três categorias; one = consumo de uma classe de presa, two = consumo de duas classes de presa e more = consumo de três ou mais classes de presas. Gráfico (A) riqueza de diásporos, N = número de táxons registrados em cada categoria. Gráfico (B) abundância de diásporos, N = abundância de diásporos em cada categoria.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Table 1. Intact diaspores from capybara and nutria faeces, showing: substrate that plants grow on; life form: A = amphibious, E = emergent, FF = fixed floating and FL = free floating; total number of diaspores recovered; number of samples in which each taxon was recorded (NST); combined number of diaspores in samples (N diaspores); and maximum number of diaspores recorded in a single sample (Max. sample).

Table 2. Details of germination of diaspores recovered from faecal samples from capybara and nutria. In bold are those taxa that show diaspores that do not have germination potential.

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Plantas dispersas por lontra-neotropical: substrato onde as plantas se desenvolveram (Substrate); Número total de diásperos encontrados (Total diaspores); número total de diásperos germinados (Total germinated); número de amostras em que cada táxon foi encontrado (NST); e número máximo de diásperos encontrados em uma amostra (Max. sample). Em negrito táxons que apresentam diásperos sem potencial para germinação.

Tabela 2. Táxons e tamanho de diásperos dispersados por lontra-neotropical e categorias onde ocorrem: tipo de diáspero (Diaspore type); tamanho do diáspero (Length); diferentes categorias de presas conforme o número de classes consumidas, “one” uma classe, “two” duas classes, “more” de três a quatro classes (Prey category).

INTRODUÇÃO GERAL

A dispersão é um processo ecológico que propicia a colonização contínua de habitats, influenciando a diversidade de espécies e contribuindo para a manutenção dos ecossistemas (Matthysen, 2012; van der Pijl, 1982). Dispersão pode ser definida como o movimento das espécies do local de nascimento até o de reprodução (Matthysen, 2012). Organismos que não possuem a capacidade de se movimentar ativamente (e. g. plantas), podem ser dispersos passivamente através de um vetor como o vento (anemocoria), água (hidrocoria), gravidade (barocoria) ou animais (zoocoria). A zoocoria ocorre através do transporte no trato digestivo dos animais (endozoocoria) e/ou aderidos a parte externa, presos à pele, pelo ou penas (epizoocoria). Quando um predador carnívoro se alimenta de um vetor de sementes, pode atuar como dispersor secundário (diploendozoocoria) (Hämäläinen *et al.*, 2017). A unidade diaspórica é diversa (invertebrados inteiros, ovos, estruturas de resistência, plantas inteiras, sementes ou diferentes tipos de frutos) e usualmente é denominada propágulo ou diásporo (Tiffney, 2004; van der Pijl, 1982). Neste trabalho utilizaremos o termo “diásporo”, representando diferentes estruturas vegetais dispersas (van der Pijl, 1982).

As espécies estão onde as encontramos pois se moveram até lá através da dispersão (Begon; Townsend, 2023). A dispersão é o único processo ecológico que possibilita a movimentação de plantas até novos habitats, propiciando fuga de predadores e patógenos associados à planta mãe (Jordano *et al.*, 2011). Milhões de anos de interações mutualísticas e coevolução com animais contribuíram para diversificação das plantas (Jordano *et al.*, 2011; Tiffney, 2004). A zoocoria não se limita à interação entre plantas que produzem frutos carnosos e vertebrados, influenciando também a distribuição de plantas que apresentam diferentes tipos de diásporos (Green *et al.*, 2022). Darwin foi um dos primeiros naturalistas a investigar a dispersão por zoocoria. Após observar uma ave aquática, adornada por plantas aquáticas, ele deduziu que espécies restritas a ambientes isolados podem ter colonizado esses locais por meio da dispersão via animais (Darwin, 1913). Desde então grande parte dos estudos focou na interação entre vertebrados e plantas produtoras de frutos carnosos especialmente em florestas (Howe; Smallwood, 1982; Tiffney, 2004; van der Pijl, 1982). Entretanto, outros ecossistemas como as áreas úmidas, também dependem de processos de zoocoria (Green *et al.*, 2023).

Áreas úmidas estão entre os ecossistemas mais relevantes do planeta Terra (Ramsar, 2018). Sua elevada produtividade e serviços ecossistêmicos como ciclagem da água e nutrientes, sequestro de carbono, proteção de linha costeira e mitigação de enchentes são atributos vitais para a sobrevivência humana (Ramsar, 2018). Apesar da importância, as áreas úmidas vêm sofrendo forte impacto antrópico, tendo como principais consequências o desaparecimento e a

fragmentação de habitats, poluição e perda de biodiversidade (Junk *et al.*, 2013). De 1970 a 2015, mais de 35% das áreas úmidas globais foram degradadas, desaparecendo a uma taxa três vezes superior à das florestas (Ramsar, 2018). A alteração e fragmentação de áreas úmidas pode acarretar no isolamento de espécies com forte impacto em diferentes comunidades no sul do Brasil (Guadagnin; Maltchik; Fonseca, 2009; Moreira *et al.*, 2020; Rolon; Rocha; Maltchik, 2012). Pesquisadores têm estudado a influência de fatores ambientais e do uso do solo na distribuição de espécies aquáticas (Rolon; Homem; Maltchik, 2010; Trindade; Landeiro; Schneck, 2018). Nesse contexto, a dispersão emerge como um processo-chave para compreender a distribuição dessas espécies (Figueroa; Green, 2002; Green *et al.*, 2023; Van Leeuwen *et al.*, 2012).

Áreas úmidas do sul do Brasil são compostas predominantemente por vegetação herbácea (Rolon; Homem; Maltchik, 2010). Grande parte desta vegetação dispersa seus diásporos por meios abióticos ou não possui síndrome de dispersão específica (Lososová *et al.*, 2023; Soons *et al.*, 2017). Apesar disso, através da endozoocoria, vertebrados como as aves dispersam diversas plantas que ocorrem em áreas úmidas (Green *et al.*, 2023; Green *et al.*, 2016). Aves aquáticas são excelentes dispersores globais, pois vivem em bandos, apresentam ampla distribuição geográfica e grande capacidade de deslocamento (Green *et al.*, 2023; Green *et al.*, 2016). No sul do Brasil, estudos apontam que aves aquáticas são vetores de plantas inteiras (Silva *et al.*, 2018), sementes (Silva *et al.*, 2020), invertebrados (Barboza *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2021) e peixes (Silva *et al.*, 2019). Estudos sobre zoocoria em áreas úmidas tem focado na dispersão através das aves aquáticas (Green *et al.*, 2023; Green *et al.*, 2016). Entretanto outros animais, como mamíferos podem atuar como vetores (Flaherty *et al.*, 2017; Lee; Lee, 2020; Waterkeyn *et al.*, 2010), podendo ser altamente relevantes para dispersão da grande diversidade de plantas que ocorrem em áreas úmidas (Junk *et al.*, 2013; Rolon; Homem; Maltchik, 2010).

Mamíferos são importantes vetores em diferentes ecossistemas (Galetti *et al.*, 2001; Junges *et al.*, 2018; Lazure *et al.*, 2009; Lee; Lee, 2020; Varela; Bucher, 2006). Em áreas úmidas, podem dispersar distintas espécies de invertebrados e plantas (Flaherty *et al.*, 2017; Lee; Lee, 2020; Vanschoenwinkel *et al.*, 2011; Vanschoenwinkel *et al.*, 2008). Na savana africana, diversos táxons de invertebrados e algumas plantas que ocorrem em poças temporárias isoladas são dispersos por elefantes *Loxodonta africana* (Blumenbach, 1797) e outros mamíferos (Vanschoenwinkel *et al.*, 2011). No continente europeu, onde são invasores, o ratão-do-banhado *Myocastor coypus* (Molina, 1782) dispersa diversos invertebrados aquáticos aderidos aos pelos (Waterkeyn *et al.*, 2010). Além de epizoocoria, estudos apontam que roedores também podem ser relevantes dispersores através da endozoocoria (Horn *et al.*, 2007). Mamíferos carnívoros, como

as lontras, dispersam sementes de frutos consumidos oportunisticamente (Latorre *et al.*, 2022; Quadros; Monteiro-filho, 2000). Adicionalmente, ao predar um animal que atua como predador ou dispersor de sementes, os carnívoros podem realizar a dispersão de sementes por diploendozoocoria (Hämäläinen *et al.*, 2017). Neste sentido, mamíferos são vetores altamente eficazes, podendo, em alguns casos, ser até mais importantes no transporte de organismos aquáticos do que aves aquáticas (Vanschoenwinkel *et al.*, 2011). Entretanto apesar da relevância ecológica, a dispersão por mamíferos que ocorrem em áreas úmidas permanece pouco estudada.

Dentre os mamíferos que ocorrem nas áreas úmidas do sul do Brasil, a capivara *Hydrochoerus hydrochaeris* (Linnaeus, 1766) é uma espécie semiaquática de hábitos herbívoros, considerada o maior roedor do mundo (Borges; Colares, 2007; Mones; Ojasti, 1986). Indivíduos adultos consomem cerca de 3 kg de plantas por dia, preferindo se alimentar de espécies com maior valor proteico (Borges; Colares, 2007). Um estudo sobre hábitos alimentares de capivaras identificou que 87% da sua dieta provém de plantas aquáticas (Borges; Colares, 2007). As capivaras possuem hábitos gregários com grupos podendo chegar a mais de 100 indivíduos, vivendo associados a áreas úmidas (Garcias; Bager, 2009; Silva, 2014). O deslocamento diário das capivaras está em torno de 1 km, mas podendo variar a distância conforme a estação do ano (Azcarate, 1980). A presença de montículos de fezes, constituídos de pelotas cilíndricas, ligeiramente alongadas, com extremidade afilada e com coloração esverdeada quando frescas é uma evidência da presença da capivara (Silva, 2014).

Áreas úmidas Neotropicais apresentam outro mamífero roedor vetor de invertebrados em áreas úmidas europeias (Waterkeyn *et al.*, 2010). O ratão-do-banhado *M. coypus*, é uma espécie semiaquática Neotropical que possui hábitos herbívoros (Colares *et al.*, 2010). Ratões-do-banhado são grandes roedores que ocorrem no sul da América do Sul e possuem entre 40 e 60 cm de comprimento, com peso variando entre 5 e 9 kg (Waterkeyn *et al.*, 2010). Grande parte da dieta do ratão-do-banhado é composta por plantas aquáticas, possuindo preferência por plantas da família Poaceae (Colares *et al.*, 2010). Vivem associados a corpos d'água, preferencialmente onde o terreno oferece barrancos ou taipas onde escavam tocas para refúgio (Silva, 2014). Raramente se afastam mais de 10 m da água (D'adamo *et al.*, 2000; Nolfo-Clements, 2009). Em banhados caracterizados por grandes extensões de água, constroem seus refúgios sobre a vegetação com partes de juncos e capim, podendo formar grandes plataformas (Silva, 2014). Ratões-do-banhado podem ser detectados através de vestígios como trilhas, escavações e suas fezes cilíndricas, alongadas e esverdeadas (Silva, 2014).

Mamíferos carnívoros também ocorrem em áreas úmidas Neotropicais e podem ser relevantes para o processo de zoocoria nestes ecossistemas (Hämäläinen *et al.*, 2017; Latorre *et*

al., 2022; Quadros; Monteiro-filho, 2000). A lontra-neotropical *L. longicaudis*, é um Mustelídeo carnívoro que pode medir até 80 cm de comprimento, pesando até 14 kg (Weber; Roman; Cárceres, 2013). Este mamífero semiaquático ocorre em banhados, rios, estuários e lagos, utilizando preferencialmente ambientes aquáticos para o forrageio (Silva, 2014; Weber; Roman; Cárceres, 2013). Sua dieta consiste principalmente de peixes, crustáceos e moluscos, no entanto, pode consumir aves, mamíferos e insetos (Silva, 2014). No sul do Brasil, a lontra apresenta hábitos generalistas, sendo áreas úmidas a sua maior fonte de recursos (Carrasco *et al.*, 2019). Além disso, podem explorar recursos marinhos (Carrasco *et al.*, 2019) e se alimentar de frutos (Quadros; Monteiro-filho, 2000). A lontra abriga-se em barrancos, construindo tocas ou ocupando cavidades naturais, podendo ocupar a vegetação emaranhada e espinhosa das margens dos corpos d'água (Silva, 2014). Elas possuem hábitos solitários e marcam território através da deposição de fezes e muco anal (Silva, 2014; Weber; Roman; Cárceres, 2013). Ambiente com odor almiscarado que pode lembrar peixe, restos de ossos de vertebrados, especialmente espinhas de peixes, presença de escamas e fezes acinzentadas e pastosas indicam a presença de lontras (Mariano-Mendoza *et al.*, 2022).

Considerando o potencial de mamíferos como agentes de dispersão e a lacuna de conhecimento sobre este processo em áreas úmidas Neotropicais, o presente trabalho teve como objetivo descrever o papel de três espécies de mamíferos semiaquáticos (capivara, ratão-do-banhado e lontra-neotropical) como vetores de dispersão de plantas em áreas úmidas do sul do Brasil. Os objetivos específicos foram: 1. Caracterizar a abundância, riqueza e composição de diásporos encontrados em fezes de capivara, ratão-do-banhado e lontra; 2. Testar viabilidade de diásporos após a passagem pelo trato digestório das capivaras, ratões-do-banhado e lontras; 3. Comparar o potencial de dispersão entre capivaras e ratões-do-banhado; 4. Verificar o potencial de dispersão por diploendozooocoria por lontra-neotropical.

REFERÊNCIAS

- AZCARATE, T. Sociobiología y Manejo del Capibara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). **Acta Vertebrata**, v.7, n. 6, p. 1-228, 1980.
- BARBOZA, L. C.; SILVA, G. G.; GREEN, A. J.; MALTCHIK, L.; STENERT, C. Potential dispersal of aquatic snails by waterbird endozoochory in neotropical wetlands. **Biota Neotropica**, v. 22, n. 02, p. 1-5, 2022.
- BEGON, M., TOWSEND, C. R. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. Artmed. 2023.

BORGES, L. V.; COLARES, I. G. Feeding habits of capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus 1766), in the Ecological Reserve of Taim (ESEC - Taim) - south of Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, n. 3, p. 409-416, 2007.

CARRASCO, T. S.; BOTTA, S.; MACHADO, R.; SIMÕES-LOPES, P.C.; CARVALHO-JUNIOR, O.; OTT, P. H.; COLARES, E. P.; SECCHI, E. R. Isotopic niche of the Neotropical otter, *Lontra longicaudis* (Carnivora, Mustelidae), in different coastal aquatic systems in Southern Brazil. **Hydrobiologia**, v. 835, p. 83-100, 2019.

COLARES, I. G.; OLIVEIRA, R. N. V.; OLIVEIRA, R. M.; COLARES, E. P. Feeding habits of coypu (*Myocastor coypus* Molina 1978) in the wetlands of the Southern region of Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 82, n. 3, p. 671-678, 2010.

D'ADAMO, P.; GUICHON, M. L.; BÓ, R. F.; CASSINI, M. H. Habitat use of coypus (*Myocastor coypus*) in agro-systems of the Argentinean Pampas. **Acta Theriologica**, v. 1, p. 25-33, 2000.

DARWIN, C. **A origem das espécies**. Porto: Livraria Chardron, de Lello, 1913.

FIGUEROLA, J.; GREEN, A.J. Dispersal of aquatic organisms by waterbirds: a review of past research and priorities for future studies. **Freshwater Biology**, v. 47, p. 483-494, 2002.

FLAHERTY, K. L.; RENTCH, J. S.; ANDERSON, J. T. Wetland seed dispersal by white-tailed deer in a large freshwater wetland complex. **AoB Plants**, v. 10, n.1, plx074, 2017.

GALETTI, M.; KEUROGHIAN, A.; HANADA, L.; MORATO, M. I. Frugivory and seed dispersal by the lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in Southeast Brazil. **Biotropica**, v. 33, p. 723-726, 2001.

GARCIAS, M. F.; BAGER, A. Estrutura populacional de capivaras na Estação Ecológica do Taim, Brasil, RS. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p. 2441-2447, 2009.

GONZÁLEZ-VARO, J. P., LÓPEZ-BAO, J.V.; GUITIÁN, J. Seed dispersers help plants to escape global warming. **Oikos**, v. 126, n. 11, p. 1600-1606, 2017.

GREEN, A. J.; BALTZINGER, C.; LOVAS-KISS, Á. Plant dispersal syndromes are unreliable, especially for predicting zochory and long-distance dispersal. **Oikos**, v. 2022, n.2, p. 1-11, 2022.

GREEN, A. J.; LOVAS-KISS, A.; REYNOLDS, C.; SEBASTIÁN-GONZÁLEZ, E.; SILVA, G. G.; VAN LEEUWEN, C. A. H.; WILKINSON, D. M. Dispersal of aquatic and terrestrial organisms by waterbirds: A review of current knowledge and future priorities. **Freshwater Biology**, v. 68, p. 173-190, 2023.

GREEN, A. J.; SOONS, M.; BROCHET, A. L.; KLEYHEEG, E. Dispersal of plants by waterbirds. In: SEKERCIOLU, C. H.; WENNY, D. G.; WELAN, C. J. (eds.). **Why birds matter: Avian ecological function and ecosystem services**. University of Chicago Press. 2016.

GUADAGNIN, D. L.; MALTCHIK, L.; FONSECA, C. R. Species-area relationship of Neotropical waterbird assemblages in remnant wetlands: looking at the mechanisms. **Diversity and Distributions**, v. 15, p. 319-327, 2009.

HÄMÄLÄINEN, A., BROADLEY, K.; DROGHINI, A.; HAINES, J. A.; LAMB, C. T.; BOUTIN, S.; GILBERT, S. The ecological significance of secondary seed dispersal by carnivores. **Ecosphere**, v. 8, n. 2, e01685, 2017.

HORN, G. B.; KINDEL, A.; HARTZ, S. M. *Akodon montensis* (Thomas, 1913) (Muridae) as a disperser of endozoochoric seeds in a coastal swamp forest of southern Brazil. **Mammalian Biology**, v. 73, p. 325-329, 2007.

HOWE, F. H.; SMALLWOOD, J. Ecology of Seed Dispersal. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 13, p. 201-228, 1982.

JORDANO, P.; FORGET P. M.; LAMBERT J. E.; BÖHNING-GAESE, K.; TRAVESET, A.; WRIGHT, S. J. Frugivores and seed dispersal: mechanisms and consequences for biodiversity of a key ecological interaction. **Biology Letters**, v. 7, p. 321–323, 2011.

JUNGES, S.O.; CONSATTI, G.; PÉRICO, E.; BORDIGNON, S.A.L.; FREITAS, E.M.; CADEMARTORI, C.V. Endozoochory by *Didelphis albiventris* Lund, 1840 (Mammalia, Didelphimorphia) in a Semideciduous Seasonal Forest remnant in the South of Brazil. **Biota Neotropica**, v. 18, 2018.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, p. 5-22, 2013.

LATORRE, D., MERINO-AGUIRRE, R.; CRUZ, A; LANTERO, E.; ARROYO, A. M.; FLETCHER, D. H.; ALMEIDA, D. Ecological role of the Eurasian otter, *Lutra lutra* (Mustelidae, Carnivora) as a seed dispersal species for riparian vegetation in Iberian fresh waters. **Journal of Vertebrate Biology**, v. 71, p. 1-11, 2022.

LAZURE, L.; BACHAND, M.; ANSSEAU, C.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Fate of native and introduced seeds consumed by captive White-lipped and collared peccaries (*Tayassu peccari*, Link 1795 and *Pecari tajacu*, Linnaeus 1758) in the Atlantic rainforest, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. v. 70, n. 1, p. 47-53, 2010.

LEE, S.-K.; LEE, E.J. Internationally vulnerable Korean water deer (*Hydropotes inermis argyropus*) can act as an ecological filter by endozoochory. **Global Ecology and Conservation**, v. 24, e01360, 2020.

LOSOSOVÁ, Z.; AXMANOVÁ, I.; CHYTRÝ, M.; MIDOLO, G.; ABDULHAK, S.; KARGER, D. N.; RENAUD, J.; VAN ES, J.; VITTOZ, P.; THUILLER, W. Seed dispersal distance classes and dispersal modes for the European flora. **Global Ecology and Biogeography**, v. 32, n. 9, 1485-1494, 2023.

MARIANO-MENDOZA, V. G.; VÁZQUEZ-MALDONADO, L. E.; GALLO-REYNOSO, J. P.; DELGADO-ESTRELLA, A. D. Ecological aspects of the Neotropical otter, *Lontra longicaudis annectens* (Major, 1897), in La Lagartera Lagoon, Campeche, Mexico. **Hidrobiológica**, v. 32, n. 2, p. 93-103, 2022.

MATTHYSEN, E. Multicausality of dispersal: a review. In: CLOBERT, J.; BAGUETTE, M.; BENTON, T.G.; BULLOCK, J. M. (eds). **Dispersal Ecology and Evolution**. Oxford University Press, Oxford, USA: 3-18, 2012.

MONES, A.; OJASTI, J. *Hydrochoerus hydrochaeris*. **Mammalian Species**, v. 264, p. 1-7, 1986.

MOREIRA, L. F. B.; SILVA, J. B.; KNAUTH, D. S.; RIBEIRO, S.; MALTCHIK, L. Everyone has their limits: reproductive mode drives amphibian responses to land use in coastal areas. **Marine and Freshwater Research**, v. 72, p. 321-329, 2020.

NOLFO-CLEMENTS, L. E. Nutria Survivorship, Movement Patterns, and Home Ranges. **Southeastern Naturalist**, v. 3, p. 399-410, 2009.

QUADROS, J.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Fruit occurrence in the diet of the Neotropical Otter, *Lontra longicaudis* in southern Brazilian Atlantic Forest and its implication for seed dispersion. **Mastozoologia Neotropical**, v. 7, n. 1, p. 33-36, 2000.

RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS. **Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and their Services to People**. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat, 2018.

ROLON, A. S.; HOMEM, H. F.; MALTCHIK, L. Aquatic macrophytes in natural and managed wetlands of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 22, p. 133-146, 2010.

ROLON, A. S.; ROCHA O.; MALTCHIK, L. Do effects of landscape factors on coastal pond macrophyte communities depend on species traits? **Aquatic Botany**, v. 103, p. 115-121, 2012.

SILVA, F. **Mamíferos Silvestres Rio Grande do Sul**. Via Sapiens, p. 308, 2014.

SILVA, G. G., GREEN, A. J.; HOFFMAN, P.; WEBER, V.; STENERT, C.; LOVAS-KISS, A.; MALTCHIK, L. Seed dispersal by Neotropical waterfowl depends on bird species and seasonality. **Freshwater Biology**, v. 1, p. 78–88, 2020.

SILVA, G. G.; GREEN, A. J.; STENERT, C.; MALTCHIK, L. Invertebrate dispersal by waterbird species in Neotropical wetlands. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e250280, 2021.

SILVA, G. G.; GREEN, A. J.; WEBER, V.; HOFFMANN, P.; LOVAS-KISS, A.; STENERT, C.; MALTCHIK, L. Whole angiosperms *Wolffia columbiana* disperse by gut passage through wildfowl in South America. **Biology Letters**, v. 14, n. 12, 20180703, 2018.

SILVA, G. G.; WEBER, V.; GREEN, A. J.; HOFFMANN, P.; SILVA, V. S.; LANÉS, L. E. K.; STENERT, C.; REICHARD, M.; MALTCHIK, L. Killifish eggs can disperse via gut passage through waterfowl. **Ecology**, v. 100, n. 11, e02774, 2019.

SOONS, M. B.; DE GROOT, G. A.; RAMIREZ, M. T. C.; FRAAIJE, R. G. A.; VERHOEVEN, J. T. A.; DE JAGER, M. Directed dispersal by an abiotic vector: wetland plants disperse their seeds selectively to suitable sites along the hydrological gradient via water. **Functional Ecology**, v. 31, p. 499–508, 2017.

TIFFNEY, B. H. Vertebrate Dispersal of Seed Plants Through Time. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 35, p. 1-29, 2004.

TRINDADE; C. R. T.; LANDEIRO, V. L.; SCHNECK, F. Macrophyte functional groups elucidate the relative role of environmental and spatial factors on species richness and assemblage structure. **Hydrobiologia**, v. 823, p. 217-230, 2018.

VAN DER PIJL, L. **Principles of Dispersal in Higher Plants**. Springer: Berlin, Heidelberg, Germany, 1982.

VAN LEEUWEN, C. H. A.; VAN DER VELDE, G.; VAN GROENENDAEL, J. M.; KLAASSEN, M. Gut travellers: Internal dispersal of aquatic organisms by waterfowl. **Journal of Biogeography**, v. 39, p. 2031–2040, 2012.

VANSCHOENWINKEL, B.; WATERKEYN, A.; NHIWATINWA, T.; PINCEEL, T.; SPOOREN, E.; GEERTS, A.; CLEGG, B.; BRENDONCK, L. Passive external transport of freshwater invertebrates by elephant and other mud-wallowing mammals in an African savannah habitat. **Freshwater Biology**, v. 56, p. 1606-1619, 2011.

VANSCHOENWINKEL, B.; WATERKEYN, A.; VANDECAETSBECK, T.; PINEAU, O.; GRILLAS, P.; BRENDONCK, L. Dispersal of freshwater invertebrates by large terrestrial mammals: a case study with wild boar (*Sus scrofa*) in Mediterranean wetlands. **Freshwater Biology**, v. 53, p. 2264-2273, 2008.

VARELA, O.; BUCHER, E. H. Passage time, viability, and germination of seeds ingested by foxes. **Journal of Arid Environments**, v. 67, p. 566-578, 2006.

WATERKEYN, A.; PINEAU, O.; GRILLAS, P.; BRENDONCK, L. Invertebrate dispersal by aquatic mammals: a case study with nutria *Myocastor coypus* (Rodentia, Mammalia) in Southern France. **Hydrobiologia**, v. 654, p. 267–271, 2010.

WEBER, M., ROMAN, C.; CARLOS, N. **Mamíferos do Rio Grande do Sul**. UFSM, p. 556, 2013.

CAPÍTULO 1

Big rodents disperse small seeds in Neotropical wetlands

Manuscrito submetido para a revista *Journal of Ecology*

Normas de formatação:

<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/hub/journal/13652745/author-guidelines>

Big rodents disperse small seeds in Neotropical wetlands

Pedro Henrique de Oliveira Hoffmann^{1*}, Andressa Adolfo¹, Andy J. Green², Cristina Stenert¹, Giliandro Gonçalves Silva¹³, Vinicius Weber¹ and Leonardo Maltchik¹

¹Institute of Biological Sciences, Graduate Program in Biology of Continental Aquatic Environments (PPG-BAC), Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Avenida Itália, Km 8, Rio Grande, RS 96203-900, Brazil

²Department of Conservation Biology and Global Change, Estación Biológica de Doñana, EBD-CSIC, Américo Vespucio 26, Sevilla, Spain

³Universidade de Caxias do Sul – UCS. Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, Bloco 57 - Caxias do Sul – RS, Brasil.

Corresponding author: hoffmann.paleo@gmail.com

Abstract

1. The role of large frugivores in the dispersal of tropical trees has been well studied, whereas the importance of the world's largest rodents for plant dispersal has previously been ignored. We studied the plants dispersed by gut passage (endozoochory) in Neotropical wetlands by the largest extant rodent, the capybara. We compared it with another of the world's 10 largest rodents, the nutria or coypu.

2. We collected 96 faecal samples (50 capybara, 46 nutria) from 10 sites within the Taim Ramsar site in southern Brazil, and extracted intact diaspores from 10 g subsamples. Diaspores from 27 plant taxa (24 angiosperms, and three aquatic ferns) were recovered, representing 13 plant families. Whole *Spirodela* (duckweed) plants were dispersed. Diaspores from 14 angiosperm taxa were germinated in the laboratory.

3. Taxonomic composition of diaspores was significantly different for the two mammals, but diaspore size was not. Capybara dispersed more terrestrial diaspores per sample, and nutrias more aquatic diaspores. When total faecal production was taken into account, an estimated 1025 diaspores (133 from ferns) were dispersed by each capybara per day, compared to 691 diaspores for nutrias (566 from ferns). Capybaras have larger home ranges and likely dispersed plants over a greater distance. Rarefaction analysis suggests they disperse a greater taxonomic richness of plants.

4. *Synthesis* This is the first demonstration that rodents disperse aquatic pteridophytes as well as flowering plants. Our results suggest that capybaras and nutrias play important, complementary roles in dispersing a variety of aquatic and terrestrial plant species within Neotropical wetlands. Our study indicates that the role of herbivorous mammals as vectors of plants with small seeds and non-fleshy fruits has been overlooked in the neotropics, and that defaunation of large herbivores can have negative consequences, in a manner similar to that previously highlighted for frugivores.

Keywords: Dispersal, mammals, aquatic organisms, germination, ecology, plant dispersal, wetlands, endozoochory, pteridophytes

Introduction

Plants can disperse via a range of vectors, such as wind (anemochory), water (hydrochory), or animals (zoochory). Zoochory occurs when a diaspore is carried on the external part of an animal, on skin, feathers, or fur (epizoochory), or through the digestive system (endozoochory). Seed dispersal facilitates gene flow within and between plant populations (van der Pijl, 1982; Matthysen, 2012), and is fundamental for their regeneration and

persistence, including the rapid displacement of plant populations demanded by climate change (Nuñez et al., 2023).

Research into zochory has focused mainly on frugivorous vertebrates that disperse seeds found within a fleshy fruit (Green et al., 2022). This is particularly true in the neotropics, where studies of networks of interactions between frugivores and woody plants have given many insights into tropical ecology (Carlo et al., 2022; Souza et al., 2022). This focus is in line with assumptions that plant dispersal mechanisms can be predicted from diaspore morphology (Howe & Smallwood, 1982) and that only flowering plants with a fleshy fruit can be in the “endozoochory syndrome”, implying that endozoochory is exclusive to such plants (Green et al., 2022). This is the mechanism that provides the greatest dispersal distances (Bullock et al., 2017), and most plants with small seeds are assigned to abiotic syndromes that imply an inability to disperse more than 10m (Lososová et al., 2023).

Nevertheless, empirical studies of egesta from non-frugivorous vertebrates (e.g. herbivores) contradict the idea that plants can be readily divided into those that are “animal dispersed” and “abiotically dispersed”. Studies on ungulates and waterfowl show that both groups disperse a diversity of small-seeded, herbaceous plants by endozoochory (see Albert et al., 2015; Almeida et al., 2022; Green et al., 2022 for reviews). Herbivorous mammals dispersing diaspores can have mutualistic dispersal relationships with plants (Janzen, 1984, Jaroszewicz et al., 2023). By pooling diet data, Chen and Moles (2015) found evidence that larger mammals ingest smaller seeds, and seeds from more species of plants.

Herbaceous plants with small seeds represent a large fraction of Neotropical angiosperm species, and are dominant in Neotropical wetlands (Silva et al., 2021). Although wetland plants are typically assigned to abiotic syndromes (Julve, 1998; Lososová et al., 2023), empirical studies have shown that birds and mammals can disperse whole plants (Silva et al., 2018; Paolacci et al., 2023) and seeds (Flaherty et al., 2017; Silva et al., 2020) in and between

wetlands. Dispersal is key to maintaining the biodiversity of isolated wetland areas within the terrestrial matrix (Brown & Lomolino, 2006; Green et al., 2023).

The role of mammals in dispersal of wetland plants is understudied, particularly within the Neotropics. A role for Neotropical ungulates in endozoochory of small terrestrial seeds has been confirmed (Capece et al., 2013), but the only studies of seed dispersal by Neotropical rodents have addressed their importance as vectors of large seeds through scatter-hoarding (Mittelman et al., 2021), or of fleshy-fruited plants (Campos et al., 2008; Lessa et al., 2019). Our study aimed to compare plant dispersal in Neotropical wetlands by two of the world's largest rodents. We quantified the diaspores that passed through the digestive tract of the semiaquatic capybara *Hydrochoerus hydrochaeris* Linnaeus and nutria *Myocastor coypus* Molina, and analyzed their germination capacity. Given their herbivorous diets (Mones & Ojasti, 1986; Borges & Colares, 2007; Colares et al., 2010), we hypothesized that these two Neotropical mammals are vectors for wetland plants. We tested the hypothesis that they disperse different sets of plants, since the larger capybaras can reach to a greater height, and have more terrestrial habits, than nutrias. We also tested the hypotheses that the larger mammal would disperse smaller seeds, and seeds from more plant species (Chen & Moles, 2015).

Materials and Methods

Study Site

Field sampling was carried out at the Taim Ecological Station (ESEC Taim), a Ramsar site within the Brazilian Pampa biome, located within the largest complex of lakes in South America, encompassing the Mirim Lagoon, Mangueira Lagoon, Nicola Lagoon, and various smaller lagoons (Fig. 1; ICMBio, 2021). These wetlands feature extensive emergent macrophyte beds, dominated by *Zizaniopsis bonariensis* (Balansa & Poitr.) Speg.,

Schoenoplectus californicus (C.A.Mey.) Soják, and *Cyperus byssaceus* Pereira-Silva (ICMBio, 2021). Average annual temperature is 18°C, and relative air humidity is around 80% (Tucci et al., 1996). The climate is subtropical (Cfa; Köppen 1936), with annual precipitation of 1000 to 1500 mm (Tomazelli et al., 2000).

Study species

The capybara is the largest rodent species, with adults weighing about 50 kg (range 35–65 kg) (Mones & Ojasti, 1986; Borges & Corales, 2007) (Fig. 2, c). Adults consume approximately 3 kg of vegetation daily, with 87% of their diet comprising aquatic plants (Borges & Colares, 2007). Capybaras are gregarious, and groups of over 100 individuals can occur in wetlands (Garcias & Bager, 2009; Silva, 2014). The nutria (or “coypu”) inhabits southern South America, but has been extensively introduced into other continents. It weighs 5 to 9 kg (Waterkeyn et al., 2010; Ojeda et al., 2016) (Fig. 2, d) and feeds on aquatic plants, especially Poaceae (Colares et al., 2010). Nutrias are gregarious and reside near water bodies, especially where embankments or earthen walls allow burrow construction (Garcias & Bager 2009; Silva, 2014). Inside wetlands, they also construct large platforms of reeds and grasses (Silva, 2014) (Fig. 2, e).

In the Taim study area, over 100 capybaras occur, with an average group size of 11 individuals (Garcias & Bager, 2009). There are no population estimates of nutria, but we regularly observed groups of 2-5 individuals.

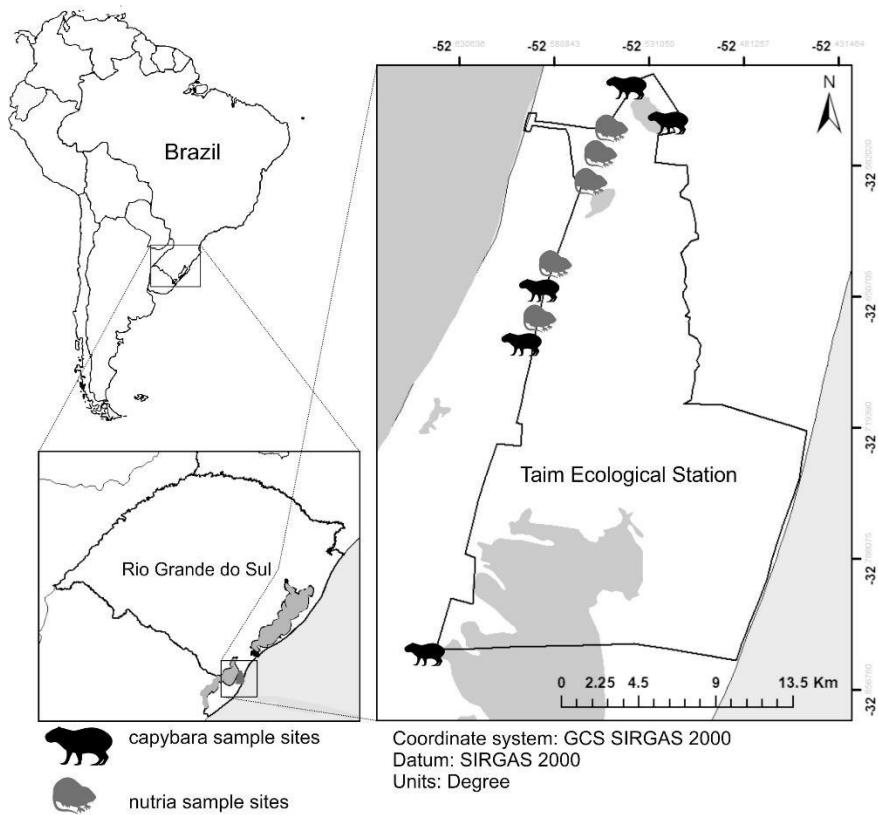


Figure 1. Study area with sites where capybara and nutria faeces were sampled at Taim Ecological Station

Field Methods

Fresh fecal samples (46 nutria, and 50 capybara) were collected from ten locations within ESEC Taim (five sites per species, Fig. 1) in June and August 2022. Only feces deposited on land and with no external contamination (seeds, leaves, etc) were collected. Faeces were located through active searching, collected using a spatula and then placed in an individual 50 ml falcon tube (for nutria) or 500 ml plastic pot (for capybara). Feces were identified by distinctive morphology. Nutria feces have characteristic greenish color and an elongated cylindrical pellet shape (Silva, 2014); capybara faeces are typically in mounds of oval or slightly cylindrical pellets (Silva, 2014) (Fig. 2, f and g). Owing to the difference in body size,

the total mass of faeces (wet weight) collected in each sample was greater for capybaras (mean 126.43 g, SE 6.5) than for nutrias (mean 16.29 g, SE 0.87).



Figure 2. Capybaras and nutrias in the study area, and their faeces. (a) group of 15 capybaras, (b) group of five nutrias feeding, (c) adult capybara, (d) adult nutria, (e) capybara (left) near a

nutria with her cub in the nest, (f) capybara feces, (g) nutria feces. Penknife (10.5 cm long) shown for scale.

Laboratory Methods

Samples were kept in the refrigerator ($\pm 4^{\circ}\text{C}$), then processed up to 12 weeks later (average 6 weeks for capybara, 8 weeks for nutria). For diaspore extraction, a subsample of 10 g of feces was weighed then washed under tap water on a stack of sieves (mesh of 1000 μm , 500 μm , and 53 μm). Remaining material was examined using a Bogorov chamber under a Zeiss Stemi 2000-C stereomicroscope. Intact diaspores (no cracks) were removed, identified, counted and then separated for germination tests. Diaspores were identified using Catian et al., (2021) and by a specialist from the Universidade Federal do Rio Grande herbarium (HURG). For each plant taxon recorded, we classified the substrate where they grow (from Flora e Funga do Brasil, 2023), their life form from Pedralli (1990) and Rolon et al., (2011), and the diaspore type as assigned in Baseflor (Julve, 1998). Substrate was considered “aquatic” (plants needing standing water to survive and propagate, even when rooted in soil), “terrestrial” (plants that survive without standing water), or “aquatic and terrestrial” (plants that can survive both substrates, or genera comprising both aquatic and terrestrial species). Diaspore size was measured using the Zeiss software ‘ZEN Microscopy’.

To assess germinability, individual diaspores were placed in mineral water in 2.0 ml microtubes, under controlled photoperiod (12 h light, 12 h darkness) and temperature ($24^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$). Germinations were identified twice weekly for 8 weeks. Once germinated, seedlings were transferred to a microplate containing sterilized substrate from the study area, and cultivated individually to avoid allelopathic interactions. The microplate was kept in an aquarium and watered with mineral water. Upon root establishment, seedlings were transferred to 430 ml plastic pots and grown to facilitate subsequent identification.

Among diaspores observed in feces, 944 were microsporangia, a structure containing microspores (male gametes) of the aquatic fern *Salvinia* and 12 were spores of *Marsilea* cf. *ancylopoda* (Catian et al., 2021). Microsporangia or spores are non-germinative male gametes, so we could not quantify their viability.

Data Analysis

Using generalized linear models, we analyzed differences among mammal species in taxonomic richness and abundance of diaspores, according to their substrate classification. We also compared the richness and abundance of all diaspores between mammal species. Abundance models were fitted with a negative binomial error distribution with ‘log’ link function, while richness models were fitted with a Poisson error distribution with ‘log’ link function. We also compared the size of diaspores dispersed by each mammal, with a model fitted with a Poisson error distribution. All models were run in R (R Core Team, 2022) using the functions 'glm.nb' and 'glm' of the lme4 package (Bates et al., 2015). Residuals were tested for overdispersion and zero-inflation using the 'testDispersion' and 'testZeroInflation' functions of DHARMa package (Hartig, 2022).

To evaluate sampling effects on taxon richness within faecal samples, we conducted a rarefaction analysis for each mammal species using the iNEXT package (Hsieh et al., 2016) in R. To assess variation in the community composition of diaspores dispersed by the two species, a principal coordinate analysis (PCoA) was performed, followed by an envfit analysis using the Bray-Curtis distance matrix and employing 999 permutations to validate the model significance. These analytical procedures, with the ordination plot, were executed in R using the ‘cmdscale’, ‘ordiplot’, and ‘envfit’ functions from the vegan package (Oksanen et al., 2022).

Indicator species analysis (IndVal) (Dufrêne & Legendre, 1997) was used to identify plant species whose dispersal probabilities differed significantly between mammal species. This methodology generates an indicator value based on the frequency and abundance of plant diaspores dispersed. Statistical significance of observed Indicator Values (IV) for each plant species were determined through 9,999 permutations in R, using the ‘multipatt’ function from the indicspecies package (De Cáceres & Legendre, 2009).

Results

A total of 1348 intact diaspores from 27 wetland plant taxa, belonging to 11 angiosperm families plus two fern families, were recovered from fecal samples of capybaras and nutrias (Table 1). One of these taxa is alien to Brazil *Stellaria media*, but considered naturalized (Flora e Funga do Brasil, 2023). Fourteen taxa are terrestrial plants, seven are aquatic and seven grow both in water and on land. All taxa occur in wetlands, but with different growth forms. Thirteen taxa are amphibious, six are emergent plants, three are fixed floating, four are free floating, and two have multiple growth forms (Table 1).

Capybara samples

Each 10 g capybara sample had a mean of 4.10 diaspores (SE 0.62). Of these, 13% were pteridophytes and 87% were angiosperms. Overall, 78% (39 of 50) of samples contained ≥ 1 diaspore, with a total of 160 diaspores from 18 different plant taxa from eight families (Table 1). Families with highest diaspore abundance were Juncaceae ($n=62$), Plantaginaceae ($n=44$), and Salviniaceae ($n=21$). The most abundant taxa were *Bacopa monnieri* ($n=44$) (Fig. 3, b), *Juncus cf. bufonius* ($n=41$), and *Salvinia* (microsporangia) ($n=21$).

Nutria samples

Each 10g nutria sample had a mean of 27.62 diaspores (SE 6.41). Of these, 82% were pteridophytes and 18% were angiosperms. Overall, 93% (43 of 46) of samples contained ≥ 1 diaspore, with a total of 1188 diaspores from 19 different plant taxa and 12 families. Furthermore, two intact individuals of *Spirodela intermedia*, a free-floating macrophyte, were found (Fig. 3, a). Families with the highest diaspore abundance were Salviniaceae (n=961), Plantaginaceae (n=82), and Cyperaceae (n=39). The most abundant taxa were *Salvinia* (microsporangia) (n=923), *Bacopa monnieri* (n=82), and *Cyperus odoratus* (n=34).

Comparing diaspores dispersed by the two mammals

In seven of eight models, the taxonomic richness or abundance of diaspores per sample varied significantly among mammal species, with differences according to plant substrate (Table S1, Fig. 4). Overall, nutrias dispersed a higher abundance of diaspores per sample, and a higher taxonomic richness per sample, than capybaras ($p < 0.001$). Regarding plants from different substrates, capybaras dispersed a higher abundance of terrestrial diaspores per sample ($p < 0.05$), while nutrias dispersed more aquatic diaspores ($p < 0.001$). There was no significant difference between mammal species in richness of terrestrial diaspores ($p > 0.05$), but nutria dispersed more aquatic taxa per sample ($p < 0.001$). Abundance and richness of aquatic diaspores per sample of plants that grow in both aquatic and terrestrial substrates were also significantly higher in nutrias ($p < 0.02$).

We found no significant difference in the size of diaspores in samples from capybara and nutria ($p > 0.05$) (Fig. 5). While the median indicated slightly bigger diaspores in the capybara samples, the largest diaspores were only recorded in the nutria samples (Fig. 5).

Rarefaction curves indicate that as sample size increases, plant species richness initially increases faster for nutrias, but reaches a plateau whilst richness is still increasing for

capybaras (Fig. 6). Hence, although there are more taxa per sample for nutria (see above), at large sample sizes the cumulative total of dispersed taxa is similar and potentially higher for capybara (Fig. 6).

Principal coordinate analysis indicated that the composition of dispersed diaspores differed significantly between capybaras and nutrias ($r^2 = 0.29$, $p < 0.05$). The total variation explained by the first two axes was 48.86% (axis 1 = 31.48%, axis 2 = 17.38%) (Fig. 7).

Of 27 taxa found in mammal feces, 11 were selected by indicator species analysis. *Juncus* cf. *capitatus* (IV = 0.318), *Juncus* cf. *biflorus* (IV = 0.267), and *Cyperus* cf. *brevifolius* (IV = 0.262) were associated with capybaras ($p < 0.05$). *Eclipta prostrata* (IV = 0.379), *Marsilea* cf. *ancylopoda* (IV = 0.369), *Salvinia* (microsporangia) (IV = 0.354), *Lolium* (IV = 0.287), *Salvinia* (megasporangia) (IV = 0.283), *Hydrocotyle* (IV = 0.261), *Azolla* (IV = 0.255) and *Cyperus odoratus* (IV = 0.219) were associated with nutria ($p < 0.05$) (Fig. 7). Note, that *Salvinia* was selected twice for two different diaspores.

Germinability of diaspores dispersed by endozoochory

Of 139 diaspores found in capybara feces with germination potential, 37 diaspores from 7 taxa germinated (27%; Table 2). Of 265 diaspores from nutria feces with germination potential, 38 from 11 taxa germinated (15%; Table 2). In total, 14 distinct taxa germinated (19% of those with germination potential), representing nine plant families (Table 1).

Table 1. Intact diaspores from capybara and nutria faeces, showing: substrate that plants grow on; life form: A = amphibious, E = emergent, FF = fixed floating and FL = free floating; total number of diaspores recovered; number of samples in which each taxon was recorded (NST); combined number of diaspores in samples (N diaspores); and maximum number of diaspores recorded in a single sample (Max. sample)

Family	Taxa	Substrate	Biologic form	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>			<i>Myocastor coypus</i>				
				Total	NST	Faeces (N = 39)	NST	Faeces (N = 43)	N	diaspore	Max.
Marsileaceae	<i>Marsilea cf. aencylopora</i> A.Braun ³	Aquatic	FF	12	-	-	-	11	12	2	
Salviniaceae	<i>Salvinia</i> Ség. ¹	Aquatic	FL	944	14	21	5	39	923	255	
	<i>Salvinia</i> Ség. ²	Aquatic	FL	23	-	-	-	10	23	6	
	<i>Azolla</i> Lam. ²	Aquatic	FL	15	-	-	-	8	15	5	
Amaranthaceae	<i>Alternanthera</i> Forssk.	Aquatic/ Terrestrial	E/ A	20	1	3	3	7	17	7	
	<i>Amaranthus</i> L.	Terrestrial	E	3	1	1	1	2	2	1	
Araceae	<i>Spirodela intermedia</i> W.Koch ⁴	Aquatic	FL	2	-	-	-	2	2	1	
Araliaceae	<i>Hydrocotyle</i> L.	Aquatic/ Terrestrial	A/E/FF	9	1	1	1	8	8	1	
Asteraceae	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	Aquatic/ Terrestrial	A	18	-	-	-	13	18	3	
Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Terrestrial	A	6	-	-	-	3	6	4	
Cyperaceae	<i>Cyperus cf. squarrosus</i> L.	Terrestrial	A	2	-	-	-	2	2	1	
	<i>Cyperus odoratus</i> L.	Aquatic/ Terrestrial	A	35	1	1	1	8	34	14	
	<i>Cyperus cf. brevifolius</i> (Rottb.) Endl. Ex Hassk.	Terrestrial	A	5	5	5	1	-	-	-	
	<i>Cyperus cf. iria</i> L.	Aquatic/ Terrestrial	A	1	1	1	1	-	-	-	
	<i>Cyperus</i> L.	Aquatic/ Terrestrial	A	2	2	2	1	-	-	-	
	<i>Eleocharis cf. maculosa</i> (Vahl) Roem. & Schult.	Aquatic	E	1	1	1	1	-	-	-	
	<i>Fimbristylis autumnalis</i> (L.) Roem. & Schult.	Terrestrial	A	6	2	3	2	3	3	1	
Juncaceae	<i>Juncus cf. capitatus</i> Weigel	Terrestrial	E	20	9	20	4	-	-	-	
	<i>Juncus cf. bufonius</i> L.	Terrestrial	E	41	10	41	12	-	-	-	
	<i>Juncus cf. tenuis</i> Willd.	Terrestrial	E	1	1	1	1	-	-	-	
Onagraceae	<i>Ludwigia leptocarpa</i> (Nutt.) H.Hara	Terrestrial	E	24	1	10	10	4	14	6	
	<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H.Raven	Aquatic	FF	7	-	-	-	5	7	3	
Poaceae	<i>Eragrostis hypnoides</i> (Lam.) Britton, Sterns & Poggenb.	Terrestrial	A	5	2	2	1	3	3	1	
	<i>Eragrostis</i> Wolf	Terrestrial	A	2	2	2	1	-	-	-	
	<i>Cynodon</i> Rich.	Terrestrial	A	3	1	1	1	2	2	1	
	<i>Lolium</i> L.	Terrestrial	A	14	-	-	-	9	14	4	
Plantaginaceae	<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Pennell	Aquatic/ Terrestrial	FF	126	17	44	5	10	82	26	
Urticaceae	<i>Boehmeria cylindrica</i> (L.) Sw.	Terrestrial	A	1	-	-	-	1	1	1	

¹Microsporangia, ²Megasporangia, ³Spore, ⁴Whole plant

Table 2. Details of germination of diaspores recovered from faecal samples from capybara and nutria. In bold are those taxa that show diaspores that do not have germination potential

Plant family	Plant taxa	Length (mm)	Diaspore type	Total diaspores	Total germinated	capybara		nutria	
						n diaspores	n germinated	n diaspores	n germinated
Marsileaceae	<i>Marsilea cf. aencylopoada A.Braun</i> ³	0.64 ± 0.003	spore	12	-	-	-	12	-
Salviniaceae	<i>Salvinia</i> Ség.	0.23 ± 0.01	microsporangia	944	-	21	-	923	-
	<i>Salvinia</i> Ség.	0.40 ± 0.008	megasporangia	23	-	-	-	23	-
	<i>Azolla</i> Lam.	0.56 ± 0.02	megasporangia	15	-	-	-	15	-
Amaranthaceae	<i>Alternanthera</i> Forssk.	1.01	seed	20	2	3	1	17	1
	<i>Amaranthus</i> L.	1.16 ± 0.04	pyxis	3	3	1	1	2	2
Araceae	<i>Spirodela intermedia</i> W.Koch ⁴	4.52	whole plant	2	-	-	-	2	-
Araliaceae	<i>Hydrocotyle</i> L.	2.94	achene	9	1	1	-	8	1
Asteraceae	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	2.00 ± 0.06	achene	18	1	-	-	18	1
Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	1.73 ± 0.59	capsule	6	-	-	-	6	-
Cyperaceae	<i>Cyperus cf. squarrosus</i> L.	0.76	achene	2	-	-	-	2	-
	<i>Cyperus odoratus</i> L.	1.86 ± 0.10	achene	35	7	1	-	34	7
	<i>Cyperus cf. brevifolius</i> (Rottb.) Endl. Ex Hassk.	1.24 ± 0.03	achene	5	1	5	1	-	-
	<i>Cyperus cf. iria</i> L.	1.58	achene	1	-	1	-	-	-
	<i>Cyperus</i> L.	1.09	achene	2	-	2	-	-	-
	<i>Eleocharis cf. maculosa</i> (Vahl) Roem. & Schult.	1.11	achene	1	-	1	-	-	-
	<i>Fimbristylis autumnalis</i> (L.) Roem. & Schult.	0.77	achene	6	2	3	1	3	1
Juncaceae	<i>Juncus cf. capitatus</i> Weigel	0.49 ± 0.008	capsule	20	14	20	14	-	-
	<i>Juncus cf. bufonius</i> L.	0.47 ± 0.03	capsule	41	17	41	17	-	-
	<i>Juncus cf. tenuis</i> Willd.	1.46	capsule	1	-	1	-	-	-
Onagraceae	<i>Ludwigia leptocarpa</i> (Nutt.) H.Hara	1.05	capsule	24	5	10	-	14	5
	<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H.Raven	2.79	capsule	7	-	-	-	7	-
Poaceae	<i>Eragrostis hypnoides</i> (Lam.) Britton, Sterns & Poggenb.	0.55 ± 0.02	caryopse	5	1	2	-	3	1
	<i>Eragrostis</i> Wolf	0.80	caryopse	2	-	2	-	-	-
	<i>Cynodon</i> Rich.	1.43	caryopse	3	-	1	-	2	-

	<i>Lolium</i> L.	1.95 ± 0.16	caryopse	14	10	-	-	14	10
Plantaginaceae	<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Pennell	0.65 ± 0.03	capsule	126	10	44	2	82	8
Urticaceae	<i>Boehmeria cylindrica</i> (L.) Sw.	0.97	achene	1	1	-	-	1	1

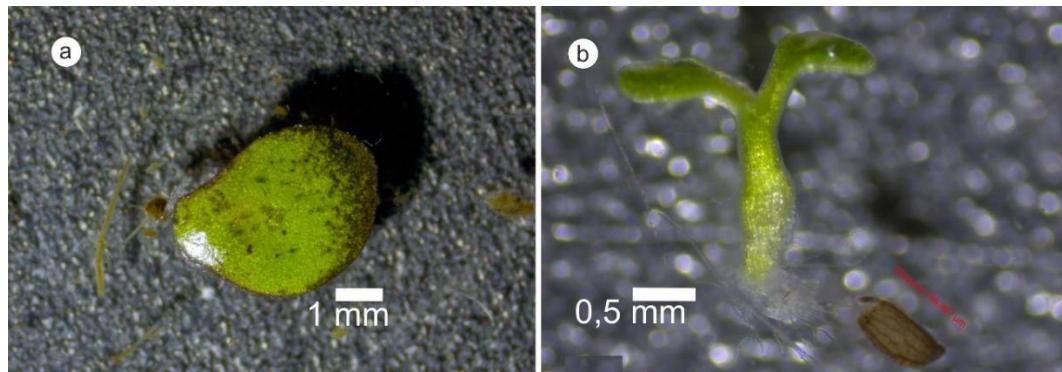


Figure 3. Aquatic plants dispersed by capybara and nutria. (a) *Spirodela intermedia* recovered from nutria feces, (b) *Bacopa monnieri* seedling after germination from the capsule previously recovered from rodent feces

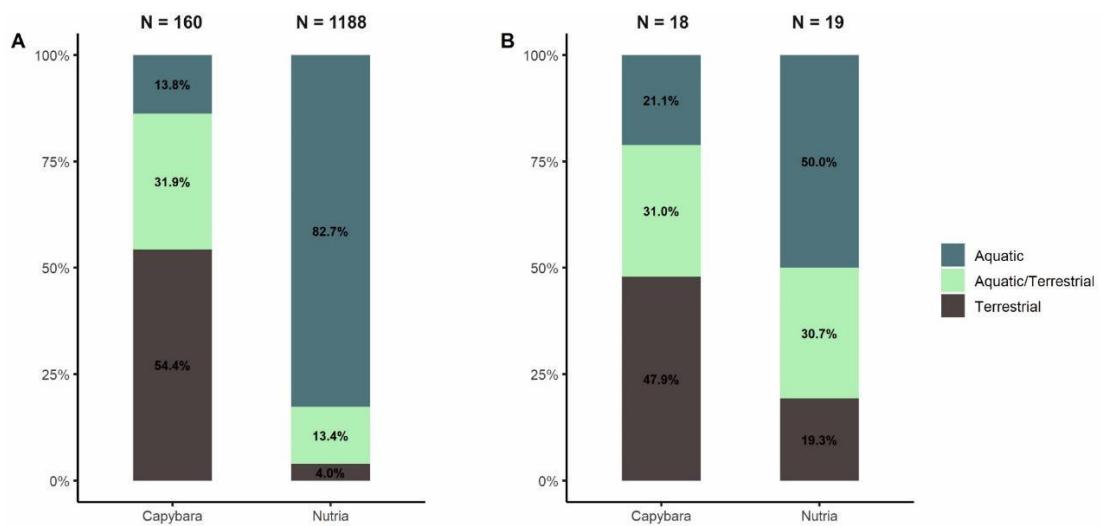


Figure 4. Relative abundance and taxonomic richness of recovered diaspores in capybara and nutria samples. (a) total abundance of diaspores (N=number of intact diaspores), (b) total richness of diaspores (N= plant taxa)

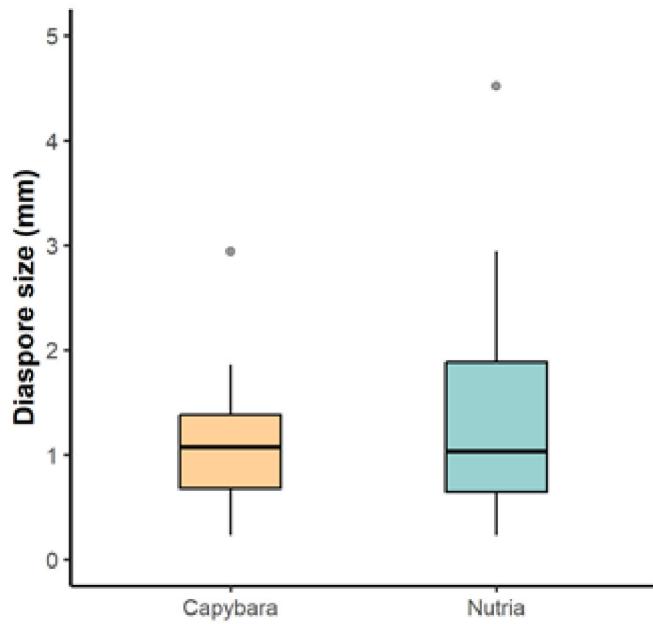


Figure 5. Size of diaspores found in capybara and nutria faeces samples. Boxes represent the range of quartiles Q2 and Q3 separated by the median (bold horizontal lines). Vertical lines indicate the limits for Q1 and Q4, while the dots represent outliers

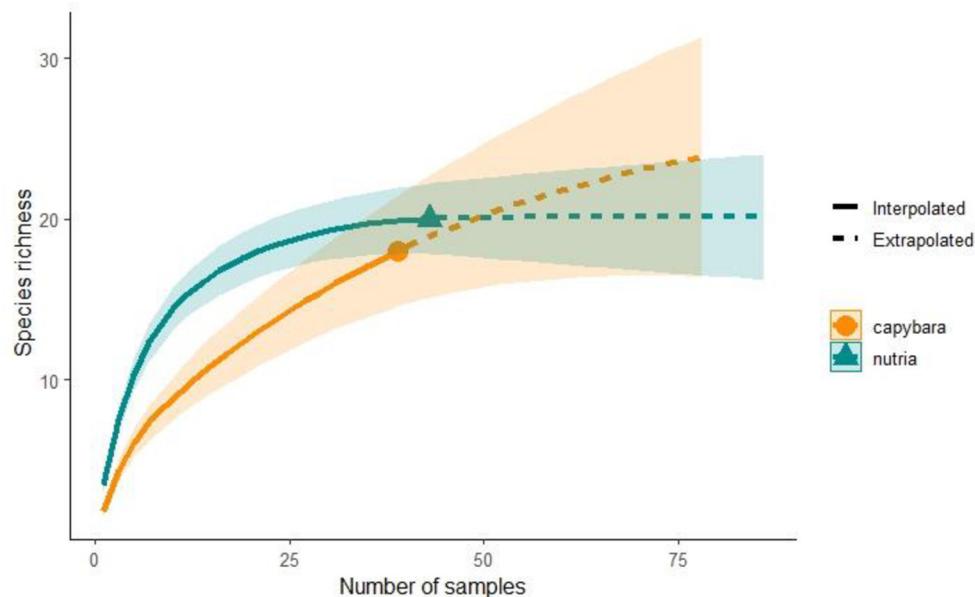


Figure 6. Rarefaction analyses showing the accumulated number of plant taxa recorded in faeces of capybara and nutria, in relation to number of samples. Error bars represent 95% confidence intervals

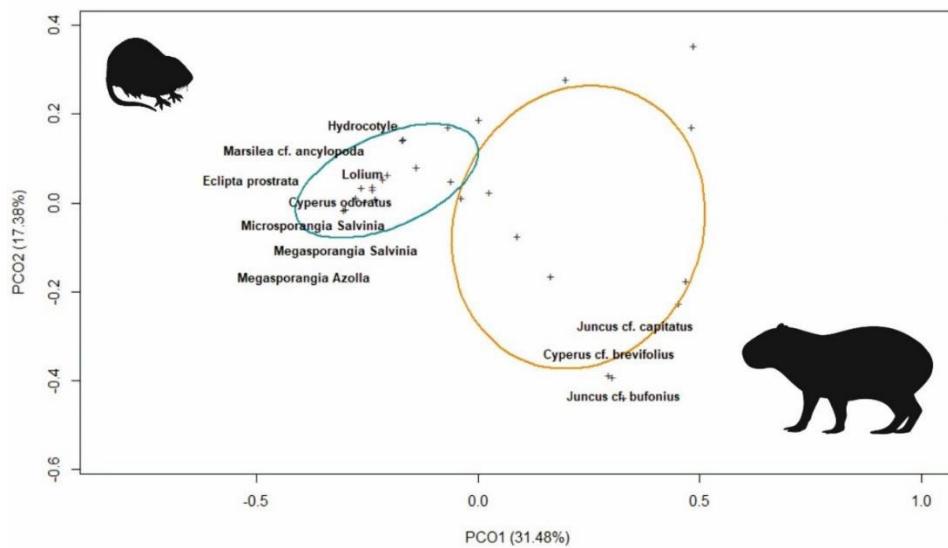


Figure 7. Ordination of taxonomic composition of dispersed diaspores and their variation among capybara (orange ellipse) and nutria (turquoise ellipse). Crosses (+) represent plant taxa. Plant taxa named are those selected in indicator species analysis. The mammal silhouettes are downloaded from: phylopic.org, *Myocastor coypus* by Mattia Menchetti and *Hydrochoerus hydrochaeris* by Skye McDavid

Discussion

We found that capybaras and nutrias disperse an abundance and diversity of plants in Neotropical wetlands, through endozoochory. These were pteridophytes and angiosperms with relatively small seeds and non-fleshy fruits, and ours represents the first demonstration that Neotropical rodents are important vectors for such plants. At least 27 distinct wetland plant taxa were dispersed, growing in water and/or moist soils (Pedralli, 1990; Flora e Funga do Brasil, 2023). The two large rodents had complementary roles, dispersing a different set of wetland plants. These rodents may be important for generating and maintaining plant distributions in the study area, with its high diversity of wetland plants and dense concentration of isolated wetland patches (Maltchik et al., 2003; Rolon & Maltchik, 2006).

How and why are diaspores ingested by big rodents?

We expect that the great majority of angiosperm diaspores dispersed were ingested directly from the mother plants during herbivory, as would be consistent both with plant height (Flora e Funga do Brasil, 2023) and the “foliage is the fruit” hypothesis in which plant foliage attracts herbivores, and is ingested together with seeds (Janzen, 1984; Jaroszewicz et al., 2023). For example, both rodents dispersed an abundance of *Bacopa monnieri* capsules, and this plant has a small fruit full of capsules at the top of the plant (Flora e Funga do Brasil, 2023). Likewise, *Juncus cf. bufonius* and *Cyperus odoratus* have large quantities of small, diaspores in the upper part of the plant, surrounding by leaves in the case of *C. odoratus*. When tested, 27% of diaspores dispersed by capybaras and 15% of those dispersed by nutrias germinated. Taxa with high germination percentages had small, durable, hard seeds, arranged with foliage or retained by plant vegetative parts. Many of the ungerminated seeds were likely to be viable but dormant (Espinar et al., 2023).

Both capybara and nutrias dispersed diaspores of the aquatic fern *Salvinia*. *Salvinia* can reproduce sexually and asexually, and sexual diaspores of *Salvinia* are commonly dispersed and fertilized in water (Gałka & Szmeja, 2013). Rodents can ingest these diaspores by drinking, or eating *Salvinia* plants, in the reproductive period. An outlier in nutria samples (255 microsporangia in one sample) suggests that one reproductive plant was ingested when full of microsporangia. Our study underlines the importance of endozoochory by herbivorous mammals for dispersal of pteridophytes (Arosa et al., 2010) as well as angiosperms. To our knowledge, this is the first demonstration of mammalian endozoochory for aquatic pteridophytes, which was also demonstrated for waterbirds (Lovas-Kiss et al., 2017). Despite being abundant in the study area (ICMBio, 2021), we did not record diaspores of the species *Zizaniopsis bonariensis*, *Schoenoplectus californicus*, and *Cyperus byssaceus*. *Z. bonariensis* has been shown to be dispersed by waterbird endozoochory (Silva et al., 2021)

and to be part of the rodent's diet, so with more sampling effort this is one of many species that may be recorded in future rodent faecal analysis (Borges & Colares, 2007).

Schoenoplectus californicus can reach 200 cm in height (Silveira, 2020), and its diaspores may be out of reach even for capybara, which can reach 62 cm in height (Mones & Ojasti 1986). Both rodents have been reported to prefer feeding on Poaceae (Borges & Colares 2007, Colares et al., 2010), whose diaspores were present in low numbers in our samples. Diaspores of Cyperaceae, Juncaceae and Plantaginaceae for example were all more abundant, these also being families dispersed repeatedly by waterbirds (Silva et al. 2021, Almeida et al., 2022).

How far are diaspores dispersed, and where to?

We have confirmed rodent endozoochory for many angiosperm species, none of which would be assigned an “endozoochory syndrome” since they lack a fleshy-fruit. Although no comprehensive morphological dispersal syndrome database exists for Neotropical herbaceous plants, they would likely be assigned to hydrochory, unassisted or other abiotic syndromes, or else to an epizoochory syndrome. None of these syndromes successfully predict the endozoochory or epizoochory mechanisms for ungulates (Green et al., 2022). Although most individual seeds for wetland plants in our study area may disperse by abiotic vectors such as water (Soons et al., 2017), those seeds carried in rodent guts are likely to have longer dispersal distances, and to move between isolated patches. Gut passage is also likely to increase germinability in many species (van Leeuwen et al., 2023).

Although we did not collect fecal samples found in water to avoid contamination, nutrias and capybaras tend to defecate in water, usually when swimming or floating (Piccinini et al., 1971; Gosling, 1979). This habit may increase establishment success, and hence dispersal quality, for diaspores of aquatic plants (van Leeuwen et al., 2022). It is also favourable for dispersal of whole-plants (Silva et al., 2018; Paolacci et al., 2023) such as an the entire free-

floating *Spirodela intermedia* recovered from nutria feces (Fig. 6, a). Duckweeds are part of diet of both rodents (Borgnia et al., 2000; Guichón et al., 2003; Moreira et al., 2013). Larger mammals generally have larger home ranges, and retain diaspores for longer in their guts, increasing seed dispersal distance in larger species (Galetti et al., 2017; Souza et al., 2022). This is partly why defaunation of larger species has a major impact on dispersal services (Galetti et al., 2017; Pires et al., 2018; Souza et al., 2022). Gut retention time for capybara can reach 72 h (Ojasti, 1973 apud Moreira et al., 2013) and about 45 h for nutria (Sakaguchi and Nabata, 1992; Hagen et al., 2018).

Capybaras move greater distances from water, facilitating the dispersal of terrestrial as well as aquatic plants but also numerous terrestrial plant species. The home ranges of capybara vary considerably between study areas, with a maximum of 200 ha (Corriale et al. 2013, Campos-Krauer et al. 2014). Daily average displacement has been recorded as around 1 km, with seasonal differences (Azcarate 1980). Nutrias spend more time close to the water, rarely straying more than 10 meters away (D'adamo et al., 2000; Nolfo-Clements, 2009). In the alien range they can show daily movements of up to 260.3 m (SE = 74.18) (Milholland et al., 2010). In their native range, nutrias had a mean home range of 28.8 ha (Nolfo-Clements 2012), with a mean of 43 ha in their alien range (Banjade et al. 2023). Their more extensive movement suggests capybaras provide greater maximum dispersal distances for diaspores. The amount of feces that both rodent's produces depend mainly on the diet composition and the daily intake (Moreira et al., 2013; Hagen et al., 2018). Larger capybaras also produce more faeces, and our 10 g samples are a small proportion of their daily output. Capybaras have a similar digestive system to sheep (Moreira et al., 2013), suggesting they produce 5% of their body mass in feces day⁻¹ (Ogejo et al., 2013) equivalent to 2,500 g of feces day⁻¹ (wet weight). In captivity, nutrias produce around of 70 g of feces day⁻¹ (wet weight) from a diet of carrots and pellets (Gosling, 1979), but we expect they would produce more faeces when

feeding on foliage in the wild. Based on their body size, we expect they may produce roughly 10% of the faecal mass produced by capybara (i.e., 250 g day⁻¹) Extrapolating from our samples on the basis of these two estimates, each capybara would disperse an estimated 1,025 diaspores day⁻¹ (892 of which were from angiosperms and 133 were pteridophytes) compared to only 691 diaspores day⁻¹ for nutrias (125 of which were from angiosperms and 566 were pteridophytes). This suggests that capybaras are particularly important as vectors of flowering plants, and nutrias as vectors for pteridophytes.

Different roles for two vectors

Habitat preference, feeding habits, and mammal size can influence the richness and composition of dispersed diaspores (Karimi et al., 2020). Our analyses suggested that capybaras were relatively more important as vectors of terrestrial flowering plants, and nutrias as vectors of aquatic and amphibious (i.e., rooted on land or in water) plants (especially ferns). The composition of diaspores dispersed by capybaras and nutrias were different, and 11 plant taxa were identified as indicators of one vector or the other, suggesting the two species complement each other in the zochory process in Neotropical wetlands, as observed with mammal vectors in other regions (Karimi et al., 2020).

Contrary to Chen & Moles (2015), we found no evidence to suggest that larger herbivores ingest and disperse smaller seeds. However, their study was based on an analysis of data from global literature without controlling for geographical variation. Furthermore, mammalian body size explained little variation, and the negative correlation between body size and seed size was driven by ungulate interactions. Our study suggests that seed size is not influential in differences between coexisting rodents. Chen & Moles (2015) also found evidence that larger mammals disperse seeds from more plant species. On the basis of 10g samples, we found the opposite result, with nutrias dispersing more species. However, we can estimate than a nutria

produces 25 such samples a day, compared to 250 for a capybara (see above). Our rarefaction analysis (Fig. 3) would then suggest that, on average, an individual capybara may indeed disperse more plant species each day than a nutria.

The broader significance of Neotropical herbivores as plant vectors

Prehistoric defaunation of larger, frugivorous mammals in the neotropics is considered to have had major impacts on the dispersal of tropical trees (Galetti et al., 2017; Pires et al., 2018). Our study suggests that defaunation of herbivorous mammals may also have had serious implications for the dispersal of plants with small seeds and lacking a fleshy fruit, especially given the manner in which larger mammals disperse seeds over greater distances. One example of such an extinction would be the loss of the *Neochoerus* sp., a Quaternary mega-rodent of approximately 200 kg in body mass (Ghizzoni, 2014). Across millennia, vertebrates have engaged in plant dispersal interactions, particularly significant among large mammals like glyptodonts, proboscideans, and bovids, which probably played a pivotal role in dispersing plants across wetlands (Janzen, 1984).

Future research is needed to improve our understanding of the role of other extant herbivorous mammals as plant vectors in Neotropical wetlands. This includes ungulates, which in other parts of the world deer have been shown to disperse seeds of aquatic and herbaceous plants between isolated wetlands (Flaherty et al., 2017; Lee & Lee, 2020). In Europe, the role of rodents (rabbits and other lagomorphs) as plant vectors of terrestrial plants lacking a fleshy fruit via endozoochory complements that of ungulates (Cosyns et al., 2005; Eycott et al., 2007). The role of herbivorous mammals in Neotropical wetlands should also be compared with that of waterbirds (Green et al., 2023; Silva et al., 2020).

Rodents can also be expected to disperse seeds in their fur by epizoochory, as demonstrated in ungulates (Albert et al., 2015). When possible, epizoochory should be studied in capybaras

and nutrias. Nutrias in their introduced range in France disperse aquatic invertebrates in their fur (Waterkeyn et al., 2010). However, the high rates of endozoochory we recorded suggest this may be the more important dispersal mechanism for our study species.

Research into zochory in the neotropics has to date focused principally on frugivores in tropical forests. This study shows the importance of conducting more research into the role of herbivores in other Neotropical habitats. Our investigation highlights the major contribution of herbivorous mammals in the dispersal of aquatic plants within Neotropical wetland regions. In this regard, both species emerge as significant dispersers of plants within and between Neotropical wetland areas through their digestive tracts, contributing to the establishment and maintenance of aquatic plant communities in these habitats.

References

- Albert, A., A. G. Auffret, E. Cosyns, S. A. O. Cousins, B. D'hondt, C. Eichberg, A. E. Eycott, t. Heinken , M. Hoffmann, B. Jaroszewicz, J. E. Malo, A. Mårell, M. Mouissie, R. J. Pakeman, M. Picard, J. Plue, P. Poschlod, S. Provoost, K. A. Schulze and C. Baltzinger. 2015. Seed dispersal by ungulates as an ecological filter: a trait-based meta-analysis. *Oikos*, 10.1111/oik.02512
- Almeida, B.A., Lukács, B.A., Lovas-Kiss, A., Reynolds, C., Green, A.J. 2022. Functional traits drive dispersal interactions between European waterfowl and seeds. *Frontiers in Plant Science* 12: 795288 <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.795288>
- Arosa, M. L., Ramos, J. A., Quintanilla, D., & Brown, L. G. 2010. First report of fern (*Culcita macrocarpa*) spore consumption by a small mammal (*Apodemus sylvaticus*). *Mammalian Biology*, 75:115–121. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2009.05.009>

- Banjade, M., Adhikari, P., Hong, S. H., & Lee, D. H. 2023. Radio Tracking Reveals the Home Range and Activity Patterns of Nutria (*Myocastor coypus*) in the Macdo Wetland in South Korea. *Animals*, 13(10), 1716.
- Borges, L. V. and I. G. Colares. 2007. Feeding habits of capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus 1766), in the Ecological Reserve of Taim (ESEC - Taim) - south of Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 3:409-416.
- Borgnia, M., M. L. Galante, and M. H. Cassini. 2000. Diet of the coypu (nutria, *Myocastor coypus*) in Agro-systems of Argentinean Pampas. *Journal of Wildlife Management*, 2:354-361.
- Brown, J. H. and M. V. Lomolino. 2006. Biogeografia. Pages 261-293. Funpec, Ribeirão Preto, Brazil.
- Bullock, J. M., Gonzalez, L. M., Tamme, R., Gotzenberger, L., White, S. M., Partel, M., & Hooftman, D. A. P. 2017. A synthesis of empirical plant dispersal kernels. *Journal of Ecology*, 1: 6–19. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12666>
- Campos, C. M., Peco, B., Campos, V. E., Malo, J. E., Giannoni, S. M., and Suarez, F. 2008. Endozoochory by native and exotic herbivores in dry areas: consequences for germination and survival of *Prosopis* seeds. *Seed Sci. Res.* 18, 91–100.
doi:10.1017/S0960258508940344.
- Campos-Krauer, J. M., Wisely, S. M., Benitez, I. K., Robles, V., and Golightly, R. T. 2014. Rango de Hogar y uso de Hábitat de Carpinchos en Pastizales recién invadido en el Chaco Seco de Paraguay. *Therya* 5, 61–79. doi: 10.12933/therya-14-177.
- Capece, P. I., Aliaga-Rossel, E., and Jansen, P. A. 2013. Viability of small seeds found in feces of the Central American tapir on Barro Colorado Island, Panama. *Integr. Zool.* 8, 57–62. doi:10.1111/j.1749-4877.2012.00313.x.

- Carlo, T. A., P. H. S. A. Camargo and M. A. Pizo. 2022. Functional ecology of Neotropical frugivorous birds. *Ornithology Research*. <https://doi.org/10.1007/s43388-022-00093-2>
- Catian, G., G. T. Lima, V. S. Fabiano, V. M. Gonçalves and E. Scremen-Dias. 2021. A guide to identification of diaspores of the main macrophytes in the Pantanal. *Phytotaxa*, 3:205-232. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.487.3.3>
- Chen, S.-C., and Moles, A. T. 2015. A mammoth mouthful? A test of the idea that larger animals ingest larger seeds. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 24, 1269–1280. doi:10.1111/geb.12346.
- Corriale, M. J., Muschetto, E., and Herrera, E. A. 2013. Influence of group sizes and food resources in home-range sizes of capybaras from Argentina. *J. Mammal.* 94, 19–28. doi: 10.1644/12-MAMM-A-030.1.
- Cosyns, E., Delporte, A., Lens, L., and Hoffmann, M. 2005. Germination success of temperate grassland species after passage through ungulate and rabbit guts. *J. Ecol.* 93, 353–361.
- D'adamo, P.M. Guichon,R. F. Bó, and M. H. Cassini. 2000. Habitat use of coypus (*Myocastor coypus*) in agro-systems of the Argentinean Pampas. *Acta Theriologica*, 1:25-33.
- De Cáceres, M.D. and Legendre, P. 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90: 3566-3574. <https://doi.org/10.1890/08-1823.1>
- Dufrêne, M., and P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 3:345–366. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1997\)067\[0345:SAAIST\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAAIST]2.0.CO;2)
- Espinar, J.L., Figuerola, J., Green, A.J. 2023. Long term impacts of endozoochory and salinity on germination of wetland plants, after entering simulated seed banks. *Frontiers in Plant Science* 14:1275622 doi:10.3389/fpls.2023.1275622

Eycott, A. E., Watkinson, A. R., Hemami, M. R., and Dolman, P. M. 2007. The dispersal of vascular plants in a forest mosaic by a guild of mammalian herbivores. *Oecologia* 154, 107–118.

Flaherty, K. L., J. S. Rentch, J. T. Anderson. 2017. Wetland seed dispersal by white-tailed deer in a large freshwater wetland complex. *AoB Plants*, 10(1): plx074.

Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available from: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. accessed 16 October 2023.

Gałka, A., J. Szmeja. 2013. Phenology of the aquatic fer *Salvinia natans* (L.) All. In the Vistula Delta in the context of climate warming. *Limnologica*, 43:100-105.

Galetti, M. M. Moleón, P. Jordano, M. M. Pires, P. R. Guimarães Jr, T. Pape, E. Nichols, D. Hansen, J. M. Olesen, M. Munk, J. S. de Matos, A. H. Schweiger, N. Owen-Smith, C. N. Johnson, R. J. Marquis and J. Svenning. 2017. Ecological and evolutionary legacy of megafauna extinctions. *Biological Reviews*, 000 doi:10.1111/brv.12374

Garcia, M. F. and A. Bager. 2009. Estrutura populacional de capivaras na Estação Ecológica do Taim, Brasil, RS. *Ciência Rural*, 8:2441-2447.

Ghizzoni, M. 2014. Estimación de la masa corporal de un ejemplar cuaternario del carpincho extinto *Neochoerus* a través de medidas cráneo-dentales. *Revista Brasileira de Paleontología*. 1:83-90.

Green, A. J., A. Lovas-Kiss, C. Reynolds, E. Sebastián-González, G. G. Silva, C. A. H. van Leeuwen and D. M. Wilkinson. 2023. Dispersal of aquatic and terrestrial organisms by waterbirds: A review of current knowledge and future priorities. *Freshwater Biology*, 68:173-190.

Green, A. J., Baltzinger, C., & Lovas-Kiss, Á. 2022. Plant dispersal syndromes are unreliable, especially for predicting zochory and long-distance dispersal. *Oikos*, 2022, e08327.
<https://doi.org/10.1111/oik.08327>

- Gosling. L. M. 1979. The twenty-four hour activity cycle of captive coypus (*Myocastor coypus*). *J. Zoo., Lond.* 187:341-367.
- Guichón, M. L., V. B. Benítez, A. Abba, M. Borgnia, M. H. Cassini. 2003. Foraging behavior of coypus Myocastor coypus: why do coypus consume aquatic plants? *ACTA Oecologica*, 24:241-246.
- Hartig, F. 2022. _DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level/ Mixed) Regression Models_. R package version 0.4.6, <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>.
- Hagen, K. B., S. Frei, S. Ortmann, R. Głogowski, M. Kreuzer and M. Clauss. 2018. Digestive efficiency, digesta passage, resting metabolism and methane production in captive juvenile nutria (*Myocastor coypus*). *European Journal of Wildlife Research*, 62:2. doi.org/10.1007/s10344-018-1239-1
- Howe, F. H., and J. Smallwood. 1982. Ecology of Seed Dispersal. Annual Review of *Ecology and Systematics*, 13:201-228.
- Hsieh, T.C., Ma, K.H. and Chao, A. 2016. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). 2021. Plano de Manejo da Estação Ecológica do Taim. Brasília.
- Janzen, D. H. 1984. Dispersal of Small Seeds by Big Herbivores: Foliage is the Fruit. *The American Naturalist*, 123:338-353.
- Jaroszewicz, B., Coissac, E., Taberlet, P., Czajkowska, M., Świsłocka, M., Kowalczyk, R., et al. 2023. Is endozoochoric seed dispersal by large herbivores an evolutionary adaptation? Revisiting the Janzen's 'Foliage is the fruit' hypothesis. *Acta Oecologica* 118, 103888. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actao.2022.103888>.

Julve, P. 1998. Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France.

Available from: <<http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm>>, accessed 16

October 2023.

Karimi, S., M. Hemami, M. T. Esfahani and C. Baltzinger. 2020. Endozoochorous dispersal by herbivores and omnivores is mediated by germination conditions. *BMC Ecology*, 20:49
<https://doi.org/10.1186/s12898-020-00317-3>

Kööppen, W., 1936. Das geographische System der klimate – Handbuch der Klimatologie, Vol. 1, Part C, Gebr. Bornträger Verlag, Berlin.

Lee, S.-K., Lee, E.J. 2020. Internationally vulnerable Korean water deer (*Hydropotes inermis argyropus*) can act as an ecological filter by endozoochory. *Global Ecology and Conservation*. 24: e01360.

Lessa, L. G., Paula, C. S., & Pessoa, R. S. 2019. Food habits and endozoochorous seed dispersal by small rodents (Cricetidae and Echimyidae) in a riparian forest in southeastern Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, 3: 349-359.

Lososová, Z., Axmanová, I., Chytrý, M., Midolo, G., Abdulhak, S., Karger, D. N., et al. 2023. Seed dispersal distance classes and dispersal modes for the European flora. *Glob. Ecol. Biogeogr.* n/a. doi:<https://doi.org/10.1111/geb.13712>.

Lovas-Kiss, A., B. Vizi, O. Vincze, A. Molnár V. and A. J. Green. 2017. Endozoochory of aquatic ferns and angiosperms by mallards in Central Europe. *Journal of Ecology*. 106:1714–1723. DOI: 10.1111/1365-2745.12913

Matthysen, E, 2012. Multicausality of dispersal: a review. In: Clobert, J., M. Baguette, T. G. Benton & J. M. Bullock (eds). *Dispersal Ecology and Evolution*. Oxford University Press, Oxford, USA: 3-18.

Maltchik, L., E. S. Costa, C. G. Becker, and A. E. Oliveira. 2003. Inventory of wetlands of Rio Grande do Sul (Brazil). *Pesquisas: Botânica*, 53:89-100.

- Mittelman, P., Draxler, C. M., Santos-Coutinho, P. R. O., and Pires, A. S. 2021. Sowing forests: a synthesis of seed dispersal and predation by agoutis and their influence on plant communities. *Biol. Rev.* 96, 2425–2445. doi:<https://doi.org/10.1111/brv.12761>.
- Moreira, J. R., K. M. P.M.B. Ferraz, E. A. Herrera, and D. W. Macdonald. 2013. Capybara: Biology, Use and Conservation of an Exceptional Neotropical Species. *Springer*. New York Heidelberg Dordrecht London, 978-1-4614-4000-0
- Mones, A., J. Ojasti. 1986. *Hydrochoerus hydrochaeris*. Mammalian Species, 264:1-7.
- Nolfo-Clements, L. E. 2009. Nutria Survivorship, Movement Patterns, and Home Ranges. *Southeastern Naturalist*, 3:399-410.dx.doi.org/10.1656/058.008.0303
- Nuñez, T. A., Prugh, L. R., & Hille Ris Lambers, J. 2023. Animal-mediated plant niche tracking in a changing climate. *Trends in Ecology & Evolution*.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.02.005>
- Ojeda, R., Bidau, C. & Emmons, L. 2016. *Myocastor coypus* (errata version published in 2017). *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016. Available from:
<https://www.iucnredlist.org/species/14085/121734257> Accessed on 05 October 2023.
- Oksanen J, G. Simpson, F. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. Minchin, R. O'Hara, P. Solymos, M. Stevens, E. Szoechs, H. Wagner, M. Barbour, M. Bedward, B. Bolker, D. Borcard, G. Carvalho, M. Chirico, M. De Caceres, S. Durand, H. Evangelista, R. FitzJohn, M. Friendly, B. Furneaux, G. Hannigan, M. Hill, L. Lahti, D. McGlinn, M. Ouellette, E. Ribeiro Cunha, T. Smith, A. Stier, C. Ter Braak, J. Weedon. 2022. _vegan: Community Ecology Package. R package version 2.6-4,<<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>>.
- Paolacci, S., M. A. K. Jansen, V. Stejskal, T. C. Kelly and N. E. Coughlan. 2023. Metabolically active angiosperms survive passage through the digestive tract of a large-bodied waterbird. *Royal Society Open Science*, 3: 230090.

Pedralli, G. 1990. Macrófitos aquáticos: técnicas e métodos de estudos. *Estudos de Biologia* 26: 5-24.

Piccinini, R. S., W. G. Vale and F. W. R. Gomes. 1971. Criadouros artificiais de animais silvestres. SUDAM, Belém, Brazil.

Pires, M. M., P. R. Guimarães Jr, M. Galetti and P. Jordano. 2018. Pleistocene megafaunal extinctions and the functional loss of long-distance seed-dispersal services. *Ecography*, 41:153-163.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Rolon, A. S. and L. Maltchik. 2006. Environmental factors as predictors of aquatic macrophyte richness and composition in wetlands of Southern Brazil. *Hydrobiologia*, 1:221-231.

Rolon, A. S., O. Rocha and L. Maltchik. 2011. Diversity of aquatic macrophytes in the Lagoa do Peixe National Park. *Neotropical Biology and Conservation*. 1:5-12.

Sakaguchi, E. and A. Nabata. 1992. Comparison of fibre digestion and digesta retention time between nutrias (*Myocaster coypus*) and guinea-pigs (*Cavia porcellus*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 103A:601-604.

Silveira, F. F. 2020. Flora Campestre. Laboratório de Estudos em Vegetação Campestre - UFRGS. Available from: <<https://www.ufrgs.br/floracampestre/schoenoplectuscalifornicus/>> accessed 16 October 2023.

Silva, F. 2014. Mamíferos Silvestres Rio Grande do Sul. Via Sapiens, Porto Alegre, Brazil.

Silva, G. G., A. J. Green, C. Stenert and L. Maltchik. 2021. Invertebrate dispersal by waterbird species in Neotropical wetlands. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e250280.

Silva, G. G., A. J. Green, P. Hoffman, V. Weber, C. Stenert, A. Lovas-Kiss and L. Maltchik.

2020. Seed dispersal by Neotropical waterfowl depends on bird species and seasonality.

Freshwater Biology, 1:78–88.

Silva, G. G., A. J. Green, V. Weber, P. Hoffmann, A. Lovas-Kiss, C. Stenert and L.

Maltchik. 2018. Whole angiosperms *Wolffia columbiana* disperse by gut passage through wildfowl in South America. *Biology Letters*, 14:20180703.

Soons, M. B., de Groot, G. A., Ramirez, M. T. C., Fraaije, R. G. A., Verhoeven, J. T. A., and de Jager, M. 2017. Directed dispersal by an abiotic vector: wetland plants disperse their seeds selectively to suitable sites along the hydrological gradient via water. *Funct. Ecol.* 31, 499–508. doi:10.1111/1365-2435.12771.

Souza, Y., N. Villar, V. Zipparro, S. Nazareth, M. Gletti. 2022. Large mammalian herbivores modulate plant growth form diversity in a tropical rainforest. *Journal of Ecology*, 00:1-15.

DOI: 10.1111/1365-2745.13846

Tomazelli, L. J., S. R. Dillenburg, and J. A. Villwock. 2000. Late Quaternary Geological History of Rio Grande do Sul Coastal Plain, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 3:474-476.

Tucci, C.E.M., Louzada, J.A., Motta Marques, D.M.L., Leão, M.I., Mediondo, E.M. Silva, A.M. 1996. Comportamento hidrológico do banhado do Taim. Porto Alegre.

van Leeuwen, C.H.A., Villar, N., Mendoza, I., Green, A.J., Bakker, E.S., Soons, M.B.,

Galetti, M., Jansen, P., Nolet, B.A. Santamaría, L. 2022. Seed Dispersal Effectiveness framework across the mutualism-antagonism continuum. *Oikos* e09254 DOI:

10.1111/oik.09254

van Leeuwen, C.H.A., Soons, M.B., Vandionant, L.G.V.T.I., Green, A.J., Bakker, E.S. 2023. Seed dispersal by waterbirds: a mechanistic understanding by simulating avian digestion.

Ecography. e06470 doi: 10.1111/ecog.06470

van der Pijl L. 1982. Principles of Dispersal in Higher Plants. *Springer*, Berlin, Heidelberg, Germany.

Waterkeyn, A., O. Pineau, P. Grillas and L. Brendonck. 2010. Invertebrate dispersal by aquatic mammals: a case study with nutria *Myocastor coypus* (Rodentia, Mammalia) in Southern France. *Hydrobiologia*, 654:267–271.

Acknowledgments

PHOH is grateful to the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) for a master's degree scholarship (proc. no. 88887.686236/2022-00). AA is grateful to CAPES for the doctoral scholarship (proc. no. 88887.841668/2023-00). AJG was supported the Ministerio de Ciencia e Innovación WaterZoo project (PID2020-112774GB-I00 / AEI / 10.13039/501100011033). LM holds a research productivity grant from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (grant no. 307455/2021-1). We extend our sincere gratitude to Dr. Caroline Igansi HURG technician who helped us to identify some plant taxa and provided related literature.

Author contributions

Pedro H. O. Hoffmann and Leonardo Maltchik conceived and designed the study. Pedro H. O. Hoffmann, Andressa Adolfo, and Vinicius Weber conducted the sample collection in the field. Pedro H. O. Hoffmann conducted the laboratory procedures with the collaboration of Vinicius Weber. Pedro H. O. Hoffmann took the photos and prepared images. Andressa Adolfo and Pedro H. O. Hoffmann analyzed the data. Pedro H. O. Hoffmann, Andressa Adolfo, Cristina Stenert, Giliandro G. Silva, Vinicius Weber, and Leonardo Maltchik wrote the first draft. Pedro H. O. Hoffmann, Andressa Adolfo, and Andy J. Green wrote the final version of the manuscript. Andy J. Green gave critical input and contributed significantly to the writing of the manuscript. Leonardo Maltchik coordinated the research. All authors read and approved the manuscript.

CAPÍTULO 2

Dispersão de sementes por lontra-neotropical no extremo sul do Brasil

Manuscrito a ser submetido para a revista *Freshwater Biology*

Normas de formatação:

<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/13652427/homepage/forauthors.html>

Dispersão de sementes por lontra-neotropical no extremo sul do Brasil

Pedro Henrique de Oliveira Hoffmann^{1*}, Andressa Adolfo¹, and Leonardo Maltchik¹

¹Institute of Biological Sciences, Graduate Program in Biology of Continental Aquatic Environments (PPG-BAC), Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Avenida Itália, Km 8, Rio Grande, RS 96203-900, Brazil

Corresponding author: hoffmann.paleo@gmail.com

Resumo

1. Mamíferos carnívoros podem realizar dispersão de sementes por endozoocoria e diploendozoocoria. A lontra é um carnívoro semiaquático, com hábitos generalistas, podendo predar diferentes classes de vertebrados, consumir frutos e dispersar sementes (endozoocoria). Entretanto o seu papel como dispersor secundário (diploendozoocoria) permanece desconhecido. Aqui, nós investigamos os processos de endozoocoria e diploendozoocoria através da lontra-neotropical em um sistema de áreas úmidas no extremo sul do Brasil.
2. Coletamos 31 amostras de excrementos da lontra-neotropical em um ambiente de áreas úmidas na ESEC Taim, um sítio Ramsar brasileiro de relevância global. Cada amostra foi processada sob água corrente com conjunto de peneiras, diásporos intactos foram separados e incubados para os testes de germinação. Posteriormente as amostras foram secas em estufa, pesadas e processadas a fim de identificar as principais classes de vertebrados predados pelas lontras. Usamos Modelos Lineares Generalizados para verificar a influência do peso dos excrementos na riqueza de diásporos de plantas encontrados nas amostras. Utilizamos Modelos Lineares Generalizados para verificar a influência da predação de diferentes classes de vertebrados na riqueza e abundância total de diásporos, bem como na riqueza e abundância

de diásporos relacionados ao substrato terrestre, aquático e que podem ocorrer em ambos substratos.

3. Nós registramos 1206 diásporos pertencentes a 33 táxons distintos (uma alga-verde, quatro pteridófitas e 28 angiospermas) representando 18 famílias de plantas, incluindo algumas macrófitas aquáticas inteiras. Após a incubação sete diásporos de seis táxons distintos de plantas germinaram. A massa (peso seco) dos excrementos das lontras influencia significativamente a riqueza de diásporos. A abundância de diásporos foi diferente entre amostras de lontras que predaram uma, duas ou mais classes de vertebrados, mas a riqueza não foi significativa. Lontras que predaram mais de duas classes de vertebrados dispersaram uma maior abundância de diásporos aquáticos. Através da produção fecal estimamos que a lontra-neotropical pode dispersar ao longo de um ano cerca de 188.237,8 diásporos (sendo 774,24 algas-verdes, 132.831 pteridófitas e 54.632,48 angiospermas). Lontras possuem uma ampla área de vida podendo se deslocar diariamente vários quilômetros e interligar diferentes sistemas aquáticos, como rios, poças e lagoas, favorecendo a dispersão de plantas nestes habitats.

4. *Síntese* Este é o primeiro estudo sobre dispersão de pteridófitas aquáticas, algas-verdes e angiospermas por lontras. Nossos resultados sugerem que as lontras desempenham um papel importante na dispersão de diversas plantas de áreas úmidas, contribuindo para a manutenção desses ecossistemas, e propiciando a movimentação das plantas entre habitats. Este estudo traz dados relevantes que reforçam a importância de mamíferos carnívoros na manutenção de diferentes ecossistemas aquáticos.

Introdução

A dispersão é uma peça-chave em nosso planeta, envolvendo o deslocamento de espécies desde o local de nascimento até o de reprodução (Green et al., 2023; Matthysen, 2012). Esse processo propicia fluxo gênico dentro e entre populações além da contínua colonização de espécies em diversos habitats (Matthysen, 2012; van der Pijl, 1982). Embora as plantas de áreas úmidas geralmente sejam dispersas por água ou vento (Soons et al., 2017), também dependem de animais, como aves e mamíferos, para a disseminação de seus diásporos (Green et al., 2023; Latorre et al., 2022). Nesse contexto, os vertebrados desempenham um papel crucial, podendo ser mais eficazes do que vetores abióticos em processos de dispersão a longas distâncias (Bullock et al., 2017).

A dispersão por animais (zoocoria) ocorre quando o vetor transporta os diásporos aderidos no pelo, pele ou penas (epizoochoria), ou através do trato digestivo ao consumir frutos ou partes vegetais com diásporos (Green et al., 2023; Matthysen, 2012). Desta maneira podem transportar diásporos e plantas inteiras de ambientes aquáticos através da matriz terrestre (Green et al., 2023; Paolacci et al., 2023; Silva et al., 2018). A zoocoria propicia o deslocamento das plantas até novos habitats, reduzindo a competição intraespecífica e aumentando as chances de escaparem de predadores e patógenos associados à planta mãe (Jordano et al., 2011). Além disso, contribui para a adaptação das populações frente às alterações ambientais do Antropoceno (McConkey et al., 2012; Nuñez et al., 2023).

Mamíferos carnívoros ao consumirem grandes quantidades de frutos desempenham um papel significativo na dispersão de sementes (Dellafiore et al., 2020; Jordano et al., 2007; Reis et al., 2023). Lontras, consomem frutos oportunisticamente complementando sua alimentação durante períodos de escassez de recursos (Almeida et al., 2012b; Quadros et al., 2000). Essa estratégia resulta na dispersão de sementes, como registrado para lontra-neotropical *Lontra*

longicaudis Olfers na Mata Atlântica (Quadros et al., 2000) e para lontra-euroasiática *Lutra lutra* Linnaeus na Península Ibérica (Latorre et al., 2022). Embora a endozoocoria não seja exclusiva de plantas com frutos carnosos (Green et al., 2022), estudos na região Neotropical têm se concentrado principalmente na relação entre vertebrados e plantas com frutos carnosos, evidenciando lacunas de estudos em sistemas como áreas úmidas (Galetti et al., 2017; Janzen & Martin, 1982; Pires et al., 2018; Souza et al., 2022).

Carnívoros também podem realizar dispersão secundária de sementes, predando um dispersor primário ou predador de sementes (Rubalcava-Castillo et al., 2023; Sarasola et al., 2016). Esse processo, denominado diploendozoocoria, envolve a ação sequencial de um ou mais agentes dispersores. Por exemplo, quando um carnívoro predá um herbíboro/ frugívoro ou predador de sementes, posteriormente excretando as sementes que foram consumidas pela sua presa (Hämäläinen et al., 2017). Darwin foi o primeiro naturalista a investigar a diploendozoocoria através de aves rapinantes (Darwin 1913). Desde então, alguns estudos investigaram este processo através de aves (Lovas-Kiss et al., 2018; Silva, 2023) e mamíferos carnívoros (Rubalcava-Castillo et al., 2023; Sarasola et al., 2016). Mamíferos terrestres como felinos dispersam sementes ingeridas por pombos (Sarasola et al., 2016) e lebres (Rubalcava-Castillo et al., 2023). Entretanto, não existem dados sobre diploendozoochoria através de carnívoros semiaquáticos, tais como as lontras.

A lontra-neotropical é um mustelídeo carnívoro que pode medir até 80 cm de comprimento e pesar até 14 kg (Weber et al., 2013). Apresenta membranas interdigitais, corpo fusiforme e alongado, em função destas e outras adaptações ao ambiente aquático, as lontras são consideradas mamíferos semiaquáticos (Silva, 2014; Weber et al., 2013). A lontra-neotropical corre em banhados, rios, estuários e lagos, utilizando preferencialmente ambientes aquáticos para forrageio (Silva, 2014; Weber et al., 2013). A base da dieta da lontra-neotropical são

peixes, crustáceos e moluscos, entretanto, consomem também répteis, aves, mamíferos e insetos (Silva, 2014). No sul do Brasil, as lontras apresentam hábitos generalistas, as áreas úmidas são sua principal fonte de recursos, mas também podem explorar recursos derivados de ambientes marinhos (Carrasco et al., 2019).

A característica de predador oportunista e ampla área de vida são atributos que podem favorecer a dispersão de sementes por lontra-neotropical (Almeida et al., 2012b; Almeida et al., 2012b; Carrasco et al., 2019; Hämäläinen et al., 2017). Processos de dispersão são altamente relevantes, especialmente em locais como a planície costeira do sul do Brasil, que apresenta grande concentração de áreas úmidas (Maltchik et al., 2003) e alta diversidade de macrófitas (Rolon & Maltchik, 2006). O objetivo deste trabalho foi descrever o potencial de dispersão de sementes via endozooocoria e ou diploendozooocoria por lontra-neotropical no extremo sul do Brasil. Assumindo o comportamento oportunista das lontras e seu hábito alimentar generalista (Almeida et al., 2012b; Almeida et al., 2012b; Carrasco et al., 2019; Silva, 2014; Weber et al., 2013), nós levantamos as seguintes perguntas: 1. A lontra-neotropical dispersa sementes em áreas úmidas costeiras? 2. As sementes encontradas em excrementos de lontra-neotropical são viáveis e germinam após a passagem pelo trato digestivo? 3. A abundância e riqueza de diásporos dispersos por lontras variam em função da quantidade de classes de vertebrados predados?

Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na Estação Ecológica do Taim (ESEC Taim), um sítio Ramsar brasileiro que protege mais de 30.000 ha de vastas áreas úmidas, lagoas, campos, dunas, matas e praias (Fig. 1; ICMBio, 2021). A ESEC Taim está situada no maior complexo de

lagos da América do Sul, abrangendo a Lagoa Mirim, Lagoa Mangueira, Lagoa Nicola e várias lagoas menores caracterizadas por uma elevada riqueza de macrófitas e cerca de 1% de mata paludosa (ICMBio, 2021). Na região, existe um canal artificial de drenagem construído na década de 70, para construção da rodovia que interliga o Brasil ao Uruguai. Este canal está sob influência de áreas úmidas adjacentes e das lagoas Nicola, Jacaré e Mangueira (Fig. 2). A temperatura média anual é de 18°C, e a umidade relativa do ar é em torno de 80% (Tucci et al., 1996). O clima é subtropical (Cfa; Koöppen 1936), com precipitação anual variando de 1000 a 1500 mm (Tomazelli et al., 2000).

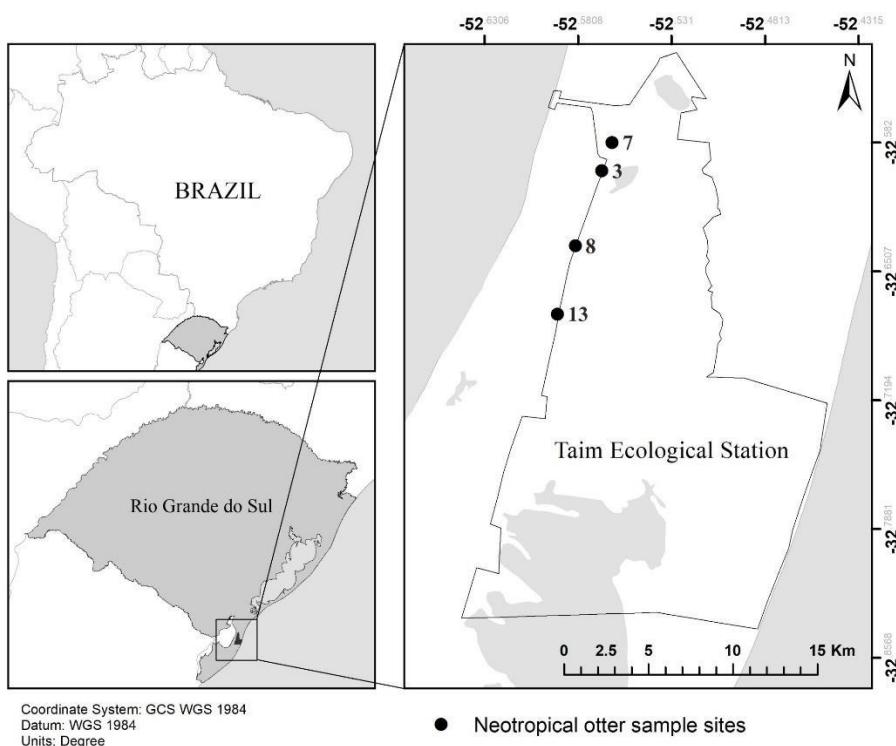


Figura 1. Área de estudo na Estação Ecológica do Taim. Os pontos indicam locais onde as amostras de excremento de lontra-neotropical foram coletadas. Os números ao lado dos pontos correspondem a quantidade de amostras coletadas em cada local

Metodologia de campo

Coletamos 31 amostras de excrementos de lontra-neotropical em quatro locais distintos ao longo das margens do canal da ESEC Taim entre junho e agosto de 2022. Em cada local de amostragem encontramos no máximo 13 e no mínimo 3 amostras de excrementos (Fig. 1). Os excrementos foram localizados através de busca ativa. Primeiramente localizamos as latrinas, locais conspícuos onde as lontras costumam depositar seus excrementos e muco anal (Fig. 2). As latrinas compõem uma característica social importante para as lontras, indicando um local para forrageio e comunicação (Almeida et al., 2012a). Estes locais apresentam características específicas tais como odor, presença de restos alimentares (escamas, espinhas, crânios) e excrementos característicos (Silva 2014; Weber et al., 2013). Durante as coletas, buscou-se limitar ao máximo a interferência dos pesquisadores com o intuito de evitar distúrbios ou alterações nestes locais. Apenas excrementos frescos e sem contaminação externa (folhas, sementes, etc.) foram coletados. Excrementos frescos apresentam consistência macia, não desagregada ou farelenta, por vezes pastosa e úmida, de coloração verde escura a preta e odor almiscarado (Mariano-Mendoza et al., 2022; Fig. 2). Apenas a porção superior de cada excremento foi coletada para minimizar a contaminação com o substrato onde o material estava depositado. Em seguida cada amostra foi depositada em potes plásticos de 500 ml.



Figura 2. Canal onde as amostras foram coletadas na Estação Ecológica do Taim, extremo sul do Brasil. No detalhe, excremento de lontra-neotropical, escala em cm

Metodologia laboratorial

No laboratório, as amostras foram mantidas na geladeira ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) e processadas até 3 semanas após a coleta. Para remoção dos diásporos, as amostras foram segregadas individualmente com auxílio de um conjunto de peneiras (malhas 2000 mm, 1000 mm, 500 mm e 53 μm) sob água corrente. O conteúdo retido em cada peneira foi triado com o auxílio de câmara de Bogorov sob estereomicroscópio (Stemi 2000-C; Zeiss, Göttingen, Germany). Imagens e tamanho dos diásporos foram obtidos para facilitar a identificação. Este procedimento foi feito utilizando a câmera Axiocam 105 acoplada ao mesmo esteromicroscópio Stemi 2000-C e utilizando o software Zeiss ‘ZEN Microscopy’. Diásporos intactos (sem fissuras) foram quantificados, removidos e posteriormente separados para os testes de germinação. Os

diásporos foram identificados através de Catian et al. (2021) e com auxílio de especialistas do herbário da Universidade Federal do Rio Grande (HURG). Para cada táxon de planta registrado, nos classificamos o substrato de desenvolvimento com base na Flora e Funga do Brasil (2023) e o tipo de diásporo conforme Baseflor - Julve (1998). O substrato foi considerado "aquático" (plantas que necessitam de coluna de água para sobreviver e se reproduzir, mesmo quando enraizadas no solo), "terrestre" (plantas que sobrevivem sem a presença de água superficial) ou "aquático e terrestre" (plantas que podem sobreviver em ambos os substratos, ou gêneros que compreendem espécies tanto aquáticas quanto terrestres).

Após a remoção dos diásporos, as amostras foram secas em estufa a 40°C, pesadas individualmente e, em seguida, triadas a fim de identificar os vertebrados predados pelas lontras em nível de classe. O processo de triagem incluiu a separação de partes dos animais predados, como escamas, peles, penas, pelos e ossos. A determinação de cada classe de vertebrado foi realizada com a consulta ao material zoológico da coleção da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, quando necessário. Como vertebrados são potenciais dispersores de plantas (van der Pijl, 1982), essa classificação foi feita com o intuito de verificar se as diferentes classes de vertebrados predados estaria relacionada com a dispersão secundária (diploendozoocoria) de alguns táxons de plantas. Nós investigamos a presença de restos de peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos, e organizando as amostras em categorias conforme a quantidade de classes (ver sessão análise de dados) para possibilitar a extração dos resultados e análise de dados.

Para testar a germinação, os diásporos foram depositados individualmente em micro tubos de 2.0 ml com água mineral sob fotoperíodo (12 h de luz, 12 h sem luz) e temperatura ($24^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$) controlados. As germinações foram verificadas duas vezes por semana ao longo de 8 semanas. Após a germinação, as plântulas foram transferidas para uma microplaca, contendo

substrato esterilizado da área de estudo e cultivadas individualmente para evitar interações alelopáticas. A microplaca foi mantida em um aquário e regada com água mineral para manter o substrato saturado. Quando as raízes foram estabelecidas, as plântulas foram transplantadas para vasos plásticos de 430 ml e cultivadas para facilitar a identificação subsequente. Entre os diásporos observados nos excrementos, 721 eram microsporângios, estrutura que contém microsporos (que produz gametas masculinos) da pteridófita aquática *Salvinia*, e 31 eram esporos de *Marsilea cf. aNCYLOPODA* (Catian et al., 2021). Microsporângios ou esporos produzem gametas masculinos que não apresentam estruturas fotossintetizantes, portanto não incluímos nos testes de germinação.

Análise de dados

Para avaliar os efeitos da amostragem na riqueza de táxons dentro das amostras fecais, realizamos uma análise de rarefação usando o pacote iNEXT (Hsieh et al., 2016) em ambiente R (R Core Team, 2022). A relação entre o peso seco dos excrementos de lontra e a riqueza de diásporos encontrados nas amostras foi analisado através de Modelos Lineares Generalizados (GLMs). O modelo de riqueza em função do peso foi ajustado com a distribuição de erro binomial negativa com a função de ligação ‘log’. O potencial de diploendozoocoria pelas lontras foi explorado através da classificação dos restos das presas presentes nos excrementos. Posteriormente, as amostras foram organizadas conforme o número de classes de vertebrados encontradas nos excrementos, resultando em três categorias: “one” uma classe de presa, “two” duas classes de presas e “more” três ou mais classes de presas. A relação entre riqueza e abundância de diásporos em função das três categorias de presas “one”, “two” e “more” foi analisado através de GLMs. A diferença entre riqueza e abundância de diásporos de plantas de substratos aquático, terrestre e aquático/ terrestre em função das três categorias de presas foi

verificado através de GLMs. Os modelos de abundância foram ajustados com a distribuição de erro binomial negativa com a função de ligação ‘log’ e os de riqueza ajustados com distribuição de *Poisson* com a função de ligação ‘log’. Todos modelos foram executados em ambiente R usando as funções ‘glm.nb’ e ‘glm’ do pacote lme4 (Bates et al., 2015). Os resíduos do modelo foram testados a fim de verificar sobre dispersão dos dados e inflação de zeros usando as funções ‘testDispersion’ e ‘testZeroInflation’ do pacote DHARMA (Hartig, 2022). Uma Análise de Deviance (ANODEV) foi usada para avaliar a adequação dos modelos em comparação com um modelo nulo. A função 'anova' do pacote stats (R Core Team, 2022) foi usada para examinar a importância de fatores e suas interações. Essa abordagem visa identificar quais variáveis e combinações delas são estatisticamente relevantes para a explicação dos resultados observados. Na presença de fatores estatisticamente significativos, aplicamos testes de significância entre os níveis dos fatores por meio de comparações par a par, empregando a função 'pairs' do pacote emmeans (Lenth, 2023).

Resultados

Um total de 1206 diásporos pertencentes a 33 táxons de plantas sendo uma alga-verde, quatro pteridófitas e 28 angiospermas foram encontrados em amostras de excrementos de lontra-neotropical (Tabela 1). Deste total, duas espécies *Centella asiatica* (L.) Urb. e *Stellaria media* (L.) Vill. eram exóticas, mas consideradas naturalizadas para o Brasil (Flora e Funga do Brasil 2023). Cada amostra fecal continha uma média de 38,90 (SE 11,14) diásporos, sendo que 70,7% eram pteridófitas, 28,9% angiospermas e 0,4 % algas-verdes. O peso seco médio dos excrementos analisados neste estudo foi 5,28 g (SE 0,57) e em todas as amostras analisadas foram encontradas pelo menos um diásporo intacto. Dentre os diferentes tipos de diásporos, registramos três espécies de macrófitas aquáticas, que passaram inteiras pelo trato

digestivo das lontras: *Azolla filiculoides* Lam., *Wolffiella oblonga* (Phil.) Hegelm. e *Lemna minuta* Kunth. (Fig. 3). O tamanho médio dos diásporos encontrados foi 2,29 mm (SE 0,85), sendo que o maior (30 mm) foi *A. filiculoides* (planta inteira), e o menor (0,23 mm) era microsporangio de *Salvinia*, ambas pteridófitas aquáticas.

As famílias com maiores abundâncias de diásporos foram Salviniaceae (n=822), Poaceae (n=92) e Cyperaceae (n=70). Os diásporos mais abundantes pertenciam a *Salvinia* (sendo 721 microsporangios e 66 megasporângios) e *Cyperus odoratus* L. com 65 aquênios (Tabela 1). Do total de diásporos encontrados, quatro pertenciam ao gênero *Solanum*, planta produtora de frutos carnosos (Flora e Funga do Brasil 2023; Souza et al., 2023). Os demais diásporos não apresentam síndrome de dispersão específica, ou são associados à processos de dispersão abióticas, como anemocoria ou hidrocoria (Julve 1998). Do total, 894 diásporos (74%) pertenciam à 11 táxons distintos de plantas de substrato aquático, 150 (12%) eram de 13 táxons terrestres e 162 (13%) pertenciam a 9 táxons de plantas, ou gêneros que podem sobreviver em ambos os substratos.

Os excrementos analisados apresentaram vestígios de cinco “classes” de presas consumidas pelas lontras. Peixes foram presentes em todas as amostras, répteis foram registrados em cinco amostras (16%), anfíbios em quatro (13%), mamíferos em três (10%) e aves em uma amostra (3%). Das três categorias estabelecidas para análise de dados, a categoria *one* foi representada por 21 amostras contendo exclusivamente peixes. A categoria *two* foi representada por sete amostras, duas continham peixes e anfíbios, duas continham peixes e répteis, e três peixes e mamíferos. Por fim, três amostras se enquadram na categoria *more* onde duas amostras continham restos de peixes, anfíbios e répteis e uma peixes, répteis, aves e mamíferos.

A análise de rarefação mostrou um rápido aumento na riqueza de diásporos conforme aumento do esforço amostral. Após a análise de 31 amostras (intercepto X), a curva não alcançou o platô de estabilização. Entretanto, a curva extrapolada apresentou uma tendência à estabilização, indicando que lontras podem dispersar uma riqueza ainda maior de diásporos do que a observada neste estudo (Fig. 4). O peso dos excrementos possui uma relação positiva com a riqueza de diásporos dispersados pelas lontras, ou seja, à medida que aumenta a densidade de excrementos aumenta a riqueza de diásporos nas fezes de lontra-neotropical ($P < 0,05$) (Fig. 5).

A riqueza de diásporos não apresentou uma relação significativa entre as diferentes categorias de presas consumidas ($P > 0,05$). Embora a mediana apresentada no boxplot da categoria *more* (três ou mais classes diferentes de presas) seja ligeiramente maior, sugerindo uma possível associação entre a predação de uma maior diversidade de presas por lontras e uma riqueza maior de diásporos, o modelo geral não apresentou significância para essa relação (Fig. 6; A). A abundância de diásporos variou significativamente em função das três categorias analisadas ($P < 0,05$) (Fig. 6; B). As interações que explicaram a significância do modelo foram entre as categorias *more* e *one* e entre *more* e *two* ($P < 0,05$; Material suplementar). Este resultado sugere que lontras que consomem de três a mais classes de presas diferentes (categoria *more*), tendem a dispersar uma maior abundância de diásporos do que as que consomem uma ou duas classes (categorias *one* e *two*) (Fig. 6; B). Dos modelos criados a fim de observar as diferenças na riqueza e abundância de diásporos de diferentes substratos em função das três categorias de presas, apenas a abundância de diásporos de substratos aquáticos teve interação significativa (Fig. 7; B). Das três categorias de presas, somente a categoria *more* foi significativa ($P < 0,05$). Contudo, ao considerarmos o resultado da análise de deviance, observamos que o modelo foi marginalmente não significativo ($P = 0,0546$; Material Suplementar).

Germinação dos diásporos

Dos 454 diásporos encontrados em excrementos de lontra-neotropical com potencial para germinação, sete germinaram, correspondendo a seis táxons de plantas (representando 2% dos diásporos intactos, Tabela 1). A família com maior número de germinação foi Onagraceae, representada pelos táxons *Ludwigia leptocarpa* (Nutt.) H.Hara com duas germinações e *L. peploides* (Kunth) P.H.Raven com uma.

Tabela 1. Plantas dispersas por lontra-neotropical: substrato onde as plantas se desenvolveram (Substrate); Número total de diásporos encontrados (Total diasporos); número total de diásporos germinados (Total germinated); número de amostras em que cada táxon foi encontrado (NST); e número máximo de diásporos encontrados em uma amostra (Max. sample). Em negrito táxons que apresentam diásporos sem potencial para germinação

Plant family	Plant taxa	Substrate	<i>Lontra longicaudis</i>			
			Total diasporos	Total germinated	NST	Max. Sample
Charophyceae	<i>Chara</i> L.	Aquatic	5	-	3	3
Marsileaceae	<i>Marsilea cf. ancylopoda</i> A.Braun¹	Aquatic	31	-	11	5
Salviniaceae	<i>Salvinia</i> Ség²	Aquatic	721	-	26	234
	<i>Salvinia</i> Ség ³	Aquatic	66	-	13	20
	<i>Azolla</i> Lam. ³	Aquatic	33	-	10	16
	<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	Aquatic	2	-	2	2
Amaranthaceae	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.)	Terrestrial	8	-	1	8

	Griseb.					
Apiaceae	<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.	Terrestrial	8	-	5	3
Araceae	<i>Wolffiella oblonga</i> (Phil.) Hegelm.	Aquatic	13	-	2	10
	<i>Lemna minuta</i> Kunth	Aquatic	5	-	2	4
	<i>Pistia stratiotes</i> L.	Aquatic	1	-	1	1
Araliaceae		aquatic/ terrestrial	16	-	11	6
Asteraceae	<i>Hydrocotyle</i> L.	aquatic/ terrestrial	39	-	10	14
	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	Terrestrial	20	1	5	13
Caryophyllaceae	<i>Mikania</i> cf. <i>periplocifolia</i>	Terrestrial	1	-	1	1
Cyperaceae	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Terrestrial				
	<i>Cyperus odoratus</i> L.	aquatic/ terrestrial	65	-	13	19
	<i>Eleocharis</i> R.Br.	aquatic/ terrestrial	2	-	1	2
	<i>Fimbristylis autumnalis</i> (L.) Roem. & Schult.	Terrestrial	2	1	2	1
	<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl	Terrestrial	1	-	1	1
Juncaceae	<i>Juncus</i> L.	aquatic/ terrestrial	1	-	1	1
Onagraceae	<i>Ludwigia leptocarpa</i> (Nutt.) H.Hara	Terrestrial	16	2	5	6
	<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H.Raven	Aquatic	15	1	5	6
Poaceae	<i>Eragrostis hypnoides</i> (Lam.) Britton, Sterns & Poggenb.	Terrestrial	2	-	2	1
	<i>Eragrostis</i> Wolf	Terrestrial	18	1	3	11
	<i>Cynodon</i> Rich.	Terrestrial	3	-	3	1
	<i>Lolium</i> L.	Terrestrial	58	-	14	15
	<i>Panicum</i> L.	aquatic/ terrestrial	1	-	1	1
	<i>Paspalum</i> L.	aquatic/ terrestrial	4	-	1	4
	<i>Setaria</i> P. Beauv.	Terrestrial	6	-	3	3
Polygonaceae	<i>Polygonum</i> cf. <i>punctatum</i> Elliott	Aquatic	1	-	1	1

Pontederiaceae	<i>Eichhornia</i> cf. <i>azurea</i> (Sw.) Kunth	Aquatic	1	1	1	1
Primulaceae	<i>Bacopa</i> cf. <i>monnierii</i> (L.) Pennell	aquatic/ terrestrial	22	-	4	17
Solanaceae	<i>Solanum</i> L.	aquatic/ terrestrial	4	-	2	3
Urticaceae	<i>Boehmeria cylindrica</i> (L.) Sw.	Terrestrial	15	-	4	7

¹Spore, ²Microsporangia, ³Megasporangia

Tabela 2. Táxons e tamanho de diásporos dispersados por lontra-neotropical e categorias onde ocorrem: tipo de diáspero (Diaspore type); tamanho do diáspero (Length); diferentes categorias de presas conforme o número de classes consumidas, “one” uma classe, “two” duas classes, “more” de três a quatro classes (Prey category)

Plant taxa	Diaspore type	Length (mm)	Prey category		
			one	two	more
<i>Chara</i> L.	oospore	0.44	X		X
<i>Marsilea</i> cf. <i>ancylopoda</i> A.Braun	spore	0.64 ± 0.003	X	X	X
<i>Salvinia</i> Ség.	microsporangia	0.23 ± 0.01	X	X	X
<i>Salvinia</i> Ség.	megasporangia	0.40 ± 0.008	X	X	X
<i>Azolla</i> Lam.	megasporangia	0.56 ± 0.02	X	X	X
<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	whole plant	30		X	
<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	seed	1.01	X		
<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.	seed	2.10	X	X	X
<i>Wolffiella oblonga</i> (Phil.) Hegelm.	whole plant	3.2	X		
<i>Lemna minuta</i> Kunth	whole plant	2.5 ± 0.25	X		
<i>Pistia stratiotes</i> L.	seed	2.76	X		
<i>Hydrocotyle</i> L.	achene	2.94	X	X	X
<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	achene	2.00 ± 0.06	X	X	X
<i>Mikania</i> cf. <i>periplocifolia</i>	cypsela	1.1	X	X	
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	capsule	1.73 ± 0.59			X

<i>Cyperus odoratus</i> L.	achene	1.86 ± 0.10	X	X	X
<i>Eleocharis</i> R.Br.	achene	1.11	X		
<i>Fimbristylis autumnalis</i> (L.) Roem. & Schult.	achene	0.77	X	X	
<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl	achene	1.04	X		
<i>Juncus</i> L.	capsule	0.4	X		
<i>Ludwigia leptocarpa</i> (Nutt.) H.Hara	capsule	1.05	X	X	X
<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H.Raven	capsule	2.79	X		X
<i>Eragrostis hypnoides</i> (Lam.) Britton, Sterns & Poggenb.	caryopse	0.55 ± 0.02			X
<i>Eragrostis</i> Wolf	caryopse	0.80	X		
<i>Cynodon</i> Rich.	caryopse	1.43	X	X	
<i>Lolium</i> L.	caryopse	1.95 ± 0.16	X	X	X
<i>Panicum</i> L.	caryopse	1.86	X		
<i>Paspalum</i> L.	caryopse	1.74			X
<i>Setaria</i> P. Beauv.	caryopse	1.36	X		X
<i>Polygonum</i> cf. <i>punctatum</i> Elliott	achene	2.52	X		
<i>Eichhornia</i> cf. <i>azurea</i> (Sw.) Kunth	seed	2.02	X		
<i>Bacopa</i> cf. <i>monnierii</i> (L.) Pennell	capsule	0.65 ± 0.03	X	X	
<i>Solanum</i> L.	seed	1.58	X		
<i>Boehmeria cylindrica</i> (L.) Sw.	achene	0.97	X	X	

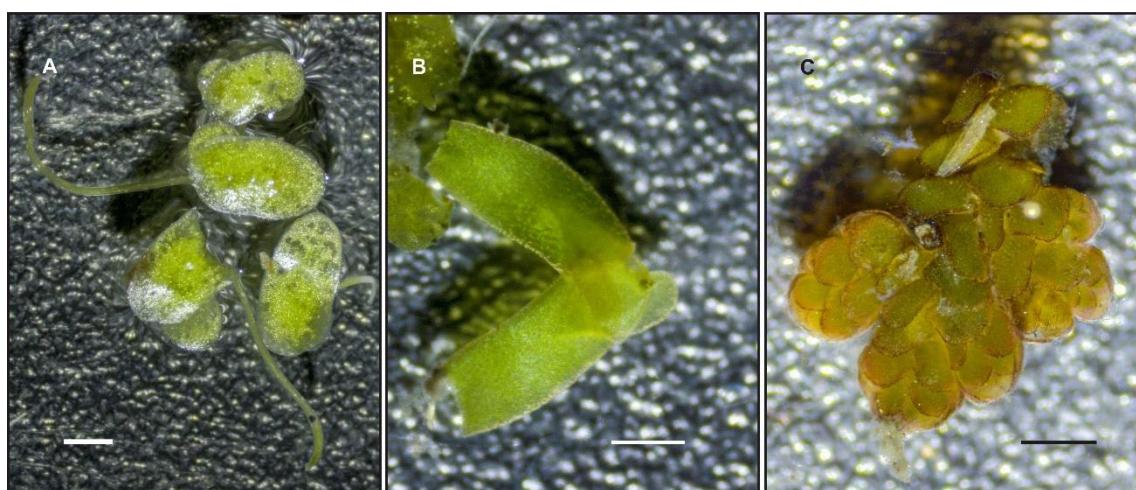


Figura 3 Macrófitas aquáticas encontradas em excrementos de lontra-neotropical, Foto (A) *Lemna minuta*, (B) *Wolffiella oblonga* e (C) *Azolla filiculoides*. Escala 1 mm

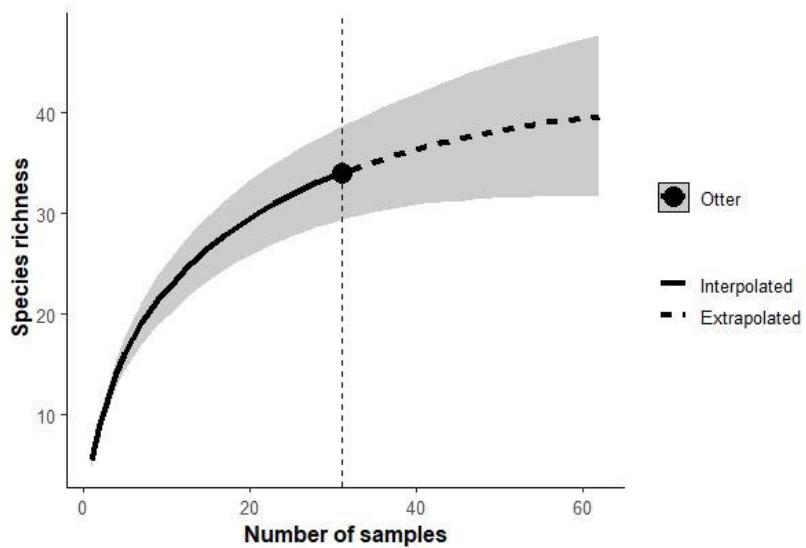


Figura 4 Curva de rarefação exibindo o número acumulado de táxons de plantas encontradas em excrementos de lontra-neotropical em função do número de amostras. A linha tracejada vertical corresponde ao intercepto X (número de amostragens). O preenchimento em cinza ao longo da curva representa o intervalo de confiança de 95%

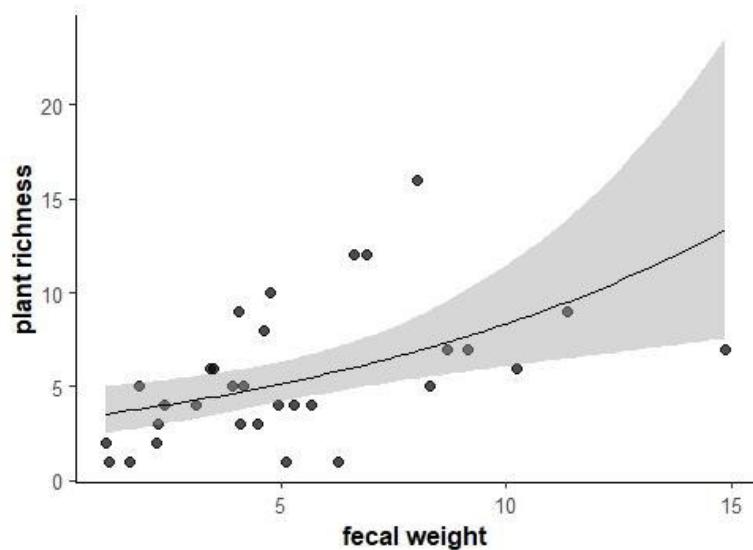


Figura 5 Curva da relação entre riqueza de diásporos de plantas em função do peso seco dos excrementos de lontra-neotropical

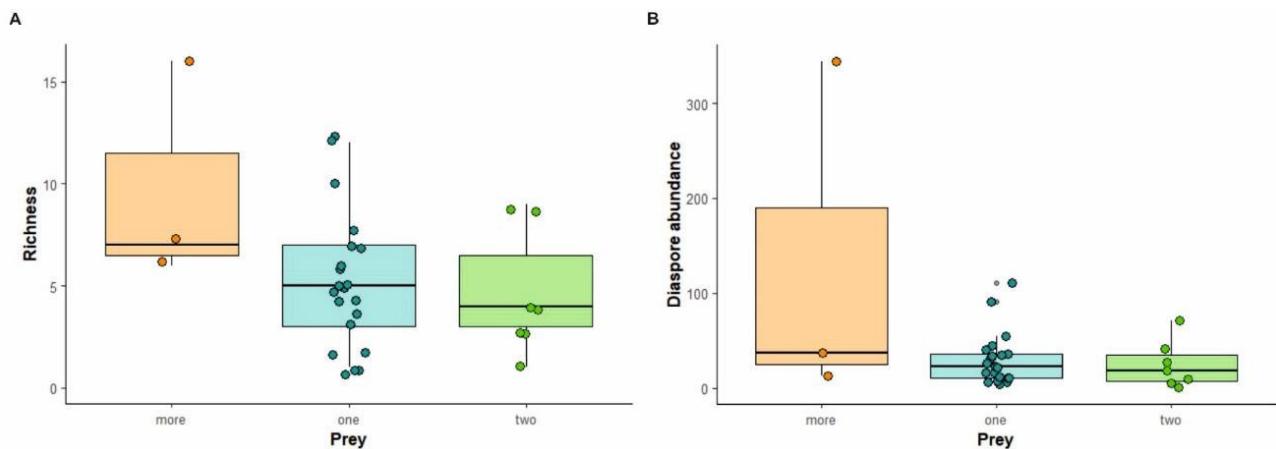


Figura 6 Boxplot entre a riqueza e abundância de diásporos em função das três categorias de presas: *one* = consumo de uma classe de presa, *two* = consumo de duas classes de presa e *more* = consumo de três ou mais classes de presas. As caixas representam o range dos quartis Q2 e Q3 separados pela linha horizontal da mediana em negrito. As linhas verticais indicam os limites máximos e mínimos Q1 e Q4

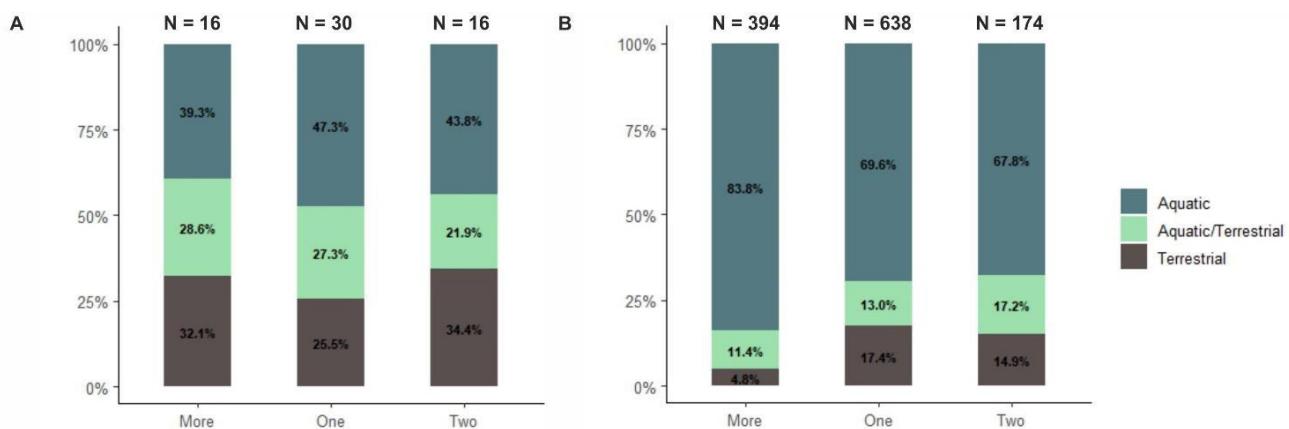


Figura 7 Variação na riqueza e abundância de diásporos aquáticos, terrestres e que podem ocorrem em ambos substratos em função de três categorias; *one* = consumo de uma classe de presa, *two* = consumo de duas classes de presa e *more* = consumo de três ou mais classes de presas. Gráfico (A) riqueza de diásporos, N = número de táxons registrados em cada

categoria. Gráfico (B) abundância de diásporos, N = abundância de diásporos em cada categoria

Discussão

Nossos resultados demonstraram que as lontras dispersam diversos diásporos de plantas que ocorrem em áreas úmidas neotropicais, incluindo plantas aquáticas inteiras que passaram pelo trato digestivo das lontras. Além de angiospermas, este estudo revelou, pela primeira vez, o papel de um mamífero semiaquático como vetor de diásporos de pteridófitas aquáticas e algas-verdes. Dentre as Angiospermas, nós registramos o gênero *Solanum*, que possui dispersão frequentemente atribuída à zoocoria devido aos seus frutos carnosos (Souza et al., 2023; van der Pijl, 1982). Solanáceas do mesmo gênero, produzem de 60 a mais de 200 sementes por fruto (Souza et al., 2023). Neste sentido, as quatro sementes de *Solanum* registradas não parece ser consistente com um processo de endozoocoria, mas consumo accidental ou secundário (Hämäläinen et al., 2017).

Apesar da maior riqueza ser de diásporos de plantas de substrato terrestre, a maior abundância foi de diásporos de plantas de substrato aquático. Lontras não se alimentam deliberadamente de macrófitas aquáticas como *Salvinia*, o que explicaria a elevada abundância de diásporos de pteridófitas aquáticas registrados neste estudo. Pteridófitas como *Salvinia*, se reproduzem sexuada e assexuada. Na fase sexuada, os diásporos (microsporangio e megasporângio) são dispersos e fertilizados na água (Gałka & Szmeja, 2013). Peixes que consomem matéria vegetal, ingerem juntamente diásporos presentes na coluna d'água (Garcia et al., 2006; Silveira et al., 2019). Após a predação dos peixes, as lontras dispersam secundariamente os diásporos retidos no trato digestivo de suas presas, culminando no processo de

diploendozoocoria (Hämäläinen et al., 2017). Amostras que continham apenas peixes, apresentaram diásporos de *Salvinia*, reforçando que a expressiva abundância de diásporos de pteridófitas aquáticas observada é consistente com o processo de diploendozoocoria.

A correlação significativa entre o peso dos excrementos e a riqueza de diásporos destaca o potencial de dispersão pelas lontras. Embora as diferenças entre fêmeas e machos na dispersão de diásporos não tenha sido o objetivo deste trabalho, sabe-se que machos depositam excrementos com maior frequência e de peso médio menor do que as fêmeas (Mason & MacDonald, 1986). Nesse sentido, podemos sinalizar que as fêmeas depositam excrementos com maior diversidade de diásporos, enquanto machos distribuem excrementos com menor riqueza ao longo de diferentes locais.

Com base na produção diária média de excrementos de 70 g por dia⁻¹ (peso seco) da lontra-europeia (*Lutra lutra*) (Mason & MacDonald, 1986) e da média de diásporos encontrados em cada amostra analisada neste estudo, estimamos que a lontra-neotropical dispersa cerca de 515,72 diásporos por dia⁻¹ (sendo 2,12 algas-verdes, 363, 92 pteridófitas e 149,68 angiospermas). Ao longo de um ano, essa estimativa sobe para aproximadamente 188.237,8 diásporos (sendo 774,24 algas-verdes, 132.831 pteridófitas e 54.632,48 angiospermas), valor superior a quantidade registrada para pumas que dispersam anualmente cerca de 5.110 sementes de Poaceae, ingeridas por pombas (Sarasola et al., 2016). Parte desses diásporos dispersos pelas lontras poderia ter sido absorvido por algum predador de sementes (Hämäläinen et al., 2017), ou permanecido no ambiente aquático, onde dependeria da conexão hidrológica para dispersão entre habitats (Green et al., 2023; Vanschoenwinkel et al., 2008).

Grande parte da vegetação de áreas úmidas são herbáceas e não apresenta frutos carnosos (Rolon et al., 2010, Silva et al., 2021). Essa vegetação pode estabelecer uma relação mutualística com herbívoros que ao se alimentar das folhas ingere também os diásporos

associados, contribuindo com sua dispersão (Janzen, 1984, Jaroszewicz et al., 2023). As lontras predam diferentes animais, que podem predar e dispersar diásporos, tais como peixes (Silveira et al., 2019), anfíbios (Vanschoenwinkel et al., 2008), répteis (Padgett et al., 2022), aves (Silva et al., 2020) e mamíferos (Horn et al., 2007). A capacidade de consumir diversas classes de vertebrados impacta diretamente na dispersão de diásporos por lontras, sendo que uma dieta mais generalista está associada a uma maior abundância de diásporos dispersos.

Peixes e répteis predominaram nas amostras da categoria *more*. A lontra-neotropical tem preferência por peixes onívoros e consumidores primários como algumas espécies da família Cichlidae (Carrasco et al., 2019; Garcia et al., 2006; Sousa et al., 2012; Quintela et al., 2008), mas também preda répteis como quelônios (Platt & Rainwater 2011). Quelônios e peixes consomem macrófitas aquáticas (Carrasco et al., 2019; Silveira et al., 2019; Hahn et al., 2013). Desta maneira, a abundância significativa na categoria *more*, parece influenciada principalmente pela predação de peixes e répteis que consumiram diásporos de plantas aquáticas.

Nós esperávamos encontrar uma maior abundância e riqueza de diásporos aquáticos em amostras com restos exclusivamente de peixes (categoria *one*). Peixes onívoros podem consumir recursos oriundos de habitats terrestres e aquáticos (Garcia et al., 2006; Carrasco et al., 2019). Além disso, lontras costumam forragear dentro ou próximo a corpos d'água (Almeida et al., 2012a), predando vertebrados associados a estes ambientes, que por sua vez também são vetores ou predadores de plantas de áreas úmidas (Horn et al., 2007; Padgett et al., 2022; Silva et al., 2020). Isto explica a riqueza similar de diásporos de diferentes substratos entre as três categorias. Além disso a presença de peixes em todas as amostras pode ter influenciado as medias dos modelos, uma vez que os diásporos associados a esta classe estão presentes em todas categorias comparadas.

A diploendozoocoria pode ter um efeito negativo (Brito et al., 2021) ou contribuir para germinação de diferentes sementes (Rubacalva-Castillo et al., 2023). A taxa de germinação dos diásporos dispersos por lontra-neotropical submetidos à incubação foi de 2%. Este percentual pode ser influenciado por diferentes fatores, como dormência fisiológica e tempo de incubação. Por exemplo, diásporos de algumas plantas de áreas úmidas podem levar mais de dois meses para germinar (Silveira et al., 2019). Neste sentido, é possível que muitos dos diásporos dispersos estejam viáveis, mas em estado de dormência, uma característica que favorece a dispersão a longa distância em muitas plantas (Espinhar et al., 2023).

Após a passagem pelo trato digestivo das lontras, os diásporos são depositados em latrinas, locais livres de vegetação e próximos a água (Almeida et al., 2012b; Nakashima & Do Linh San, 2022). Os excrementos ricos em matéria orgânica, fornecem substrato para o estabelecimento e desenvolvimento das mudas (Nakashima & Do Linh San, 2022). Aqui, nós detectamos diversos diásporos, a maioria não associada a síndrome de dispersão por endozoocoria (Green et al., 2022). Dentre as germinações, nós registramos o gênero *Mikania*, uma planta atribuída a dispersão anemocórica com diásporo em forma de cipsela (Julve, 1998). A presença desta planta é mais uma evidência de que plantas associadas a uma síndrome de dispersão (Julve, 1998; Lososová et al., 2023), podem ser dispersas por zoocoria (Green et al., 2022).

Os trabalhos com zoocoria na região Neotropical tem focado principalmente na relação entre vertebrados e frutos carnosos (Janzen & Martin, 1982; Galleti et al., 2017; Pires et al., 2017, Souza et al., 2022), e em aves aquáticas de áreas úmidas (Green et al., 2023; Silva et al., 2018; Silva et al., 2020). Neste estudo, nós evidenciamos a importância das lontras como dispersores secundários em áreas úmidas Neotropicais. Lontras possuem uma área de vida de 10 km², se deslocam muitos quilômetros diariamente por meio de sistemas aquáticos ou

através da matriz terrestre, conectando diferentes sistemas aquáticos (Almeida et al. 2012a; Almeida et al., 2012b; Carrasco et al., 2019). Além disso, as lontras ocorrem desde o nível do mar até quase 2000 m de altitude (Esparza-Carlos et al., 2022). Neste sentido, as lontras podem contribuir para o fluxo gênico entre diferentes populações de plantas (Matthysen 2012; van der Pijl 1982), propiciando seu deslocamento para climas mais adequados e facilitando a sua adaptação às mudanças climáticas do Antropoceno (González-Varo et al., 2017; Nuñez et al., 2023).

Este estudo destaca a importância da pesquisa sobre dispersão por mamíferos e aponta para mais perguntas em um campo ainda pouco estudado. Futuras investigações devem considerar as variações sazonais em relação à fenologia das plantas. Além disso, investigar outros biomas de ocorrência da lontra-neotropical pode trazer informações importantes sobre o seu papel como dispersor por endo e diploendozoocoria. Neste estudo, demonstramos que as lontras desempenham um papel crucial na dispersão de diversas plantas em áreas úmidas, contribuindo para a preservação desses ecossistemas essenciais para a vida na Terra. Além disso, como lontras ocorrem também em ambientes antrópicos, podem exercer um papel relevante na recuperação de áreas degradadas (López-Bao & González-Varo, 2011).

Referências

Almeida, D., Barrientos, R., Merino-Aguirre, R. & Angeler, D. G. (2012a). The role of prey abundance and flow regulation in the marking behaviour of Eurasian otters in a Mediterranean catchment. *Animal Behavior*, 84:1475-1482. DOI: 10.1016/j.anbehav.2012.09.020.

Almeida, D., Copp, G.H., Masson, L., Miranda, R., Murai, M. & Sayer, C. D. (2012b). Changes in the diet of a recovering Eurasian otter population between the 1970s and 2010.

Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystems, 22: 26–35. DOI: 10.1002/aqc.1241.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. DOI: 10.18637/jss.v067.i01.

Borges, L. V. & Colares, I. G. (2007). Feeding habits of capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus 1766), in the Ecological Reserve of Taim (ESEC - Taim) - south of Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 3:409-416. DOI: 10.1590/S1516-89132007000300007.

Brito, A. K., Covich, A. P., Severo-Neto, F., Junior, H. G., Laps, R. R., Sabino, J. & Roque, F. O. (2021). Diploendozoochory in Neotropical fish makes seed germination unlikely. *Biotropica*, 53(5):1261-1264. DOI: 10.1111/btp.13013.

Bullock, J. M., Gonzalez, L. M., Tamme, R., Gotzenberger, L., White, S. M., Partel, M. & Hooftman, D. A. P. (2017). A synthesis of empirical plant dispersal kernels. *Journal of Ecology*, 105(1), 6–19. DOI: 10.1111/1365-2745.12666.

Carrasco, T. S., Botta, S., Machado, R., Simões-Lopes, P. C., Carvalho-Junior, O., Ott, P. H., Colares, E. P. & Secchi, E. R. (2019). Isotopic niche of the Neotropical otter, *Lontra longicaudis* (Carnivora, Mustelidae), in different coastal aquatic systems in Southern Brazil. *Hydrobiologia*, 835:83-100. DOI: 10.1007/s10750-019-3931-x.

Catian, G., Lima, G. T., Fabiano, V. S., Gonçalves, V. M. & Scrimin-Dias, E. (2021). A guide to identification of diaspores of the main macrophytes in the Pantanal. *Phytotaxa*, 487(3):205-232. DOI: 10.11646/phytotaxa.487.3.3.

Colares, I. G., Oliveira, R. N. V., Oliveira, R. M. & Colares, E. P. (2010). Feeding habits of coypu (*Myocastor coypus* Molina 1978) in the wetlands of the Southern region of Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 82(3):671-678. DOI: 10.1590/S0001-37652010000300015.

Darwin, C. (1913). A origem das espécies, Porto: Livraria Chardron, de Lello.

Dellafiore, C. M., Brignoe, E. & Scilingo, V. (2020). Rol Ecológico Del Zorro Pampeano (*Lycalopex gymnocercus*) Como Dispensor De Semillas En Ambientes De Agroecosistema Y Bosques Serranos De Argentina. *European Scientific Journal*, 16(36):185-7431. DOI: 10.19044/esj.2020.v16n36p223

Esparza-Carlos, J. P., Hernández-Romero, P. C. & Moreno, J. A. E. (2022). Presence of neotropical otter (*Lontra longicaudis*) at high elevation between watersheds. *Western North American Naturalist*, 82(1):167-173. DOI: 10.3398/064.082.0116.

Espinar, J. L., Figuerola, J. & Green, A. J. (2023). Long term impacts of endozoochory and salinity on germination of wetland plants, after entering simulated seed banks. *Frontiers in Plant Science*, 14:1275622. DOI:10.3389/fpls.2023.1275622.

Flora e Funga do Brasil. (2023). Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available from: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. accessed 16 October 2023.

Galetti, M., Moleón, M., Jordano, P., Pires, M. M., Guimarães Jr, P. R., Pape, T., Nichols, E., Hansen, D., Olesen, J. M., Munk, M., Mattos, J. S., Schweiger, A. H., Owen-Smith, N., Johson, C. N., Marquis, R. J., Avenning, J. (2017). Ecological and evolutionary legacy of megafauna extinctions. *Biological Reviews*.

Gałka, A. & Szmeja, J. (2013). Phenology of the aquatic fer *Salvinia natans* (L.) All. in the Vistula Delta in the context of climate warming. *Limnologica*, 43(2):100-105. DOI: 10.1016/j.limno.2012.07.001.

Garcia, A. M., Hoeinghaus, D. J., Vieira, J. P., Winemiller, K. O., Marques, D. M. L. M. & Bemvenuti, M.A. (2006). Preliminary examination of food web structure of Nicola Lake (Taim Hydrological System, south Brazil) using dual C and N stable isotope analyses. *Neotropical Ichthyology*, 4(2):279-284. DOI: 10.1590/S1679-62252006000200014.

González-Varo, J.P., López-Bao, J.V. & Guitián, J. (2017). Seed dispersers help plants to escape global warming. *Oikos*, 126(11): 1600-1606. DOI: 10.1111/oik.04508.

Green, A. J., Baltzinger, C., & Lovas-Kiss, Á. (2022). Plant dispersal syndromes are unreliable, especially for predicting zochory and long-distance dispersal. *Oikos*, 2022(2): e08327. DOI: 10.1111/oik.08327

Green, A. J., Lovas-Kiss, A., Reynolds, C., Sebastián-González, E., Silva, G. G., van Leeuwen, C. A. H. & Wilkinson, D. M. (2023). Dispersal of aquatic and terrestrial organisms by waterbirds: A review of current knowledge and future priorities. *Freshwater Biology*, 68(2):173-190. DOI: 10.1111/fwb.14038.

Hahn, A. T., Rosa, C. A., Bager, A. & Krause, L. (2013). Dietary variation and overlap in D'Orbigny's slider turtles *Trachemys dorbigni* (Duméril and Bibron 1835) (Testudines: Emydidae). *Journal of Natural History*, 48(11-12): 721-728. DOI: 10.1080/00222933.2013.840400.

Hämäläinen, A., Broadley, K., Droghini, A., Haines, J. A., Lamb, C. T., Boutin, S. & Gilbert, S. (2017). The ecological significance of secondary seed dispersal by carnivores. *Ecosphere*, 8(2): e01685. DOI: 10.1002/ecs2.1685

Hartig, F. (2022). _DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level/ Mixed) Regression Models_. R package version 0.4.6. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>.

Horn, G. B., Kindel, A. & Hartz, S. M. (2007). *Akodon montensis* (Thomas, 1913) (Muridae) as a disperser of endozoochoric seeds in a coastal swamp forest of southern Brazil. *Mammalian Biology*, 73:325-329. DOI:10.1016/j.mambio.2007.10.008.

Hsieh, T.C., Ma, K.H. & Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12): 1451–1456. DOI: 10.1111/2041-210X.12613

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). (2021). Plano de Manejo da Estação Ecológica do Taim. Brasília. Available from: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/esec-do-taim/arquivos/PM_ESEC_Taim_vs.11.pdf>

Janzen, D. & Martin, P. S. (1982). Neotropical Anachronisms: The Fruits the Gomphotheres Ate. *Science*, 215(4528):19-27. DOI: 10.1126/science.215.4528.19.

Janzen, D. (1984). Dispersal of Small Seeds by Big Herbivores: Foliage is the Fruit. *The American Naturalist*, 123(3):338-353. DOI: 10.1086/284208.

Jaroszewicz, B., Coissac, E., Taberlet, P., Czajkowska, M., Świsłocka, M., Kowalczyk, R. & Ratkiewicz, M. (2023). Is endozoochoric seed dispersal by large herbivores an evolutionary

adaptation? Revisiting the Janzen's 'Foliage is the fruit' hypothesis. *Acta Oecologica*, 118, 103888. DOI: 10.1016/j.actao.2022.103888.

Jordano, P., Forget, P. M., Lambert, J. E., Böhning-Gaese, K., Traveset, A. & Wright, S. J. (2011). Frugivores and seed dispersal: mechanisms and consequences for biodiversity of a key ecological interaction. *Biology Letters*, 7(3): 321–323. DOI: 10.1098/rsbl.2010.0986.

Jordano, P., Garcia, C., Godoy, J. A. & Garcia-Castaño, J. L. (2007). Differential contribution of frugivores to complex seed dispersal patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(9):3278-3282. DOI: 10.1073/pnas.0606793104.

Julve, P. (1998). Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. Available from: <<http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm>>, accessed 16 October 2023.

Kööppen, W. (1936). Das geographische System der klimate – Handbuch der klimatologie, Vol. 1, Part C, Gebr. Bornträger Verlag, Berlin.

Latorre, D., Merino-Aguirre, R., Cruz, A., Lantero, E., Arroyo, A. M., Fletcher, D. H. & Almeida, D. (2022). Ecological role of the Eurasian otter, *Lutra lutra* (Mustelidae, Carnivora) as a seed dispersal species for riparian vegetation in Iberian fresh waters. *Journal of Vertebrate Biology*, 71:1-11. DOI: 10.25225/jvb.22037.

Lenth, R. (2023). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.8.4-1. Available from: <<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>>.

López-Bao, J.V. & González-Varo, J.P. (2011). Frugivory and Spatial Patterns of Seed Deposition by Carnivorous Mammals in Anthropogenic Landscapes: A Multi-Scale Approach. *PLoS ONE*, 6(1): e14569. DOI: 10.1371/journal.pone.0014569.

- Lososová, Z., Axmanová, I., Chytrý, M., Midolo, G., Abdulhak, S., Karger, D. N., ...
- Thuiller, W. (2023). Seed dispersal distance classes and dispersal modes for the European flora. *Global Ecology and Biogeography*, 32(9):1485-1494. DOI: 10.1111/geb.13712.
- Lovas-Kiss, Á., Sánchez, M. I., Molnár V, A., Valls, L., Armengol, X., Mesquita-Joanes, F. & Green, A. J. (2018). Crayfish invasion facilitates dispersal of plants and invertebrates by gulls. *Freshwater Biology*, 63(4):392-404. DOI: 10.1111/fwb.13080.
- Maltchik, L., Costa, E. S., Becker, C. G. & Oliveira, A. E. (2003). Inventory of wetlands of Rio Grande do Sul (Brazil). *Pesquisas: Botânica*, 53:89-100.
- Mariano-Mendoza, V. G., Vázquez-Maldonado, L. E., Gallo-Reynoso, J. P. & Delgado-Estrella, A. D. (2022). Ecological aspects of the Neotropical otter, *Lontra longicaudis annectens* (Major, 1897), in La Lagartera Lagoon, Campeche, Mexico. *Hidrobiológica*, 32(2):93-103. DOI: 10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2022v32n2/mariano.
- Mason, C. F. & MacDonald, S. M. (1986). Levels of Cadmium, Mercury and Lead in Otter and Mink Faeces From the United Kingdom. *Science of the Total Environment*, 53(1-2):139-146. DOI: 10.1016/0048-9697(86)90097-5.
- Matthysen, E. (2012). Multicausality of dispersal: a review. In: Dispersal Ecology and Evolution. (Eds: J. Clobert, T. Baguette, M. Benton & J. M. Bullock). Oxford University Press, Oxford.
- McConkey, K.R., Prasad, S., Corlett, R. T., Campos-Arceiz, A., Brodie, J. F., Rogers, H. & Santamaria, L. (2012). Seed dispersal in changing landscapes. *Biological Conservation*, 146(1):1-13. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.09.018.

Nakashima, Y. & Do Linh San, E. (2022). Seed Dispersal by Mesocarnivores: Importance and Functional Uniqueness in a Changing World. In: Small Carnivores: Ecology, Behavior, and Conservation. (Eds: E. Do Linh San, J. J. Sato, J. L. Belant & M. J. Somers). John Wiley & Sons Ltd, Oxford.

Nuñez, T. A., Prugh, L. R. & Hille Ris Lambers, J. (2023). Animal-mediated plant niche tracking in a changing climate. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(7):654-665. DOI: 10.1016/j.tree.2023.02.005.

Padgett, D. J., Gouthro, A., Adams, M., Surasinghe, T. D. (2022). Silky dogwood (*Swida amomum*) seed dispersal by freshwater turtles. *American Journal of Botany*, 109(9): 1508-1514. DOI: 10.1002/ajb2.16054.

Paolacci, S., Jansen, M. A. K., Stejskal, V., Kelly, T. C. & Coughlan, N. E. (2023). Metabolically active angiosperms survive passage through the digestive tract of a large-bodied waterbird. *Royal Society Open Science*, 10(3): 230090. DOI: 10.1098/rsos.230090.

Pedralli, G. (1990). Macrófitos aquáticos: técnicas e métodos de estudos. *Estudos de Biologia*, 26: 5-24.

Pires, M. M., Guimarães, P. R., Galetti, M. & Jordano, P. (2018). Pleistocene megafaunal extinctions and the functional loss of long-distance seed-dispersal services. *Ecography*, 41(1):153-163. DOI: 10.1111/ecog.03163.

Platt, S.G. & Rainwater, T.R. (2011). Predation by Neotropical Otters (*Lontra longicaudis*) on Turtles in Belize. *IUCN Otter Specialist Group Bulletin*, 28 (1): 4-10.

Quadros, J. & Monteiro-Filho, E. L. A. (2000). Fruit occurrence in the diet of the Neotropical Otter, *Lontra longicaudis*, in southern Brazilian Atlantic Forest and its implication for seed dispersion. *Mastozoología Neotropical*, 7(1):33-36.

R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <<https://www.R-project.org/>>

Reis, S. C., Dias, J. H. P., Sousa, L.O., Chiarello, A. G., Sá, M. E. & Ramos, I. P. (2023). Germination of fruits eaten by the maned wolf *Chrysocyon brachyurus* (Illiger, 1815) (Carnivora, Canidae). *Biota Neotropica* 23(3): e20221413. DOI: 10.1590/1676-0611-BN-2022-1413.

Rolon, A. S. & Maltchik, L. (2006). Environmental factors as predictors of aquatic macrophyte richness and composition in wetlands of Southern Brazil. *Hydrobiologia*, 556(1):221-231. DOI: 10.1007/s10750-005-1364-1.

Rolon, A. S., Homem H. F. & Maltchik, L. (2010). Aquatic macrophytes in natural and managed wetlands of Rio Grande do Sul State, Sothern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 22(2):133-146. DOI: 10.4322/actalb.02202003.

Rubalcava-Castillo, F. A., Valdivia-Flores, A. G., Luna-Ruiz, J. J., Íñiguez-Dávalos, L. I., Martínez-Calderón, V. M., Jiménez A. J. M. & Sosa-Ramírez, J. (2023). Effects of endozoochory and diploendozoochory bu captive wild mammals on *Juniperus deppeana* seeds. *Ecology and Evolution*, 13(7): e10262. DOI: 10.1002/ece3.10262.

Sarasola, J. H., Zanón-Martínez, J. I., Costán, A. S. & Ripple, W. J. (2016). Hypercarnivorous apex predator could provide ecosystem services by dispersing seeds. *Scientific Reports*, 6:19647. DOI: 10.1038/srep19647.

Silva, F. (2014). Mamíferos Silvestres Rio Grande do Sul. Via Sapiens, p. 308

Silva, G. G., Green, A. J., Hoffman, P., Weber, V., Stenert, C., Lovas-Kiss, A & Maltchik, L. (2020). Seed dispersal by Neotropical waterfowl depends on bird species and seasonality. *Freshwater Biology*, 66(1):78–88. DOI: 10.1111/fwb.13615.

Silva, G. G., Green, A. J., Stenert, C. & Maltchik, L. (2021). Invertebrate dispersal by waterbird species in Neotropical wetlands. *Brazilian Journal of Biology*, 84: e250280. DOI: 10.1590/1519-6984.250280.

Silva, G. G., Green, A. J., Weber, V., Hoffmann, P., Lovas-Kiss, A., Stenert, C. & Maltchik, L. (2018). Whole angiosperms *Wolffia columbiana* disperse by gut passage through wildfowl in South America. *Biology Letters*, 14(12) :20180703. DOI: 10.1098/rsbl.2018.0703.

Silva, L. B. (2023). Can the ferruginous pygmy-owl (Aves, Strigidae) disperse seeds? *Ornithology Research*, 31:307-310. DOI: 10.1007/s43388-023-00149-x.

Silveira, R., Leão-Neto, W. M. & Silva, F. H. B. (2019). Small-sized fish as possible seed dispersers: disclosing novel fish and plant species interactions in the Pantanal wetland. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 55(1): 36-43. DOI: 10.1080/01650521.2019.1669422.

Soons, M. B., de Groot, G. A., Ramirez, M. T. C., Fraaije, R. G. A., Verhoeven, J. T. A. & de Jager, M. (2017). Directed dispersal by an abiotic vector: wetland plants disperse their seeds selectively to suitable sites along the hydrological gradient via water. *Functional Ecology*, 31(2): 499–508. DOI:10.1111/1365-2435.12771.

Sousa, K. S., Bastazini, V. A. G. & Colares, E. P. (2012). Feeding ecology of the Neotropical otter *Lontra longicaudis* in the Lower Arroio Grande River, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(1): 285-294. DOI: 10.1590/S0001-37652013005000014.

Souza, M. C., Santos, V. H. R., Trindade, J. R., Nunes, R. J. L., Oliveira, M. S., Viana, R. G., ... Gurgel, E. S. C. (2023). Biometry of fruits and seeds of three species of Solanum (Solanaceae) from Amazonia. *Research, Society and Development*, 12(1): e23812139619. DOI: 10.33448/rsd-v12i1.39619.

Souza, Y., Villar, N., Zipparro, V., Nazareth, S. & Galetti, M. (2022). Large mammalian herbivores modulate plant growth form diversity in a tropical rainforest. *Journal of Ecology*, 110(4):845-859. DOI: 10.1111/1365-2745.13846.

Tiffney, B. H. (2004). Vertebrate Dispersal of Seed Plants Through Time. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 35:1-29. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132535.

Tomazelli, L. J., Dillenburg, S. R. & Villwock, J. A. (2000). Late Quaternary Geological History of Rio Grande do Sul Coastal Plain, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 3: 474-476. DOI: 10.25249/0375-7536.2000303474476.

Tucci, C. E. M., Louzada, J. A., Motta Marques, D. M. L., Leão, M. I., Mediondo, E. M. & Silva, A. M. (1996). Comportamento hidrológico do banhado do Taim. IPH/UFRGS/IBAMA, Porto Alegre.

van der Pijl, L. (1982). Principles of Dispersal in Higher Plants. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.

- Vanschoenwinkel, B., Gielen, S., Vandewaele, H., Seaman, M. & Brendonck, L. (2008). Relative importance of different dispersal vectors for small aquatic invertebrates in a rock pool metacommunity. *Ecography*, 31(5): 567-577. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2008.05442.x.
- Weber, M., Roman, C. & Carlos, N. (2013). Mamíferos do Rio Grande do Sul. UFSM, p. 556
- Wrege, M. S., Steinmetz, S., Júnior, C. R. & Almeida, I. R. (2012). Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. (2nd ed.) Embrapa, Brasília. Available from: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1045852/atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil-estados-do-parana-santa-catarina-e-rio-grande-do-sul>>.

Author contributions

Conceived and designed the study: P.H.O.H., L.M. Sample collection in the field: P.H.O.H., A.A. Laboratory procedures, preparation of figures and tables: P.H.O.H. Data analysis and interpretation: P.H.O.H, A.A. First draft writing: P.H.O.H. Final draft writing: P.H.O.H, A.A., L.M. Research coordination: L.M. All authors read and approved the manuscript.

Acknowledgments

P.H.O.H. is grateful to the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) for a master's degree scholarship (proc. no. 88887.686236/2022-00). A.A. is grateful to CAPES for the PhD scholarship (proc. no. 88887.841668/2023-00). L.M. holds a research productivity grant from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (grant no. 307455/2021-1). We extend our sincere gratitude to Dr. Caroline Igansi HURG technician who helped us to identify some plant taxa and provided related literature.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that they have no conflict of interest.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

A presente dissertação trouxe dados importantes sobre o papel de mamíferos semiaquáticos como dispersores de plantas associadas às áreas úmidas. Através deste trabalho, descobrimos que capivaras, ratões-do-banhado e lontras-neotropical podem dispersar diferentes táxons de plantas, incluindo algas-verdes, pteridófitas e angiospermas, contribuindo na colonização e manutenção destes importantes ecossistemas. Além disso, nossos dados trazem as primeiras contribuições que auxiliam a preencher uma lacuna de conhecimento acerca do processo de dispersão por zoocoria via mamíferos em áreas úmidas Neotropicais.

No primeiro capítulo descrevemos o papel da capivara e do ratão-do-banhado como dispersores. Descobrimos que esses roedores dispersam uma grande abundância e riqueza de diásporos de plantas de áreas úmidas através da endozooocoria. Este foi o primeiro estudo a registrar o papel de grandes roedores na dispersão de pteridófitas aquáticas e angiospermas. Nossos resultados indicam que estes mamíferos semiaquáticos possuem um papel complementar, onde as capivaras dispersam mais angiospermas associadas ao substrato terrestre e ratões-do-banhado dispersam mais pteridófitas associadas ao habitat aquático. Neste sentido, descobrimos que esses roedores são importantes dispersores, contribuindo para colonização, manutenção e podendo explicar a distribuição das plantas na área de estudo.

No segundo capítulo descrevemos o papel da lontra-neotropical como vetor de plantas de áreas úmidas. Neste estudo verificamos que as lontras dispersam uma notável abundância e riqueza de diásporos de plantas que ocorrem em áreas úmidas Neotropicais, incluindo algas-verdes, pteridófitas aquáticas e angiospermas. A grande abundância de diásporos de plantas herbáceas e aquáticas observados estão associados à dispersão por diploendozoocoria. Lontras que consumiram mais classes de vertebrados dispersaram maior abundância de diásporos de plantas do substrato aquático, especialmente pteridófitas. Este resultado reflete a característica oportunista das lontras, que podem predar diferentes vertebrados e destaca o seu papel como dispersor secundário, podendo contribuir assim com o estabelecimento das plantas em diferentes habitats. Além disso sua ampla distribuição, pode auxiliar na movimentação e adaptação das plantas frente às mudanças climáticas.

Sugiro que, para futuras investigações, considere-se a expansão do esforço amostral, levando em conta as variações sazonais. Explorar áreas úmidas em diversos biomas pode proporcionar dados relevantes sobre a contribuição dos mamíferos em uma escala mais

ampla. A pesquisa sobre a relação dos vetores com espécies específicas de plantas, por meio de experimentos e estudos de campo, tem o potencial de revelar importantes interações mutualísticas. Da mesma forma, é recomendável investigar a frequência de dispersão de plantas inteiras na natureza e comparar o papel da dispersão entre mamíferos e aves aquáticas na manutenção das áreas úmidas.

ANEXOS

CAPÍTULO 1

Supporting information of “Big rodents disperse small seeds in Neotropical wetlands”

Summary outputs of the GLM models: Model 1: Total diaspores abundance ~ mammal species; Model 2: Total taxonomic richness ~ mammal species; Model 3: Aquatic diaspores abundance ~ mammal species; Model 4: Aquatic richness taxa ~ mammal species; Model 5: Terrestrial diaspores abundance ~ mammal species; Model 6: Terrestrial richness taxa ~ mammal species; Model 7: Aquatic/Terrestrial diaspores abundance ~ mammal species; and Model 8: Aquatic/Terrestrial richness taxa ~ mammal species. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. ^aModel fitted with Negative Binomial error distribution; ^bModel fitted with Poisson error distribution.

Source of variation	d.f.	Deviance	Res. d.f.	Res. deviance	P
Model 1 ^a					
Mammal species	1	71.161	80	84.925	<0.001**
Model 2 ^b					
Mammal species	1	20.912	80	69.557	<0.001**
Model 3 ^a					
Mammal species	1	112.05	80	81.484	<0.001**
Model 4 ^b					
Mammal species	1	38.022	80	57.503	<0.001**
Model 5 ^a					
Mammal species	1	3.975	80	77.727	0.046*
Model 6 ^b					
Mammal species	1	1.035	80	96.313	0.310
Model 7 ^a					
Mammal species	1	8.265	80	80.927	0.004*
Model 8 ^b					
Mammal species	1	6.474	80	84.169	0.013*

Summary outputs of the GLM model comparing the size of diaspores dispersed by each mammal. Model: size ~ mammal species. ^aModel fitted with Poisson error distribution.

Source of variation	d.f.	Deviance	Res. d.f.	Res. deviance	P
Model ^a					
Mammal species	1	0.646	36	18.863	0.424

CAPÍTULO 2

Material suplementar do manuscrito “Dispersão de sementes por lontra-neotropical no extremo sul do Brasil”

Summary outputs of the GLM model between the dry weight of otter feces and diaspore richness. Model: diaspore richness ~ fecal weight. ^aModel fitted with Negative Binomial error distribution. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

Source of variation	d.f.	Deviance	Res. d.f.	Res. deviance	P
Model ^a					
Fecal weight	1	89.778	29	30.773	< 0.01**

Summary outputs of the GLM models between total abundance and richness of diaspores as a function of the three prey categories "one," "two," and "more", and between Aquatic, Terrestrial and Aquatic/Terrestrial diaspores as a function of the three prey categories: Model 1: Total diaspores abundance ~ prey categories; Model 2: Total taxonomic richness ~ prey categories; Model 3: Aquatic diaspores abundance ~ prey categories; Model 4: Aquatic richness taxa ~ prey categories; Model 5: Terrestrial diaspores abundance ~ prey categories; Model 6: Terrestrial richness taxa ~ prey categories; Model 7: Aquatic/Terrestrial diaspores abundance ~ prey categories; and Model 8: Aquatic/Terrestrial richness taxa ~ prey categories. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. ^aModel fitted with Negative Binomial error distribution;

^bModel fitted with Poisson error distribution.

Source of variation	d.f.	Deviance	Res. d.f.	Res. deviance	P
Model 1 ^a					
prey categories	2	11.453	28	34.308	<0.01**
Model 2 ^b					
prey categories	2	4.046	28	32.220	0.1323
Model 3 ^a					
prey categories	2	5.7501	167	141.73	0.05641
Model 4 ^b					
prey categories	2	0.34451	167	121.62	-
Model 5 ^a					
prey categories	2	0.57354	167	106.30	0.7507
Model 6 ^b					
prey categories	2	0.85577	167	120.55	-
Model 7 ^a					
prey categories	2	2.0712	167	101.61	0.355
Model 8 ^b					
prey categories	2	0.34349	167	119.28	-

Summary outputs of the paired comparison of Model 1: Total diaspores abundance ~ prey categories. P-value adjustment: tukey method for comparing a family of 3 estimates.

Contrast	estimate	SE	Res. d.f.	z. ratio	P
more – one	1.0715	0.520	Inf	2.061	0.0980
more – two	1.1619	0.638	Inf	1.820	0.1629
one – two	0.0904	0.499	inf	0.9821	0.9821

Artigos publicados como autor ou coautor durante o Mestrado (04/2022-12/2023)

HOFFMANN, P. H. O; ADOLFO, A; PIU, A. G; VENDRAMIN, D; MARTINS, L; WEBER, V; MALTCHIK, L; STENERT, C. Invertebrate richness and hatching decrease with sediment depth in Neotropical intermittent ponds. **Wetlands**, v. 43, n. 24, 2023.
<https://doi.org/10.1007/s13157-023-01675-6>

WEBER, V; GODOY, R. S; **HOFFMANN, P. H. O**; LANÉS, L. E. K; VOLCAN, M; MALTCHIK, L. A preliminary approach to embryonic development of *Austrolebias wolterstorffi*, an endangered neotropical annual fish species. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, n. e271218, 2023. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.271218>

HOFFMANN, P. H. O; SOARES, M. M. M; KITS, J; MALTCHIK, L. Hidden in the dung: first record of *Maculantrops hirtipes* (Macquart, 1844) (Diptera, Sphaeroceridae) from Brazil. **Biota Neotropica**, v. 23, n. 3, e20231492, 2023. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2023-1492>

WEBER, V; GODOY, R. S; LANÉS, L. E. K; **HOFFMANN, P. H. O**; STENERT, C; MALTCHIK, L. Egg production of annual fish *Austrolebias cyaneus* and *Cynopoecilus nigrovittatus* occurs throughout their entire life cycle to survive in a temporary wetland. **Wetlands**, v. 43, n. 97, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13157-023-01745-9>

Autorização para atividades com finalidade científica – ICMBio



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 83243-1	Data da Emissão: 03/06/2022 19:54:20	Data da Revalidação*: 03/06/2023
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOFFMANN	CPF: 028.519.520-48
Título do Projeto: Dispersão de propágulos de plantas e invertebrados via mamíferos Neotropicais	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ? FURG	CNPJ: 94.877.586/0001-10

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta de animais atropelados	05/2022	05/2023

Equipe

#	Nome	Função	CPF	Nacionalidade
1	Vinicius Weber	Coleta e preparação de amostras	028.026.370-88	Brasileira
2	Leonardo Maltchik Garcia	Planejamento, logística e coleta	102.035.498-48	Brasileira
3	GILIANDRO GONÇALVES SILVA	Planejamento e coleta	818.032.490-72	Brasileira
4	FELIPE BORTOLOTTO PETERS	logística e coleta	806.530.140-15	Brasileira
5	Robson Souza Godoy	Coleta de amostras	030.908.670-10	Brasileira

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0832430120220603

Página 1/7



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 83243-1	Data da Emissão: 03/06/2022 19:54:20	Data da Revalidação*: 03/06/2023
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOFFMANN	CPF: 028.519.520-48
Título do Projeto: Dispersão de propágulos de plantas e invertebrados via mamíferos Neotropicais	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ? FURG	CNPJ: 94.877.586/0001-10

Observações e ressalvas

1	A autorização não eximirá o pesquisador da necessidade de obter outras anuências, como: I) do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador quando as atividades forem realizadas em área de domínio privado ou dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso; II) da comunidade indígena envolvida, ouvido o órgão indigenista oficial, quando as atividades de pesquisa forem executadas em terra indígena; III) do Conselho de Defesa Nacional, quando as atividades de pesquisa forem executadas em área indispensável à segurança nacional; IV) da autoridade marítima, quando as atividades de pesquisa forem executadas em águas jurisdicionais brasileiras; V) do Departamento Nacional da Produção Mineral, quando a pesquisa visar a exploração de depósitos fossilíferos ou a extração de espécimes fósseis; VI) do órgão gestor da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, dentre outras.
2	Deve-se observar as recomendações de prevenção contra a COVID-19 das autoridades sanitárias locais e das Unidades de Conservação a serem acessadas.
3	Esta autorização NÃO libera o uso da substância com potencial agrotóxico e/ou inseticida e NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de atender às exigências e obter as autorizações previstas em outros instrumentos legais relativos ao registro de agrotóxicos (Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entre outros).
4	Esta autorização NÃO libera o uso da substância com potencial agrotóxico e/ou inseticida e NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de atender às exigências e obter as autorizações previstas em outros instrumentos legais relativos ao registro de agrotóxicos (Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entre outros).
5	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
6	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
7	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/cgen .
8	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonómico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonómico de interesse em condição <i>in situ</i> .
9	Esta autorização NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
10	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infraestrutura da unidade.
11	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0832430120220603

Página 2/7



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 83243-1	Data da Emissão: 03/06/2022 19:54:20	Data da Revalidação*: 03/06/2023
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOFFMANN	CPF: 028.519.520-48
Título do Projeto: Dispersão de propágulos de plantas e invertebrados via mamíferos Neotropicais	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ? FURG	CNPJ: 94.877.586/0001-10

Outras ressalvas

1		CENAP Atibaia-SP
2		CPB João Pessoa-PB
3	Encaminhar à ESEC do Taim a lista das espécies encontradas e a cópia de toda a publicação gerada pela pesquisa, dissertação, artigos, resumos, separatas. Como já existe outro trabalho em andamento com os animais atropelados na UC, é necessário que o pesquisador comunique um 24 horas de antecedência as coletas, para que não atrapalhe o outro projeto em andamento.	ESEC do Taim

Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Descrição do local	Município-UF	Bioma	Caverna?	Tipo
1	BR-101	Mostardas-RS	Pampa	Não	Fora de UC Federal
2	BR-101	Tavares-RS	Pampa	Não	Fora de UC Federal
3	BR-471	Rio Grande-RS	Pampa	Não	Fora de UC Federal
4	BR-471	Santa Vitória do Palmar-RS	Pampa	Não	Fora de UC Federal
5	Estação Ecológica do Taim	RS	Pampa	Não	Dentro de UC Federal
6	BR-116	Arroio Grande-RS	Pampa	Não	Fora de UC Federal

Atividades

#	Atividade	Grupo de Atividade
1	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Fora de UC Federal
2	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Dentro de UC Federal
3	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Dentro de UC Federal
4	Levantamento de dados abióticos em UC federal	Dentro de UC Federal

Atividades X Táxons

#	Atividade	Táxon	Qtde.
1	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Tamandua tetradactyla	-
2	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Tamandua tetradactyla	-
3	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Didelphis albiventris	-
4	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Didelphis albiventris	-

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0832430120220603

Página 3/7



Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 83243-1	Data da Emissão: 03/06/2022 19:54:20	Data da Revalidação*: 03/06/2023
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOFFMANN	CPF: 028.519.520-48
Título do Projeto: Dispersão de propágulos de plantas e invertebrados via mamíferos Neotropicais	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ? FURG	CNPJ: 94.877.586/0001-10

Atividades X Táxons

#	Atividade	Táxon	Qtde.
5	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Cerdocyon thous	-
6	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Cerdocyon thous	-
7	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Procyon cancrivorus	-
8	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Procyon cancrivorus	-
9	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Nasua nasua	-
10	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Nasua nasua	-
11	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Galictis cuja	-
12	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Galictis cuja	-
13	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Eira barbara	-
14	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Eira barbara	-
15	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Lontra longicaudis	-
16	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Lontra longicaudis	-
17	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Conepatus chinga	-
18	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Conepatus chinga	-
19	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Puma concolor	-
20	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Puma concolor	-
21	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Herpailurus yagouaroundi	-
22	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Herpailurus yagouaroundi	-
23	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Leopardus wiedii	-
24	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Leopardus wiedii	-
25	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Leopardus munoai	-
26	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Leopardus munoai	-
27	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Leopardus pardalis	-

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0832430120220603

Página 4/7



Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 83243-1	Data da Emissão: 03/06/2022 19:54:20	Data da Revalidação*: 03/06/2023
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOFFMANN	CPF: 028.519.520-48
Título do Projeto: Dispersão de propágulos de plantas e invertebrados via mamíferos Neotropicais	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ? FURG	CNPJ: 94.877.586/0001-10

Atividades X Táxons

#	Atividade	Táxon	Qtde.
28	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Leopardus pardalis	-
29	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Leopardus guttulus	-
30	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Leopardus guttulus	-
31	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Leopardus geoffroyi	-
32	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Leopardus geoffroyi	-
33	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Myocastor coypus	-
34	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Myocastor coypus	-
35	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Lepus europaeus	-
36	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Lepus europaeus	-
37	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Chrysocyon brachyurus	-
38	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Chrysocyon brachyurus	-
39	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Lycalopex gymnocercus	-
40	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Lycalopex gymnocercus	-
41	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Hydrochoerus hydrochaeris	-
42	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Hydrochoerus hydrochaeris	-

A quantidade prevista só é obrigatória para atividades do tipo "Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ". Essa quantidade abrange uma porção territorial mínima, que pode ser uma Unidade de Conservação Federal ou um Município.

A quantidade significa: por espécie X localidade X ano.

Materiais e Métodos

#	Tipo de Método (Grupo taxonômico)	Materiais
1	Amostras biológicas (Carnívoros)	Animal encontrado morto ou partes (carcaça)/osso/pele, Fezes, Regurgitação/conteúdo estomacal, Ectoparasita
2	Amostras biológicas (Outros mamíferos)	Fezes, Animal encontrado morto ou partes (carcaça)/osso/pele, Regurgitação/conteúdo estomacal, Ectoparasita

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0832430120220603

Página 5/7



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 83243-1	Data da Emissão: 03/06/2022 19:54:20	Data da Revalidação*: 03/06/2023
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOFFMANN	CPF: 028.519.520-48
Título do Projeto: Dispersão de propágulos de plantas e invertebrados via mamíferos Neotropicais	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ? FURG	CNPJ: 94.877.586/0001-10

Materiais e Métodos

#	Tipo de Método (Grupo taxonômico)	Materiais
3	Amostras biológicas (Xenartrha)	Animal encontrado morto ou partes (carcaça)/osso/pele, Fezes, Regurgitação/conteúdo estomacal, Ectoparasita
4	Método de captura/coleta (Carnívoros)	Outros métodos de captura/coleta(Coleta de animais atropelados em rodovias)
5	Método de captura/coleta (Outros mamíferos)	Outros métodos de captura/coleta(Coleta de animais atropelados em rodovias)
6	Método de captura/coleta (Xenartrha)	Outros métodos de captura/coleta(Coleta de animais atropelados em rodovias)

Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo destino
1	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ? FURG	Coleção

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0832430120220603

Página 6/7



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 83243-1 Data da Emissão: 03/06/2022 19:54:20 Data da Revalidação*: 03/06/2023
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.

Dados do titular

Nome: PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOFFMANN CPF: 028.519.520-48
Título do Projeto: Dispersão de propágulos de plantas e invertebrados via mamíferos Neotropicais
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ? FURG CNPJ: 94.877.586/0001-10

Registro de coleta imprevista de material biológico

De acordo com a Instrução Normativa nº 03/2014, a coleta imprevista de material biológico ou de substrato não contemplado na autorização ou na licença permanente deverá ser anotada na mesma, em campo específico, por ocasião da coleta, devendo esta coleta imprevista ser comunicada por meio do relatório de atividades. O transporte do material biológico ou do substrato deverá ser acompanhado da autorização ou da licença permanente com a devida anotação. O material biológico coletado de forma imprevista, deverá ser destinado à instituição científica e, depositado, preferencialmente, em coleção biológica científica registrada no Cadastro Nacional de Coleções Biológicas (CCBIO).

* Identificar o espécime do nível taxonômico possível.

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0832430120220603

Página 7/7