

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

**CONTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES E IMPLICAÇÕES  
TRÓFICAS DA DEPOSIÇÃO SAZONAL DE FEZES DA  
ANDORINHA-AZUL *PROGNE SUBIS* EM UM  
MEGADORMITÓRIO NO RIO NEGRO, AMAZÔNIA  
CENTRAL**

**JESSICA ANDRADE DE OLIVEIRA**

Manaus, Amazonas

Setembro, 2022

**JESSICA ANDRADE DE OLIVEIRA**

**CONTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES E IMPLICAÇÕES TRÓFICAS DA  
DEPOSIÇÃO SAZONAL DE FEZES DA ANDORINHA-AZUL *PROGNE  
SUBIS* EM UM MEGADORMITÓRIO NO RIO NEGRO, AMAZÔNIA  
CENTRAL**

Orientação: DR. MARIO COHN-HAFT

Coorientação: Dr. Jansen Zuanon

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional  
de Pesquisas da Amazônia como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Ciências Biológicas (Ecologia).

Manaus, Amazonas

Setembro, 2022

N972

Oliveira, Jessica Andrade

Contribuição de nutrientes e implicações tróficas da deposição sazonal de fezes da andorinha-azul *Progne subis* em um megadormitório no Rio Negro, Amazônia Central/ Jessica Andrade de Oliveira.-Manaus : [s.n.], 2021. xi, 49 f.: il. (algumas color.)

Dissertação (Mestrado)—INPA, Manaus, 2021.

Orientador: Cohn-Haft, Mario

Coorientador: Zuanon, Jansen

Área de concentração: Ecologia

1. Deposição fecal. 2. Aves. 3. Nutrientes. 4. Ecossistemas.

Título.

CDD 19. ed. 581.5

### **Sinopse:**

Estudou-se a contribuição de nutrientes contidos nas fezes depositadas pela andorinha-azul (*Progne subis*) em uma ilha do Rio Negro, utilizada como megadormitório por centenas de milhares de indivíduos desta espécie, durante migração não-reprodutiva através da Amazônia. Foi pesquisado se o aporte nutricional provido pelas andorinhas seria suficiente para desencadear efeitos sistêmicos na água e solo da ilha, bem como na biota aquática local. Para isso, foi realizada granulometria e quantificação nutricional de amostras de solo, bem como estimativas de abundância, biomassa, diversidade e riqueza de peixes e macroinvertebrados aquáticos tanto na ilha-dormitório como em uma ilha controle situada nas proximidades. Também foram analisados os estômagos dos peixes coletados para verificar se estes se beneficiam do recurso fecal depositado pelas andorinhas.

**Palavras-chave:** Deposição fecal, aves, nutrientes, ecossistemas

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao programa de pós-graduação em Ecologia do INPA pela estrutura, qualidade, assessoria e por toda a formação que me ofereceu. Também agradeço ao CNPQ pela bolsa concedida e aos financiadores deste projeto, Purple Martin Conservation Association e Disney Conservation que ofereceram a oportunidade de entender e acrescentar um pouco mais no conhecimento acerca da espécie focal deste trabalho, a andorinha-azul. Gostaria de agradecer meu orientador Mario Cohn-Haft pelas portas e conexões que ele abriu em minha vida profissional e pessoal, e ainda, por compartilhar comigo guloseimas achocolatadas e caboclinhas que tornavam os dias mais alegres e saborosos. Em especial, gostaria de agradecer profundamente meu coorientador Jansen Zuanon por todo o apoio e orientação em todas as fases desse trabalho, não haveriam palavras que eu pudesse escrever para descrever meus sentimentos de respeito, admiração e gratidão por ele; em muitos momentos hesitei, perdi forças e duvidei da conclusão e realização deste trabalho, excepcionalmente no período de pandemia onde passei por diversos traumas e problemas psicológicos pela interrupção dos trabalhos de campo, Jansen se mostrou um anjo (e não estou brincando) em nossas conversas com muita paciência, otimismo e sabedoria me orientando e me trazendo luz em um momento onde eu estava imersa em um rio de desilusão e escuridão, eu nunca me esquecerei e sempre serei grata a esta pessoa ímpar com quem tive a honra de poder trabalhar e conviver. Agradeço a todo o laboratório ligado a Coleção de Aves do INPA, em especial Anaís e Cassiano com quem compartilhei minha rotina de trabalho por muitos meses. A equipe de trabalho vinculada ao projeto de conservação da andorinha-azul, International Purple Martin Working Group, com quem semanalmente me reuni por anos e dividi riquíssimos momentos em campo, deste grupo destaco meu profundo agradecimento a Joe Siegrist, Presidente/CEO da Purple Martin Conservation Association, que idealizou e apoiou este trabalho desde o início, e se mostrou um grande amigo ao longo dos anos. Não poderia deixar de agradecer separadamente minha colega de trabalho Eliene Arruda, que transitou de mãos dadas comigo em várias etapas deste trabalho, minha parceira que sempre me acompanhou e apoiou nas expedições de campo e em outras presepadas, lamento imensamente que em decorrência de minhas instabilidades emocionais eu não tenha sido tão paciente e solícita para ela quanto ela foi para mim, mas sempre guardarei Eliene com muito carinho em minha memória; agradeço inclusive sua mãe que por diversas vezes foi nossa motorista até o campo, sempre acompanhada de bom humor e músicas

boas em seu carro.

Durante a realização deste trabalho fiz expedições de campo, que além da ajuda financeira já citada acima, contou com a ajuda de diversas pessoas inesquecíveis, entre elas, Zé do Boto, o piloto de barco e auxiliar de campo que me ensinou a pescar, me ensinou muito sobre o Rio Negro, sobre os animais, sobre a Amazônia e sobre a vida no interior do Amazonas; Manoel e Papagaio também me acompanharam e auxiliaram em campo, além de prepararem deliciosas peixadas e contarem diversas histórias que descontraíram o cansaço do trabalho de campo; deixo meu muito obrigada para toda a equipe do flutuante Boto Jacaré Ubal Turismo pela sua estrutura acolhedora e pela companhia nas expedições.

Este trabalho contou com o auxílio de diferentes equipes, de diferentes áreas para ser realizado, entre eles cito o Laboratório Temático de Solos e Plantas – LTSP/INPA e toda sua equipe que me orientou na análise química dos solos e fez coletadas, dando suporte teórico e prático nesta área totalmente nova para mim; entre os integrantes do laboratório destaco a ajuda de Roberta que foi extremamente paciente e solicita comigo, e ainda, Beto Quesada que me guiou em conversas e ideias além de possibilitar todo o processo das análises. O laboratório de Citotaxonomia e Insetos Aquáticos – LACIA/INPA por todo o apoio técnico na etapa de identificação dos macroinvertebrados aquáticos, excepcionalmente Jeane Marcele Nascimento que identificou as amostras e me orientou acerca da literatura necessária para discutir os resultados obtidos nesta parte do estudo. O Laboratório de Sistemática e Ecologia de Peixes por toda a estrutura para identificação e análises dos peixes coletados, aqui novamente agradeço ao apoio de Jansen que esteve presente em todos os momentos desta etapa do trabalho, e Arnóbio o técnico responsável que me auxiliou na organização do material para de coleta e de laboratório. Agradeço a Tânia Pena Pimentel que me auxiliou na preparação e organização da coleta e análise das amostras de água e de algas perifíticas, infelizmente esta etapa foi apenas idealizada e preparada, mas em decorrência da paralisação das atividades presenciais pela pandemia do COVID-19 não foi possível realizar esta fase do trabalho.

Agradeço as pessoas fantásticas que conheci e que estiveram comigo em minha trajetória do mestrado, Carol, Marina, Ray e João que foram minha família e minha alegria durante a estadia em Manaus, eles foram minha verdadeira morada. Toda a turma da Ecologia 2019, que proporcionaram diversos aprendizados e risadas, foi um prazer conhecer e conviver com essas pessoas. Eu não poderia deixar de falar da grande professora de vida que eu tive a honra de morar

durante alguns meses, Cris, que tanto me ensinou sobre o mundo, sobre pessoas, sobre afeto, sobre viver e sobre entender o outro.

A sanidade mental é uma linha tênue na vida acadêmica, e por muitos momentos eu me questioneei se eu ainda a tinha, ou se algum dia eu a tive. Ter por perto pessoas que nos apoiam e nos doam um pouco de seu carinho e atenção é um privilégio, e eu nunca, jamais, vou me esquecer do privilégio que tive por todo esse tempo em ter familiares e amigos incríveis que me deram esse presente. Meus pais, para quem tanto custou a minha ausência quando me mudei para Manaus, e que foram as pessoas que tanto me apoiaram em todos os meus estudos, duas pessoas que sempre sacrificaram o pouco que tinham para que eu pudesse ter o melhor, a eles meu amor e gratidão eternos e incondicionais. Além dos grandes amigos que fiz em Manaus (já citados acima), nunca poderia deixar de falar dos meus amigos de Uberlândia, começando pela minha prima Andressa que esteve presente comigo durante as fases mais escuras dos meus surtos psicológicos da pandemia; meus amigos Igor e Sanny que frequentemente me ligavam nas madrugadas quentes de Manaus e faziam com que eu sentisse que ainda havia um lar me aguardando em Uberlândia; aos reis da bad vibe Paulinha, Fenômeno e Renan que estiveram comigo em diversos momentos deste processo, especialmente nos momentos finais, e que ampararam e cuidaram da minha cabecinha e estômago para que eu não decaísse de novo na melancolia. Obrigada a todos os envolvidos, obrigada pelo carinho, pelos conselhos, pelos lanches, e por serem meu carregador de baterias.

“Nós somos andorinhas  
Que vão e que vem  
À procura de amor  
Às vezes volta cansada  
Ferida, machucada  
Mas volta pra casa”

As Andorinhas - Trio Parada Dura

## RESUMO

Alguns animais terrestres, como aves e morcegos, apresentam altas concentrações de nutrientes nas fezes, e grandes carregamentos fecais acontecem quando muitos desses animais se reúnem em sítios de reprodução ou dormitórios. Nessas situações, uma única espécie pode influenciar a composição e a dinâmica de toda uma comunidade biológica. No Rio Negro, Amazônia Central, uma ilha é utilizada como ‘megadormitório’ por centenas de milhares de indivíduos da ave migratória andorinha-azul, *Progne subis*, durante sua invernagem. A pobreza de nutrientes no ecossistema na região do megadormitório o torna um laboratório natural para verificar os efeitos da deposição de fezes do enorme contingente sazonal de *P. subis* na dinâmica de nutrientes e nas relações tróficas da biota aquática associada ao dormitório. Avaliamos os efeitos do aporte sazonal de recursos alóctones representados pelas fezes das andorinhas nas assembleias locais de macroinvertebrados aquáticos e peixes, bem como na composição de nutrientes do solo da ilha. Utilizamos relações alométricas para estimar o aporte de nutrientes com base na abundância de indivíduos que pernoitavam na ilha, tempo de estadia, biomassa fecal e concentração de nutrientes nas fezes das aves. Amostramos macroinvertebrados aquáticos e peixes e calculamos índices faunísticos de riqueza, abundância e biomassa e composição de espécies em comparação com uma ilha próxima com características físicas similares às do dormitório. Também analisamos o conteúdo estomacal de peixes para verificar o possível consumo direto do material fecal. O aporte fecal sazonal das andorinhas na ilha dormitório foi estimado em média de 697 kg/ha de fezes secas, incluindo 9,8 kg/ha de nitrogênio. As características químicas e físicas do solo da ilha dormitório foram marginalmente diferentes do solo da ilha controle. Não houve diferença na abundância de indivíduos, na riqueza de espécies e na composição das comunidades de macroinvertebrados aquáticos entre as duas ilhas, e não houve relação entre o número de aves que pernoitavam nas ilhas e os atributos faunísticos desses animais. A comunidade de peixes da ilha dormitório diferiu da ilha controle, mesmo com apenas 3 quilômetros de distância entre elas. Observamos que houve consumo direto das fezes das andorinhas por alguns indivíduos de espécies de peixes que figuraram entre as mais abundantes das duas ilhas, que forrageiam em diferentes estratos da coluna d’água. Isso indica que diferentes componentes da comunidade de peixes podem se beneficiar do recurso sazonalmente disponível na ilha dormitório e ajudar a manter uma alta diversidade de peixes e de hábitos alimentares nesse local. Estudos mais aprofundados e com um maior número de amostragens são necessários para elucidar as relações da ave migratória *P. subis* com os ecossistemas utilizados durante a sua migração.



## ABSTRACT

Some land animals, such as birds and bats, have high concentrations of nutrients in feces, and large fecal loads occur when many of these animals gather at breeding sites or roosts. In these situations, a single species can influence the composition and dynamics of an entire biological community. In the Rio Negro, Central Amazon, an island is used as a 'megaroost' by hundreds of thousands of individuals of the migratory bird Purple martin, *Progne subis*, during its wintering. The nutrient poverty in the ecosystem of this megadorm makes it a natural laboratory to verify the effects of fecal deposition of the huge seasonal contingent of *P. subis* on the dynamics of nutrients and trophic relations of aquatic biota associated with the roost. We evaluated the effects of seasonal contribution of allochthonous resources represented by the droppings of martins in the local assemblages of aquatic macroinvertebrates and fish, as well as in the composition of nutrients of the island's soil. We used allometric relationships to estimate the nutrient supply based on the abundance of individuals who slept on the island, time of stay, fecal biomass and concentration of nutrients in the feces of birds. We sampled aquatic macroinvertebrates and fish and calculated faunistic indices of richness, abundance and biomass and species composition compared to a nearby island with physical characteristics like that of the roost. We also analyzed the stomach contents of fish to verify the possible direct consumption of fecal material. The seasonal fecal intake of martins on the island was estimated at 697 kg/ha of dry feces on average, including 9,8 kg/ha of nitrogen. The chemical and physical characteristics of the roost island soil were marginally different from the control island soil. There was no difference in the abundance of individuals, species richness and composition of aquatic macroinvertebrate communities between the two islands, and there was no relationship between the number of birds that roosted on the islands and the faunistic attributes of these animals. The roost island fish community differed from the control island, only three kilometers away. We observed that there was direct consumption of puma feces by some individuals of fish species that were among the most abundant of the two islands and which forage in different strata of the water column. This indicates that different components of the fish community can benefit from the seasonally available resource on the megaroost and help maintain a high diversity of fish and dietary behaviors there. More studies with a more intensive sampling regime are necessary to further elucidate the relationships of the migratory bird *P. subis* with the ecosystems used during its migration.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras .....	ix
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Material e Métodos .....</b>	<b>4</b>
Área de estudo .....	4
Coleta de fezes .....	6
Contagem de aves .....	7
Estimativa do aporte de fezes .....	8
Composição nutricional das fezes .....	9
Coleta, processamento e determinação dos nutrientes do solo .....	10
Coleta e identificação de macroinvertebrados aquáticos .....	11
Coleta e identificação de peixes .....	11
Análise de conteúdo estomacal .....	12
Análise de dados .....	12
<b>4. Resultados .....</b>	<b>14</b>
Composição nutricional das fezes de <i>Progne subis</i> .....	14
Análise física e nutricional dos solos das ilhas dormitório e controle .....	16
Composição da comunidade de macroinvertebrados aquáticos .....	16
A ictiofauna presente nas ilhas dormitório e controle .....	18
Análise de conteúdo estomacal .....	24
<b>5. Discussão .....</b>	<b>24</b>
<b>6. Conclusões .....</b>	<b>29</b>
<b>7. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>31</b>
<b>8. Apêndices .....</b>	<b>39</b>

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** (a) Localização dos sítios de estudo em maior escala; (b) vista ampliada da (c) ilha controle da (d) ilha dormitório. .... 6.

**Figura 2.** Abundância de indivíduos (A) e riqueza de famílias (B) da comunidade de macroinvertebrados aquáticos na ilha dormitório e na ilha controle em cada período de coleta. (Note que não houve coletas em 2021). .... 17.

**Figura 3.** GLM relacionando a abundância (A e B) e riqueza de famílias (C e D) de macroinvertebrados aquáticos nas ilhas dormitório e controle contra o log da abundância de aves. Todas as regressões resultaram em correlações baixas e  $p > 0,05$ . .... 19.

**Figura 4.** NMDS usando distância de Bray-Curtis para medir a distância entre as comunidades de macroinvertebrados aquáticos da ilha dormitório (lilás) e controle (laranja), tanto em relação a abundância de indivíduos de cada espécie (A), quanto em relação à abundância de indivíduos de cada categoria trófica (B). .... 20.

**Figura 5.** Atributos da ictiofauna ao longo das coletas (tempo) nas ilhas, dormitório (rasurado) e controle (sólido). .... 23.

**Figura 6.** Ordenação (NMDS, para dados de abundância de indivíduos e distância de Bray-Curtis) das amostras de peixes coletadas nas ilhas dormitório (lilás) e controle (laranja), em relação à abundância de indivíduos por espécie (A) e por categoria trófica (B)..... 24.

**Figura 7.** GLM dos atributos da ictiofauna nas ilhas dormitório (A, B, C, D) e controle (E, F, G, H) contra o log da abundância de aves. Todas as regressões resultaram em correlações baixas com  $p > 0,05$ . .... 25.

## 1. INTRODUÇÃO

Os animais medeiam a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas, e desempenham papéis-chaves nas teias alimentares. Em ambientes de água doce a participação dos animais nos ciclos tróficos pode ocorrer de diferentes formas, seja diretamente através do consumo e posterior excreção dos nutrientes, ou indiretamente a partir dos efeitos que eles causam na dinâmica das populações de presas e/ou na estrutura física do habitat (Vanni, 2002). Em vias diretas, a ciclagem dos nutrientes pode ocorrer de duas maneiras, a primeira é a reciclagem, que ocorre quando o animal libera nutrientes no mesmo habitat em que os consumiu; e a segunda é a translocação, caracterizada pelo transporte físico dos nutrientes, que são liberados em um habitat ou ecossistema diferente do qual foram ingeridos, se tornando um recurso de origem alóctone (Kitchell *et al.*, 1979; Vanni, 1996; Polis *et al.*, 1997).

Planícies de inundação, como as da Amazônia, são extremamente dinâmicas, e durante o período de enchente dos rios muita matéria orgânica de origem alóctone é incorporada ao ambiente aquático, como por exemplo fezes e carcaças de animais que normalmente habitam ambientes terrestres (Junk *et al.*, 1989). As fezes contêm uma energia que não foi assimilada pelo consumidor, e ela pode tanto continuar na cadeia trófica e ser assimilada por organismos detritívoros e/ou decompositores, quanto se tornar conteúdo nutricional disponível para os produtores, por meio da dissolução de íons na água, principalmente de amônia, fosfato e carbono orgânico (Begon, 2006).

Alguns animais terrestres, como aves e morcegos, se destacam por possuírem altas concentrações de fósforo e nitrogênio em suas fezes, as quais são amplamente utilizadas na agricultura como adubo (Halliday e Sylvester, 1954; Hadas e Rosenberg, 1992; Boateng *et al.*, 2009; Ferreira, 2019; Ashworth *et al.*, 2020; Drózdź *et al.*, 2020). Em ambientes naturais, a deposição em larga escala desse material fecal, conhecido como *guano*, fornece um aporte nutricional extra para o meio, o que pode ser muito importante em sistemas aquáticos com baixa produtividade primária. Eventos de grandes deposições fecais podem ocasionar a eutrofização do ambiente aquático, levando à morte dos consumidores que dependem do oxigênio dissolvido na água (Loder *et al.*, 1996; Venugopalan *et al.*, 1998; Venugopalan *et al.*, 2005; Gwiazda *et al.*, 2010, 2014), ou no caso de um crescimento controlado dos produtores, a deposição pode desencadear um sistema de cascata trófica de baixo para cima (efeito *bottom-up*), levando a mudanças na teia alimentar local (Hairston *et al.*, 1960; Sánchez-Piñero e Polis, 2000; Gagnon *et al.*, 2013; Kéfi *et*

*al.*, 2012; Ferreira, 2019). Por exemplo, em algumas lagoas do Ártico a grande quantidade de fezes depositadas por gansos migratórios foi positivamente associada com maior produtividade desses ambientes, aumentando a riqueza de táxons de invertebrados aquáticos e de fitoplâncton (Jensen *et al.*, 2019). Por outro lado, um estudo em lagos da costa siciliana (Itália) constatou que a “guanotrofização” sazonal causada por fezes de gaivotas alterou a estrutura da teia alimentar local, resultando na diminuição da diversidade e complexidade trófica das comunidades de consumidores primários e secundários, onde, especialmente peixes passaram a apresentar comportamento alimentar onívoro durante as estações com alta entrada de *guano* (Vizzini, Signa e Mazzola, 2016). Além dos efeitos na produtividade biológica local e na qualidade da água (Brinkhurst e Walsh, 1967; Leentvaar, 1967; Ganning e Wulff, 1969; Manny *et al.*, 1994; Scherer *et al.*, 1995; Anderson e Polis, 1999; Fleming e Fraser, 2001), o material orgânico e os nutrientes podem ser acumulados e incorporados ao solo (Wang *et al.*, 2020).

Grandes aportes fecais acontecem normalmente em colônias reprodutivas de aves aquáticas, ou em locais que têm o papel de dormitório noturno para populações de aves migratórias. Sendo assim, em muitos desses casos uma única espécie pode influenciar de diversas formas a composição e a dinâmica de toda uma comunidade biológica (Polis *et al.*, 1997), seja pelo acréscimo de novos recursos nutricionais, ou até mesmo pela perturbação que esses animais causam no ecossistema em que se inserem. Atualmente a literatura sobre deposição de fezes em colônias e dormitórios de aves abrange majoritariamente grupos de aves aquáticas, deixando lacunas sobre os efeitos de tal fenômeno causado por demais aves que apresentam comportamento gregário, como columbídeos, psitacídeos, andorinhões e andorinhas, por exemplo (Chaichana *et al.*, 2010; Gremillion e Malone, 1986; Hahn *et al.*, 2007, 2008; Harris, Ladowski e Donald, 1981; Mallin *et al.*, 2016; Manny, Johnson e Wetzel, 1994; Marion *et al.*, 1994; Moore *et al.*, 1998; Nrnberg e LaZerte, 2016; Olson *et al.*, 2005; Portnoy, 1990; Post *et al.*, 1998; Röncke *et al.*, 2008; Scherer *et al.*, 1995).

No Rio Negro, na Amazônia Central brasileira, existe uma ilha que desempenha o papel de ‘megadormitório’ para uma espécie passeriforme de insetívoro aéreo, a andorinha-azul *Progne subis* (Linnaeus, 1758) - Hirundinidae (Nebel *et al.*, 2010; Rosenberg *et al.*, 2019). Grande número dos indivíduos dessa espécie migra da América do Norte para o Brasil durante seu período de invernagem (Fraser *et al.*, 2012, 2017; Stutchbury *et al.*, 2009), e durante os meses de fevereiro a abril, centenas de milhares deles forrageiam durante o dia nos arredores do rio, e repousam empoleirados durante a noite em uma pequena ilha de igapó, que neste período está alagada.

A andorinha-azul, *Progne subis*, é um insetívoro aéreo da América do Norte, e uma das poucas espécies de aves que migram para a Amazônia durante o inverno boreal em busca de melhores condições alimentares, devido à drástica diminuição de insetos em suas áreas de reprodução (Allen e Nice 1952). Sua área de ocorrência não reprodutiva se estende da bacia amazônica até o sudeste do Brasil, onde a paisagem foi convertida quase inteiramente para uso agrícola, expondo-as a pesticidas, que podem causar mortalidade direta ou indireta (Fraser *et al.* 2012). Modelos matemáticos criados através de dados demográficos e energéticos estimam que a população de *Progne subis* consuma uma biomassa de cerca de 116 ( $\pm$  29.192) toneladas métricas de insetos anualmente, e ainda, que o período em que essa espécie mais consome insetos é durante sua invernagem na América do Sul (Kelly *et al.* 2013). Esses resultados indicam que esse insetívoro aéreo desempenha um importante papel potencial de controle de pragas agrícolas e vetores de doenças tropicais (Kale, 1968), apresentando importância econômica através dos serviços ecossistêmicos prestados à população humana. Contudo, ainda não existem estudos que expliquem a dinâmica trófica entre o consumo dos insetos e os efeitos dessa biomassa depositada no ecossistema em estado de detrito, o que pode ser particularmente interessante sob a perspectiva dos ambientes ocupados apenas sazonalmente pelas andorinhas durante a sua invernagem.

Relatos da comunidade local indicam que as andorinhas por muitos anos pernoitavam em uma ilha próxima, que possui dimensões e aspectos físicos semelhantes aos da ilha dormitório e fica a 3km de distância; aparentemente, apenas a partir de 2019 elas alteraram seu local de repouso noturno para a ilha utilizada atualmente. Essa troca possivelmente ocorreu devido às perturbações causadas por grandes embarcações turísticas que ancoravam na ilha durante a noite, gerando muito ruído. Importante ressaltar que ainda não é conhecida e comprovada a razão pela qual os indivíduos de *P. subis* escolhem determinada ilha como dormitório, pois ambas as ilhas possuem os aspectos característicos dos dormitórios escolhidos por essa espécie, que em geral são ilhas florestais cercadas por água (Fraser *et al.*, 2017).

O primeiro semestre do ano na Amazônia central corresponde ao período de cheia dos rios, o que faz com que esse megadormitório seja constituído por uma extensão de floresta inundada por águas pretas. Esse tipo de água é caracterizado pelas baixas concentrações de nutrientes, baixa produtividade biológica, além de menor abundância e biomassa de peixes quando comparada a águas brancas e claras da Amazônia (Sioli, 1954b, 1969, 1975; Irion, 1978; Fearnside, 1985; Singer e Aguiar, 1986; Furch e Klinge, 1989a; Furch, 1997; Furch e Junk, 1997a; Henderson *et al.*, 1998;

Saint-Paul, 2000). As características químicas de pobreza nutricional no ecossistema deste dormitório o tornam um laboratório natural para verificar se a deposição de fezes do enorme contingente sazonal de indivíduos de *P. subis* pode acarretar efeitos na quantidade de nutrientes disponíveis e nas relações tróficas entre diferentes componentes da biota aquática associada à ilha dormitório. Neste trabalho, buscamos estimar o aporte de nutrientes para o sistema aquático do megadormitório através da deposição sazonal das fezes das andorinhas, bem como avaliar os efeitos desse aporte de recursos alóctones na estrutura trófica dos macroinvertebrados aquáticos e peixes que habitam a ilha, e ainda os possíveis efeitos dessa deposição fecal na composição de nutrientes do solo da ilha dormitório. Nossas hipóteses são que a (I) as fezes de *Progne subis* possuem uma composição semelhante à de outras aves de dieta e tamanho similares aos desta espécie; (II) há consumo direto das fezes das andorinhas pelos peixes; (III) a deposição sazonal de fezes pelas andorinhas afeta significativamente as comunidades de peixes e de macroinvertebrados aquáticos, resultando em aumentos na abundância, biomassa e riqueza de espécies em relação à ilha controle. E ainda, (IV) o aporte sazonal de fezes de andorinhas na ilha dormitório resulta em um aumento significativo da quantidade de nutrientes disponíveis no solo daquela ilha, em relação à ilha controle.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar os possíveis efeitos da deposição fecal de um grande contingente de andorinhas-azuis *Progne subis* no perfil de nutrientes do solo e na estrutura trófica aquática de uma ilha utilizada sazonalmente pela espécie como dormitório no Rio Negro, durante sua invernagem no Brasil.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- (I) Analisar a composição de nutrientes das fezes de *P. subis*;
- (II) Estimar a quantidade de fezes depositadas pelas andorinhas durante a sua estadia sazonal na ilha-dormitório;
- (III) Verificar se houve efeito do aporte de fezes das andorinhas-azuis sobre as características nutricionais do solo da ilha dormitório, após a estadia das andorinhas;
- (IV) Avaliar o possível consumo direto das fezes das andorinhas azuis pelos peixes durante a sua estadia na ilha dormitório;
- (V) Analisar a variação temporal nas comunidades de peixes e macroinvertebrados aquáticos da ilha dormitório durante o período de enchente do rio Negro, em função do seu uso como local de invernagem pelas andorinhas-azuis.

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

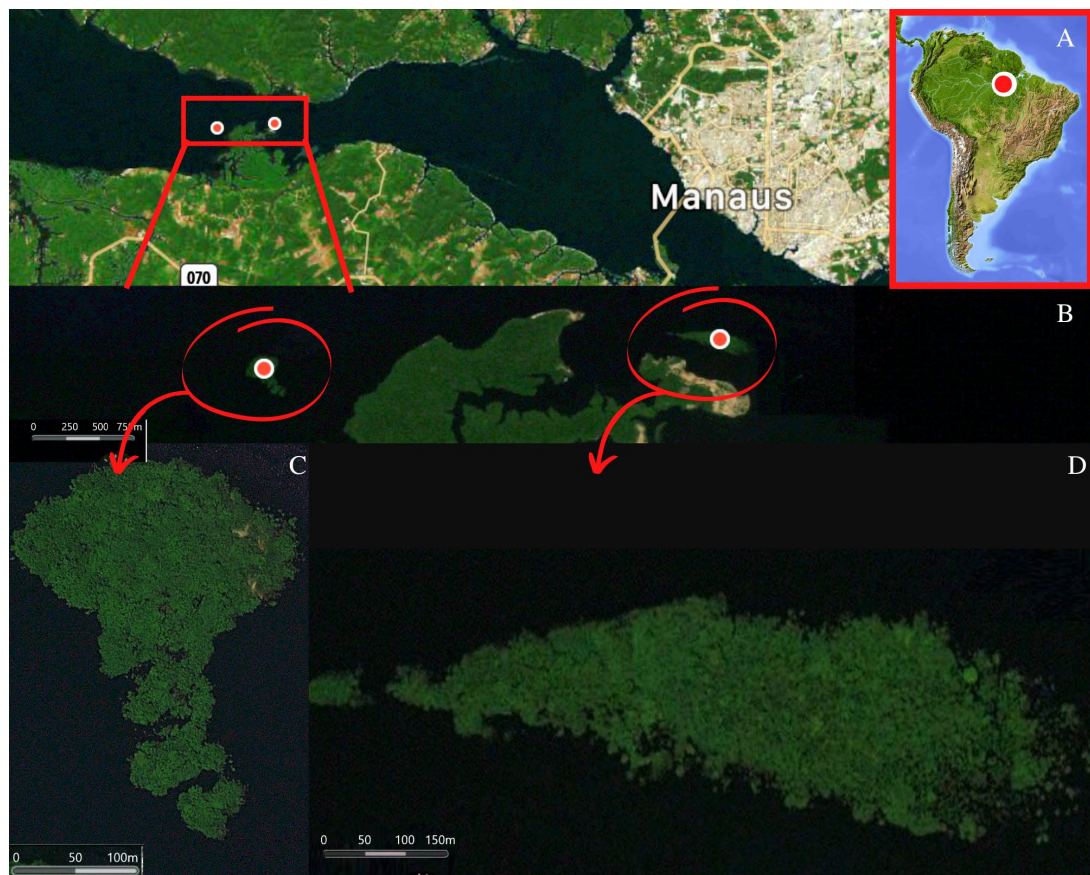
### **3.1. Área de estudo**

O megadormitório de andorinhas, onde este projeto foi desenvolvido, se trata de uma ilha fluvial do baixo Rio Negro, Amazônia Central (3°04'15"S 60°17'46"W) (Fig. 1D) próxima à comunidade Cachoeira do Castanho, localizada no município de Iranduba, AM (Fig. 1B). Como forma de obter um controle experimental nas amostragens, uma outra ilha foi selecionada para representar um ambiente exposto a condições ambientais similares (tipo de água, pluviosidade,



clima, fase do pulso de inundação), porém sem a interferência causada pela presença das andorinhas (Fig. 1C). A proximidade e similaridade da ilha controle (3°04'22"S 60°19'39"W) com a ilha dormitório proporcionou condições logísticas adequadas para a realização de amostragens simultâneas. Além dessa similaridade geral do habitat nos dois locais, sabe-se que a ilha controle foi utilizada como dormitório pelas andorinhas-azuis antes de 2019, o que reforça a adequação desse local para uso como controle experimental durante o estudo.

Ao todo foram realizadas seis expedições de amostragem, sendo cinco delas no período de enchente entre os meses de dezembro de 2019 a março de 2020, uma em novembro de 2020 (durante a estação seca), e uma última expedição em março de 2022 (enchente). Estavam previstas outras sete expedições, sendo duas nos meses de abril e maio 2020, e cinco entre os meses de janeiro e maio de 2021, abrangendo tanto os meses de ausência da andorinha-azul no dormitório (início de janeiro, final de abril e maio), quanto os meses de estadia (final de janeiro, fevereiro, março e início de abril). Contudo, esse cronograma não pôde ser executado em função da paralisação das atividades de ensino e pesquisa em decorrência da pandemia do COVID-19 a partir de março de 2020 (Portaria nº 1866/2020/SEIMCTIC. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-interministerial-n-15-de-25-de-marco-de-2020-250708617>) . Em agosto de 2020 a Portaria nº 3220/2020-SEI-MCTIC (Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-3.220-de-26-de-agosto-de-2020-274724724>) definiu um cronograma de retorno gradual às atividades presenciais, o que permitiu a realização de uma quinta expedição em outubro. Contudo, em janeiro de 2021, através da Portaria nº 4.280/2020/SEI-MCTI (Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-interministerial-n-4.379-de-18-de-janeiro-de-2021-299553326>) o retorno das atividades presenciais foi suspenso, o que impediu o prosseguimento das atividades de amostragens em campo, bem como a realização da maioria das análises que dependiam do uso de laboratórios do INPA e dos serviços de seus respectivos técnicos.



**Figura 1.** (A) Localização geográfica da área geral de estudo, (B) distância relativa entre as ilhas dormitório e controle, e estrutura geral da (C) ilha controle e da (D) ilha dormitório.

### 3.2. Coleta de fezes

No intuito de quantificar a deposição fecal e determinar a composição nutricional das fezes de *P. subis*, bem como, estimar o aporte potencial de nutrientes ao ecossistema da ilha-dormitório, foram realizadas cinco coletas de fezes, de duas maneiras: com uso de armadilhas fecais (Apêndice B), e por meio de busca ativa de fezes retidas nas folhas nas árvores das ilhas. As armadilhas fecais foram utilizadas principalmente para estimar a deposição de fezes pelas andorinhas por unidade de tempo. As armadilhas consistiram em 20 bandejas de plástico (cada uma medindo 28 x 18 cm, 504 cm<sup>2</sup>) atadas a galhos das árvores da floresta inundada para interceptar fezes em pontos estratégicos, já citamos acima, que representavam possíveis locais de poleiros. Tais pontos estratégicos foram escolhidos de acordo com dois parâmetros, o primeiro é referente a observações preliminares através das quais houve indicativos de que as andorinhas-azuis utilizavam esses pontos como poleiros, e o segundo parâmetro está relacionado à logística de acesso, pois devido à densidade da

vegetação do igapó, alguns locais utilizados como poleiros eram inacessíveis. Sendo assim, esses “pontos estratégicos” são áreas possivelmente utilizadas como poleiro por *P. subis*, e que foram possíveis de ser acessadas de barco para a realização das amostragens. Para evitar que as folhas interceptassem as fezes antes de caírem nas bandejas, elas foram cortadas com uma tesoura de poda. Para isso, 20 armadilhas fecais foram distribuídas em cinco locais dentro da ilha (pontos de coleta), mantendo uma distância de aproximadamente 100 m uma da outra, de forma que quatro armadilhas ficaram dispostas em cada ponto durante 11 horas consecutivas (entre 17:00h, momento de chegada das andorinhas para o repouso noturno, e 06:00h, quando as últimas andorinhas haviam deixado o dormitório para o forrageio diurno). Um conjunto idêntico de bandejas, posicionadas de forma similar e pelo mesmo período, foi montado na ilha controle (que não era utilizada como dormitório pelas andorinhas).

Neste trabalho utilizamos a variável explanatória “unidade fecal” para associar a diferentes variáveis respostas da biota. Aqui, definimos “unidade fecal” como uma porção de fezes “completa”, ou seja, resultado de uma única defecação. Uma unidade fecal apresenta peso de 98 mg, de acordo com uma média de 40 amostras de porções fecais recolhidas das bandejas que puderam ser visualmente identificadas como um conteúdo completo. Os detalhes do processamento e análise das fezes são descritos abaixo.

### 3.3. Contagem de aves

Além de *P. subis*, os sítios de estudo também são usados por outras espécies de aves como poleiro e dormitório, e visto que quanto maior o número de aves em um determinado local, maior será a quantidade de fezes depositadas, utilizamos a abundância de indivíduos que pernoitavam na ilha como um *proxy* para estimar inicialmente a quantidade de “unidades fecais” depositadas nas áreas de estudo (ilhas). Esse procedimento foi necessário porque não foi coletada nenhuma amostra fecal na ilha controle (em ambos os métodos de coleta com esforço amostral padronizado), possivelmente refletindo a baixa quantidade de aves que ocupavam aquele local. Sendo assim, a partir da contagem foi possível calcular a diferença entre as abundâncias de aves das ilhas, e ainda, entre os períodos com e sem a presença da andorinha-azul no megadormitório. Ao correlacionar a variável preditora “abundância de aves” com as variáveis resposta, foi possível estimar a influência das fezes depositadas no ecossistema das ilhas. No período de estadia das andorinhas a quantidade de indivíduos que pernoitavam na ilha dormitório era alta, demandando uma técnica específica de

contagem. Para isso, utilizamos dados de abundância de *P. subis* advindos do trabalho da Dissertação de Mestrado de Eliene Arruda, a qual desenvolveu uma metodologia para estimar o número de andorinhas que ocupam a ilha dormitório durante a noite. O trabalho de Eliene foi realizado simultaneamente ao presente estudo (dados não publicados). A contagem de indivíduos que pernoitam na ilha controle foi realizada em um barco do tipo voadeira, em movimento a uma distância de 150 m circundando a ilha das 17h às 18h30, nos mesmos dias em que as armadilhas fecais foram instaladas.

Importante observar que durante a primeira coleta realizada em dezembro de 2019 (em ambas as ilhas) e na segunda coleta realizada em janeiro de 2020 (na ilha controle), não foi possível estimar a abundância de aves em decorrência de problemas no delineamento amostral. Portanto, para estes três eventos de amostragem (nos quais ainda não era esperada a presença de andorinhas azuis naqueles locais), foi utilizada uma média da abundância obtida nas contagens de aves (de qualquer espécie) realizadas nos cinco eventos de amostragem em que não havia a presença das andorinhas, ou seja, a quinta contagem na ilha dormitório, e todas as contagens realizadas na ilha controle.

### **3.4. Estimativa do aporte de fezes**

Para estimar o aporte de fezes e nutrientes depositados pelas aves que pernoitam nas ilhas, usamos os dados de abundância de aves, as estimativas de taxa de excreção diária das aves, os valores médios da biomassa fecal, e, os dados de concentração nutricional obtidos nas análises químicas das fezes (descritas mais à frente).

Inicialmente, foi estimado o número total de fezes que são adicionadas sobre a ilha durante uma noite, este valor é o resultado da multiplicação entre abundância de aves e a taxa de excreção noturna estimada para esses animais. Segundo Manny *et al.* (1994) uma ave com atividade diurna normalmente defeca aproximadamente quatro unidades fecais por noite, o que seria aproximadamente cinco vezes menos que o padrão para o período diurno. Contudo, este padrão é proposto para aves aquáticas herbívoras e de grande porte, como gansos, diferentemente da espécie aqui estudada, que possui, em média, apenas 55 g (Allen e Nice, 1952) e se alimenta majoritariamente de insetos aéreos. Considerando que o tamanho do corpo e o tipo de dieta estão diretamente ligados às taxas de defecação de aves (Hahn *et al.*, 2007), para definir a taxa de excreção consideramos neste trabalho que as andorinhas passam por dois momentos de atividade

mais intensa no dormitório: a chegada, no fim da tarde, e o amanhecer, podendo ainda serem perturbadas por situações naturais ou antrópicas durante a noite. Sendo assim, a taxa de excreção estimada por indivíduo variou de uma a três vezes por noite, e optamos por apresentar os três valores de estimativas, pois existe uma lacuna na literatura sobre a taxa de defecação de andorinhas, ou aves silvestres de pequeno porte, que respalde a escolha de apenas um desses resultados.

A estimativa da biomassa de fezes depositadas pelas aves nas ilhas durante a noite foi calculada utilizando o número total de fezes por noite (como explicado acima) multiplicado pelo peso médio de uma unidade fecal (98 mg). Neste trabalho também estimamos o carregamento nutricional depositado pelas aves nas ilhas durante os meses de coleta; para isto, multiplicamos a concentração de cada um dos nutrientes aqui analisados (C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn) em 98 mg de fezes (uma unidade fecal) pelo número total de unidades fecais depositadas por noite em cada ilha. Finalmente, para determinar a deposição mensal de fezes (biomassa) e aporte de nutrientes, foi realizada uma multiplicação entre os valores encontrados para uma noite e o número de dias do mês em questão.

Importante observar que, como dito anteriormente, a contagem de aves foi realizada mensalmente devido à impossibilidade financeira de ir ao campo em vários dias do mês; por isso, aqui consideramos que a abundância de aves ao longo dos dias do mês foi distribuída de forma homogênea. No caso das andorinhas-azuis, sabe-se que no início de janeiro e no final de março o número de indivíduos é menor em razão da chegada e partida progressiva desses animais na ilha dormitório. Dessa forma, buscando equilibrar o cálculo da abundância de aves, as contagens dos meses de janeiro e março foram realizadas no início do mês, sendo o número de indivíduos no início de janeiro menor do que nos últimos dias (quando mais indivíduos de andorinha-azul já haviam chegado ao dormitório), e inversamente, no início de março o número de indivíduos é maior do que nos últimos dias (quando as andorinhas já estão partindo para sua área de reprodução).

### **3.5. Composição nutricional das fezes**

A composição nutricional das fezes de *Progne subis* foi descrita através da determinação das concentrações de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no conteúdo de matéria seca das fezes. As fezes coletadas foram encaminhadas ao Laboratório Temático de Solos e Plantas - LTSP do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA em Manaus, onde passaram por processo de secagem

em estufa a 40° C até peso constante, para então serem quimicamente processadas de acordo com a metodologia do manual de análises de tecido vegetal da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (Möller *et al.* 1997). A quantificação de C e N nas amostras demandou a diluição em água destilada com posterior agitação manual para homogeneizar o conteúdo; em seguida as amostras foram inseridas em um analisador automático CHNS (Vario Max CN, 12 elementar, Hanau, Germany) que quantificou a concentração desses nutrientes. Para determinar o total de P nas amostras fecais foi necessária uma diluição em ácido perclórico para posterior leitura em espectrofotômetro (UV-Visível-120-01, Shimadzu, Kyoto, Japan). A quantificação de K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn utilizou o método de digestão ácida da matéria orgânica das amostras, seguida de filtração em filtro de fibra de vidro 47 µm, e posterior leitura em espectrofotômetro de absorção atômica (AAS, 1100 B, Perkin-Elmer, Ueberlingen, Germany) (cf. Möller *et al.* 1997).

### **3.6. Coleta, processamento e determinação dos nutrientes do solo**

Foram coletadas cinco amostras da camada superficial do solo em cada um dos cinco pontos de amostragem em cada ilha (Apêndice C) durante a fase seca do pulso de inundação (sem a presença das andorinhas), utilizando um trado com 13 cm de comprimento para a coleta. As cinco amostras de cada ponto foram misturadas homogeneamente, usando 10 g de cada uma para formar uma única amostra composta por ponto de amostragem; as amostras compostas obtidas nos cinco pontos de amostragem foram posteriormente utilizadas para calcular a composição média mensal de nutrientes no solo de cada ilha.

As amostras compostas de solo foram processadas segundo o protocolo estipulado pelo LTSP do INPA. Primeiramente foi feita a secagem em temperatura ambiente durante 15 dias, com posterior destorroamento manual, e em sequência as amostras passaram por peneiras de 20 cm de diâmetro e malha de 2 mm de abertura. Para as análises de C e N foi realizada uma segunda etapa de moagem, onde foi utilizado um moinho de esferas automático para processar as amostras até que o tamanho das partículas fosse equivalente às do talco.

Os processos analíticos do LTSP seguem o manual da EMBRAPA proposto por Teixeira *et al.* (2017), que recomendam a quantificação de C e N através de diluição ácida e posterior análise no analisador automático CHNS; já para determinar o total de P utiliza-se o método de colorimetria com diluição em ácido ascórbico e molibdato de amônio para posterior leitura em espectrofotômetro UV; para o sal solúvel K, os microelementos Zn, Fe e Mn, bem como os cátions

trocáveis  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , foram utilizados diferentes ácidos extratores para digerir as amostras e realizar a leitura em um espectrofotômetro de absorção atômica.

### **3.7. Coleta e identificação de macroinvertebrados aquáticos**

A amostragem da fauna de macroinvertebrados aquáticos foi feita em cada um dos cinco pontos em cada ilha, com o esforço por ponto de 25 lances de puçá retangular de 50 cm x 30 cm e abertura de malha de 500  $\mu\text{m}$  (Apêndice D). Os lances de puçá foram feitos junto à vegetação de igapó submersa a até 1m da superfície. Todos os indivíduos coletados foram imediatamente preservados em álcool 90%. Foi utilizado um microscópio estereoscópico binocular 7x-45x para triagem e morfotipagem dos indivíduos, que foram posteriormente identificados ao nível de família taxonômica por especialistas do Laboratório de Citotaxonomia e Insetos Aquáticos – LACIA/INPA.

Durante a primeira e a última coleta houve ajustes no esforço amostral e no processo de triagem, respectivamente. No entanto, após analisar os dados verificou-se que tais ajustes não comprometeram os resultados obtidos neste trabalho. Para mais informações, vide Apêndice A.

### **3.8. Coleta e identificação de peixes**

As amostras de ictiofauna foram coletadas usando dois métodos. Para peixes de maior porte, ou seja,  $>$  que 15 cm de comprimento padrão (CP), medido da ponta do focinho até a base da cauda), foram utilizadas baterias de redes de espera/malhadeiras, e para os peixes de menor porte foram empregadas armadilhas colapsáveis do tipo *fyke-net*. Buscando distribuir o esforço de amostragem na área de cada ilha, foram utilizados os mesmos cinco pontos das demais coletas, sendo que em cada um desses pontos foi montada uma malhadeira e uma *fyke-net*, que eram revistadas a cada 3 horas durante um período de 24 horas.

As malhadeiras possuíam 10 m de comprimento e aproximadamente 2 m de altura, e os tamanhos de malhas foram de 30, 40, 50, 60 e 70 mm entre nós opostos. Os diferentes tamanhos de malha foram distribuídos nos pontos de amostragem de forma aleatória, sendo alternados em cada uma das coletas para evitar vieses nas capturas.

As armadilhas do tipo *fyke-net* possuíam 2 m de comprimento e 40 cm de circunferência e malha de 5 mm entre nós opostos. Estas armadilhas geralmente são utilizadas com iscas em seu

interior; porém, para evitar interferência, e observar as espécies que possivelmente estariam sendo atraídas pelas fezes das andorinhas, optou-se pela não-utilização de iscas.

Os peixes coletados foram pesados e armazenados imediatamente em caixa térmica com gelo até serem levados para o Laboratório de Sistemática e Ecologia de Peixes do INPA, onde foram posteriormente identificados até o nível de espécie por especialistas.

### **3.11. Análise de conteúdo estomacal**

Um dos efeitos possíveis da deposição de fezes das andorinhas sobre a comunidade biológica aquática da ilha dormitório seria a oferta de um novo recurso alimentar. Sendo assim, para descobrir se havia consumo direto de fezes das andorinhas utilizamos os peixes como objeto de estudo, devido à maior facilidade de identificar a presença desse material nos seus estômagos.

Para isso, foram retirados os estômagos de 47 peixes de diferentes espécies, coletados durante a amostragem realizada em março de 2022. Por meio de uma incisão abdominal feita com tesouras cirúrgicas, o estômago de cada exemplar coletado e preservado em gelo foi retirado e analisado imediatamente, em placa de Petri sob microscópio estereoscópico binocular 7x-45x. A presença de fezes de andorinhas nos conteúdos estomacais foi confirmada por meio da verificação de uma grande quantidade de pequenos fragmentos de insetos imersos em uma matriz orgânica amorfa escura. A segurança na identificação positiva da presença de fezes nos conteúdos estomacais foi assegurada pela comparação direta com amostras de fezes de andorinhas coletadas nos mesmos locais de amostragem e período, nas mesmas condições de laboratório (ou seja, sob microscópio estereoscópico)

Outro parâmetro para entender se os peixes que habitam o dormitório teriam mais recursos alimentares com o aporte do material fecal, foi a observação do grau de repleção estomacal dos peixes amostrados. Definimos quatro graus de repleção estomacal, sendo “0” = estômago vazio; “1” = estômago com resquícios de alimento; “2” = estômago parcialmente preenchido com alimento; e “3” = estômago completamente cheio.

### **3.12. Análise de dados**

A composição nutricional e física das amostras de solo da ilha dormitório foi comparada com a da ilha controle utilizando a média dos cinco pontos de coleta, de cada ilha, no período de



seca (único momento em que havia solo exposto, não submerso, para amostragem), para isso foi aplicado o teste de Wilcoxon pareado.

Com base no número de indivíduos de cada espécie de peixe e de família de macroinvertebrado aquático, foram determinados os indicadores faunísticos utilizados neste estudo como variáveis resposta para as comparações espaciais (entre as ilhas dormitório e controle) e temporais (entre os diferentes meses de coleta). Essas variáveis resposta foram a abundância total de indivíduos, riqueza taxonômica de espécies, diversidade de Simpson (D) e a biomassa total para peixes; e, abundância de indivíduos e riqueza taxonômica de famílias de macroinvertebrados aquáticos.

Visando comparar as diferenças entre as comunidades de peixes e macroinvertebrados aquáticos da ilha dormitório e controle, para cada uma dos cinco momentos de coletas realizadas, foi utilizada a somatória dos valores de cada grupo biológico que foram coletados nos cinco pontos amostrais de cada ilha e testou-se através do teste não-paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas (temporalmente) se havia diferença das variáveis resposta entre as ilhas nos diferentes meses de coleta.

Utilizando um modelo generalizado misto (GLM) foram relacionados, separadamente, os valores mensais de abundância de aves (variável preditora) com as variáveis faunísticas (respostas) mensuradas neste estudo. O intuito desse modelo foi entender se os possíveis padrões observados nas comunidades biológicas estudadas variavam em função do número de aves que ocupavam as ilhas em cada momento de amostragem.

Para comparar a composição taxonômica das comunidades aquáticas nas duas ilhas utilizou-se uma ordenação de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS). Os dados utilizados foram representados pela somatória dos valores de abundância e riqueza total de espécies e de famílias de peixes e macroinvertebrados aquáticos, respectivamente, nos cinco pontos de amostragem de cada ilha, por mês de coleta. Neste estudo consideramos também importante analisar se houveram diferenças na composição trófica das comunidades aquáticas, por isso também utilizamos uma NMDS para fazer essas comparações, mas utilizando dados de categoria trófica das famílias de macroinvertebrados aquáticos coletadas e das espécies de peixes coletados. O recorte taxonômico a nível de família de macroinvertebrados pode ser ligeiramente grosseira em razão da grande variação que ocorre dentro dos diferentes gêneros (Merritt *et al.*, 2017). Contudo,

esse recorte ocorre aqui em razão deste nível taxonômico possibilitar uma visão ampla das comunidades de macroinvertebrados, visto que as relações estudadas não são espécie-específica.

Todos os dados obtidos foram analisados com uso do programa estatístico R (R Core Team 2020).

## 4. RESULTADOS

A seguir estão expostos os resultados da determinação de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, manganês e zinco nas amostras de fezes de *P. subis*, junto das estimativas do aporte fecal realizado por elas na ilha dormitório em relação à ilha controle; também é apresentada a caracterização química e física do solo nas duas ilhas, os indicadores faunísticos referentes às assembleias de peixes e macroinvertebrados aquáticos, e suas relações com a deposição fecal feita pelas andorinhas migratórias.

### 4.1. Composição nutricional das fezes de *Progne subis*

Em média, cada unidade fecal apresentou 98 mg de peso seco (N=38), contendo aproximadamente  $14,39\% \pm 1,78$  DP de nitrogênio,  $44,9\% \pm 3,33$  DP de carbono,  $0,39\% \pm 0,56$  DP de fósforo,  $0,05\% \pm 0,19$  DP de cálcio,  $0,28\% \pm 0,63$  DP de magnésio,  $0,44\% \pm 3,12$  DP de potássio,  $0,04\% \pm 0,15$  DP de ferro,  $0,03\% \pm 0,05$  DP de zinco e  $0,01\% \pm 0,08$  DP de manganês (N=22). Além destes nutrientes descritos o material também continha outros elementos que não foram descritos pela ausência de métodos adequados disponíveis para análise. A partir desses valores foi estimado o aporte de fezes e de nutrientes nas duas ilhas ao longo do período de amostragens (Tabela 1). No mês de maior concentração das aves (fevereiro) um indivíduo de *Progne subis* depositava em média 200 mg de biomassa fecal no sistema aquático da ilha por noite, e cerca de 18 g por temporada.

**Tabela 1.** Aporte mensal estimado de fezes (kg), total de N (kg), total de C (kg), total de P (mg), total de Ca (mg), total de Mg (mg), total de K (mg), total de Fe (mg), total de Zn (mg) e total Mn (mg) através da deposição fecal de aves que pernoitam nos sítios de estudo. Os dois valores apresentados para cada mês nesta tabela representam o mínimo e máximo estimados de acordo com a taxa de excreção igual a um (valores das linhas superiores), e igual a três (valores das linhas inferiores), respectivamente.

Aporte mensal estimado através da abundância de aves	Dormitório					Controle				
	Dezembro 2020	Janeiro 2021	Fevereiro 2021	Março 2021	Outubro 2021	Dezembro 2020	Janeiro 2021	Fevereiro 2021	Março 2021	Outubro 2021
Biomassa de fezes (kg)	0,1580	9,1140	767,3400	303,8000	0,3160	0,1580	0,1580	0,1620	0,0395	0,0972
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,4739	27,3420	2302,0200	911,4000	0,9479	0,4739	0,4739	0,4860	0,1185	0,2916
Total de N (kg)	0,0022	0,1276	10,7428	4,2532	0,0044	0,0022	0,0022	0,0023	0,0006	0,0014
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,0066	0,3828	32,2283	12,7596	0,0133	0,0066	0,0066	0,0068	0,0017	0,0041
Total de C (kg)	0,0070	0,4010	33,7630	13,3672	0,0139	0,0070	0,0070	0,0071	0,0017	0,0043
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,0209	1,2030	101,2889	40,1016	0,0417	0,0209	0,0209	0,0214	0,0052	0,0128
Total de P (mg)	616,30	35555,99	2993585	1185200	1232,61	616,30	616,30	6448,77	1572,20	3870,04
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1848,91	106667,97	8980755	3555600	3697,82	1848,91	1848,91	19346,30	4716,61	11610,12
Total de Ca (mg)	75,93	4380,42	368802,8	146013,9	151,85	75,93	75,93	794,47	193,69	476,78
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	227,78	13141,25	1106408,4	438041,7	455,56	227,78	227,78	2383,42	581,08	1430,34
Total de Mg (mg)	440,36	25405,28	2138960	846842,5	880,72	440,36	440,36	4607,74	1123,36	2765,2
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1321,07	76215,84	6416880	2540527,5	2642,15	1321,07	1321,07	13823,21	3370,09	8295,6
Total de K (mg)	688,78	39737,04	3345602	1324568,00	1377,55	688,78	688,78	7207,08	1757,08	4325,12
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2066,33	119211,12	10036806	3973704,00	4132,65	2066,33	2066,33	21621,24	5271,24	12975,36
Total de Fe (mg)	69,15	3989,25	335869,3	132975,1	138,29	69,15	69,15	723,53	176,40	434,2
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	207,44	11967,76	1007607,9	398925,3	414,88	207,44	207,44	2170,58	529,19	1302,61
Total de Zn (mg)	42,42	2447,56	206068,4	81585,19	84,85	42,42	42,42	443,91	108,23	266,4
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	127,27	7342,67	618205,20	244755,57	254,55	127,27	127,27	1331,73	324,68	799,2
Total de Mn (mg)	16,85	972,34	81864,44	32411,21	33,71	16,85	16,85	176,35	42,99	105,83
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50,56	2917,01	245593,32	97233,63	101,12	50,56	50,56	529,06	128,98	317,5

O aporte estimado de nutrientes durante a presença da andorinha-azul na ilha dormitório, entre janeiro e março de 2020, foi exponencialmente maior do que nos períodos de sua ausência. Contudo, destaca-se que mesmo nos meses sem andorinhas a ilha dormitório recebeu um aporte de fezes maior do que o da ilha controle. Para fins de estimativa do aporte nutricional total durante o período de uso da ilha dormitório pelas andorinhas-azuis, foi considerado que nos meses de janeiro e abril a permanência das andorinhas equivale a aproximadamente uma quinzena, e que por se tratar de períodos de transição (chegada e partida) o número de indivíduos é menor do que nos meses de fevereiro e março. Com base na área das ilhas, o aporte nutricional estimado decorrente da deposição fecal de *P. subis* durante sua estadia sazonal na ilha dormitório representa 348,47 – 1045,41 kg/ha de fezes secas, 15,3 – 46 kg/ha de carbono, 4,88 – 14,64 kg/ha de nitrogênio, 0,13 – 0,4 kg/ha de fósforo, 0,02 – 0,04 kg/ha de cálcio, 0,09 – 0,29 kg/ha de magnésio, 0,14 – 0,45 kg/ha de potássio, 0,01 – 0,04 kg/ha de ferro, 0,01 – 0,03 kg/ha de zinco e 0,00 – 0,01 kg/ha de manganês.

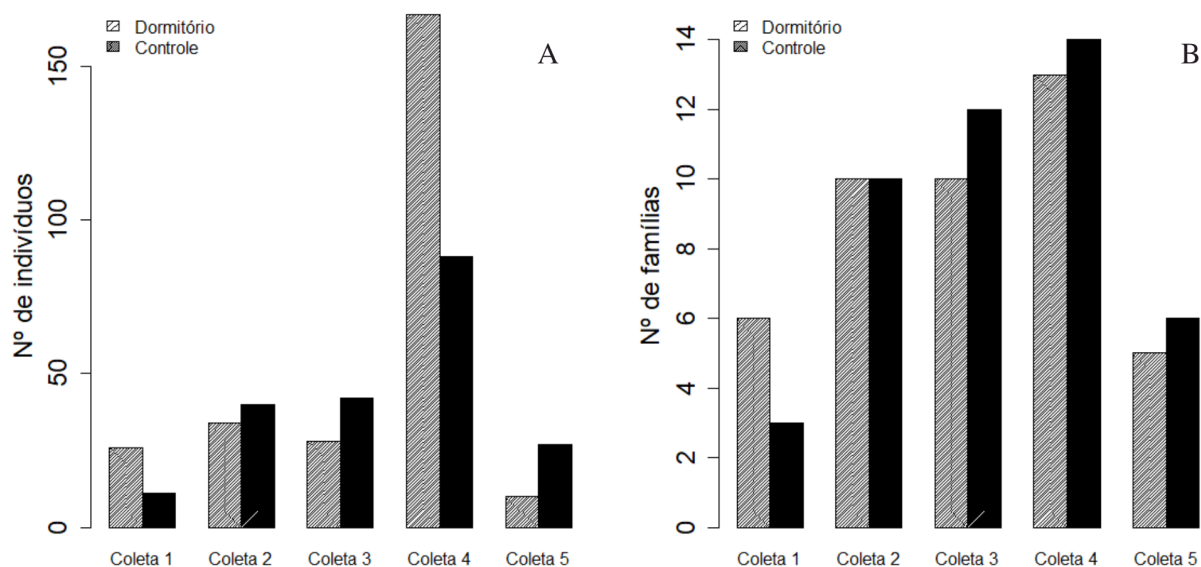
#### **4.2. Análise física e nutricional dos solos das ilhas dormitório e controle**

A ilha dormitório apresentou concentrações maiores de carbono, nitrogênio e fósforo em seu solo, que é composto em média por  $18,3 \text{ g/kg} \pm 5,7 \text{ DP}$  de carbono;  $1,5 \text{ g/kg} \pm 0,5 \text{ DP}$  de carbono; e  $0,009 \text{ g/kg} \pm 0,001 \text{ DP}$  de fósforo; enquanto isso o solo da ilha controle é composto em média por  $4,8 \text{ g/kg} \pm 4,4 \text{ DP}$  de carbono;  $0,4 \text{ g/kg} \pm 0,4 \text{ DP}$  de nitrogênio; e  $0,002 \text{ g/kg} \pm 0,002 \text{ DP}$  de fósforo. A acidez do solo da ilha dormitório foi menor em relação ao da ilha controle com valores em média de 3,7 e  $4,1 \pm 0,1$  e 0,4 DP respectivamente. Ao comparar os resultados da concentração dos nutrientes analisados nos solos da ilha dormitório com a ilha controle, notam-se diferenças entre elas, mesmo que não significativas perante o teste de Wilcoxon pareado ( $n=10$ ), no qual o valor de  $p$  foi 0,063 e o valor da estatística foi 0 ( $V=0$ ). A granulometria do solo também apresentou resultados contrastantes entre as ilhas, principalmente nas concentrações de silte e areia das amostras de solo (Apêndice E).

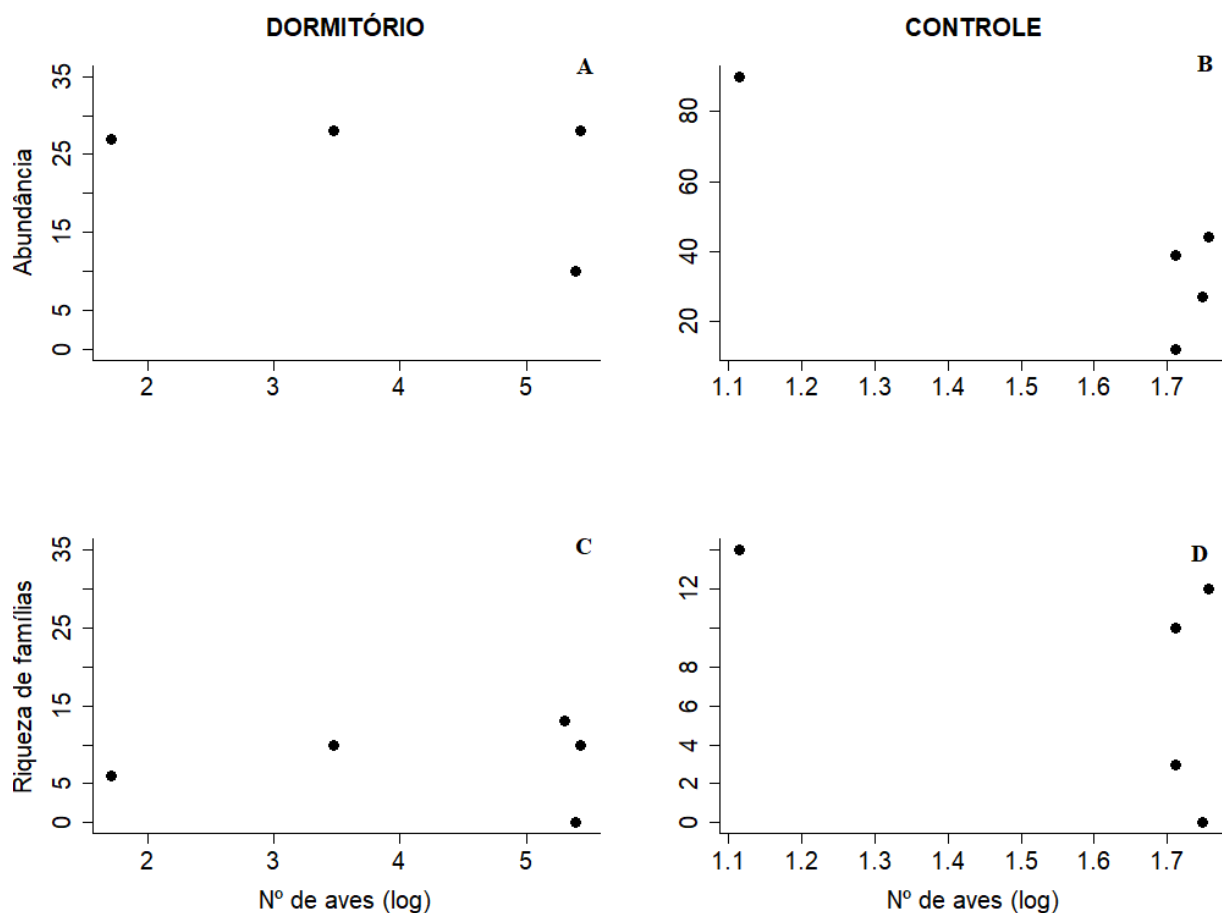
#### **4.3. Composição da comunidade de macroinvertebrados aquáticos**

Ao todo, nas seis expedições de coleta foram capturados 473 macroinvertebrados aquáticos distribuídos em 22 famílias taxonômicas, das quais 13 ocorreram em ambas as ilhas, cinco foram exclusivas da ilha dormitório e outras cinco só ocorreram na ilha controle. As cinco famílias mais abundante foram Holopediidae, um grupo de crustáceos da ordem Cladocera com 128 registros (98 no dormitório e 30 no controle), seguida de Chironomidae (Diptera) com 96 registros (62 no dormitório, 34 no controle), Corixidae (Hemiptera) com 70 registros (13 no dormitório, 70 no controle), Gerridae (Hemiptera) com 59 registros (26 no dormitório, 33 no controle), e por fim, Baetidae com apenas 18 registros (13 no dormitório, cinco no controle).

De forma geral, parece haver uma tendência de aumento progressivo na abundância de macroinvertebrados e na abundância de famílias taxonômicas desses organismos ao longo das coletas (Figura 2). Entretanto, não houve diferenças significativas nos valores dessas duas variáveis entre a ilha dormitório e a ilha controle (Fig. 3).

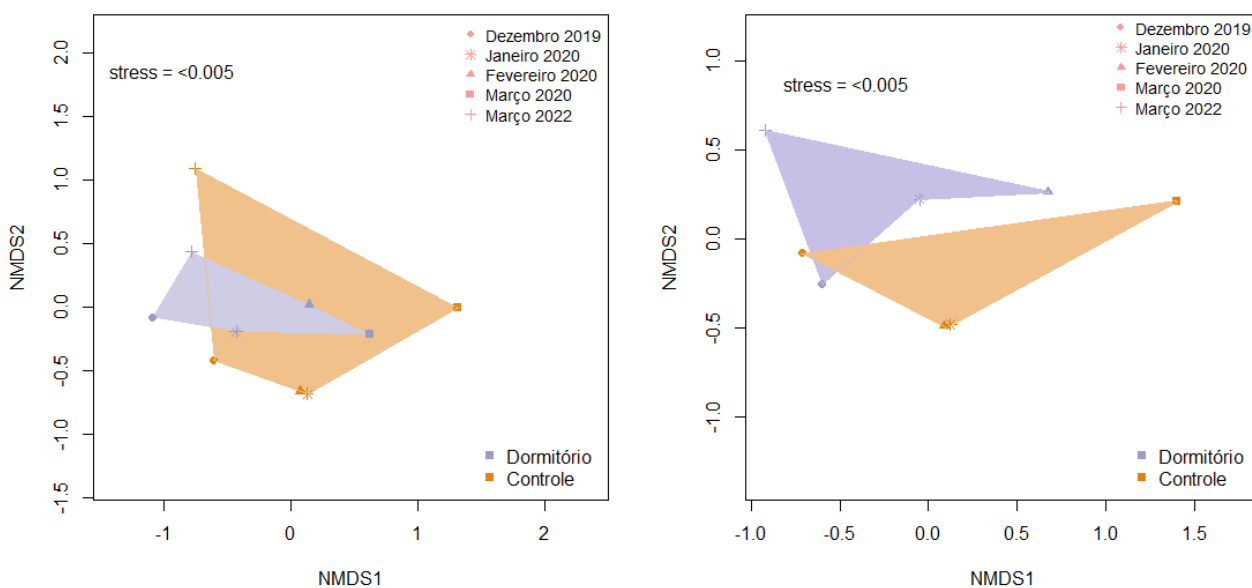


**Figura 2.** Abundância de indivíduos (A) e riqueza de famílias (B) da comunidade de macroinvertebrados aquáticos na ilha dormitório e na ilha controle em cada período de coleta. (Note que não houve coletas em 2021).



**Figura 3.** GLM relacionando a abundância (A e B) e riqueza de famílias (C e D) de macroinvertebrados aquáticos nas ilhas dormitório e controle contra o log da abundância de aves. Todas as regressões resultaram em correlações baixas e  $p > 0,05$ .

Avaliamos por meio de duas ordenações por NMDS, para valores de indivíduos por família taxonômica e de indivíduos por categoria trófica (Fig. 4) (stress <0.005) que as comunidades de macroinvertebrados aquáticos das ilhas não se diferenciavam.



**Figura 4.** NMDS usando distância de Bray-Curtis para medir a distância entre as comunidades de macroinvertebrados aquáticos da ilha dormitório (lilás) e controle (laranja), tanto em relação a abundância de indivíduos de cada espécie (A), quanto em relação à abundância de indivíduos de cada categoria trófica (B).

#### 4.4. A ictiofauna presente nas ilhas dormitório e controle

Ao todo foram capturados 234 peixes, distribuídos em 52 espécies (Tabela 2). A maior parte das espécies apresentou valores de abundância similares, poucas espécies foram muito abundantes, das quais apenas sete se destacaram por terem mais do que 10 registros de ocorrência. Das sete espécies mais abundantes, cinco estavam presentes nas duas ilhas, mesmo que com abundâncias heterogêneas. Na ilha dormitório as espécies mais abundantes foram *Serrasalmus* sp. (de uma espécie ainda não descrita), *Auchenipterichthys longimanus*, *Potamorhina latior*, *Hemiodus immaculatus* e *Ageneiosus intrusus*; enquanto na ilha controle as espécies mais abundantes foram *A. longimanus*, *Bryconops alburnoides*, *Triportheus albus*, *Cynodon gibbus* e *H. immaculatus*. A espécie mais abundante em ambas as ilhas foi *A. longimanus*, que foi registrada 32 vezes (17 no dormitório, 15 no controle), seguida de *Serrasalmus* sp. (18 indivíduos, apenas na ilha dormitório), *P. latior* (16 registros; 14 no dormitório, 2 no controle), *H. immaculatus* (15 registros; 9 no dormitório, 6 no controle), e *B. alburnoides* (12 registros, apenas na ilha controle).

**Tabela 2.** Espécies de peixes coletados ao longo das cinco expedições.

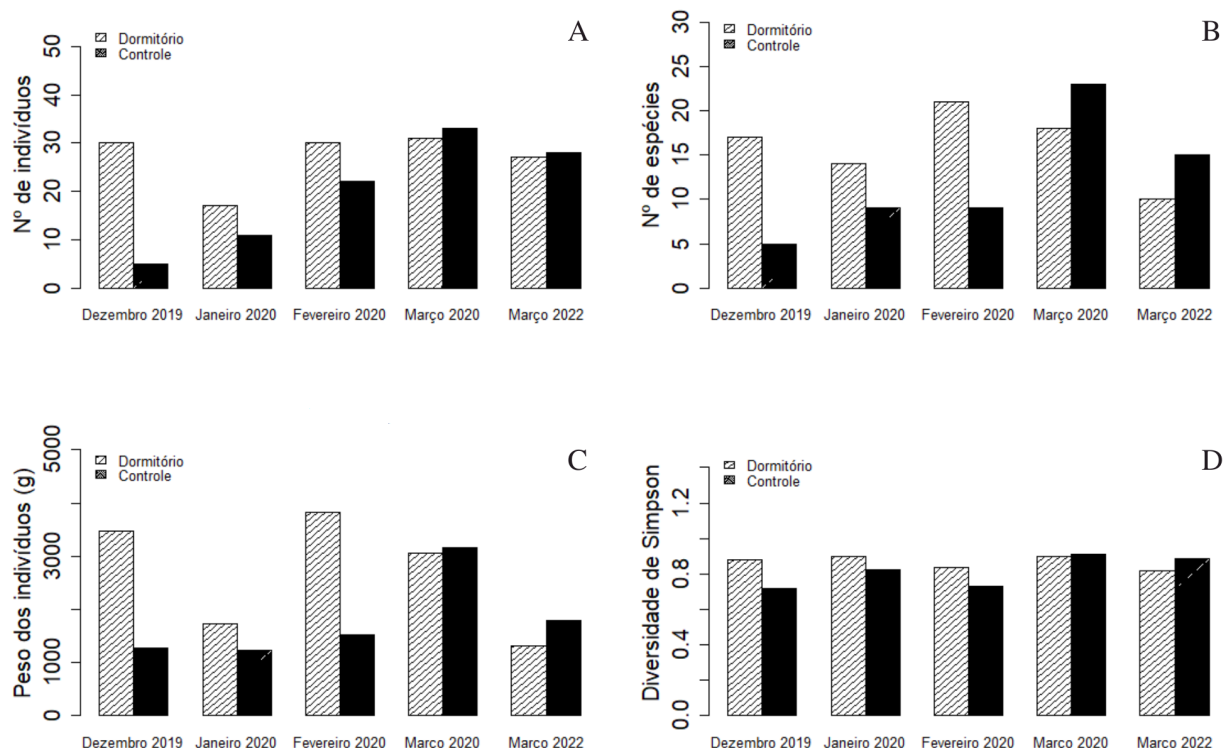
Espécies	Dormitório	Controle
<b>CHARACIFORMES</b>		
<b>Anostomidae</b>		
<i>Anostomoides atrianalis</i>	4	0
<i>Laemolyta próxima</i>	1	0
<i>Laemolyta taeniata</i>	0	1
<i>Leporinus fasciatus</i>	0	1
<i>Leporinus friderici</i>	0	1
<i>Pseudanos varii</i>	2	1
<i>Insperanos nattereri</i>	0	1
<b>Characidae</b>		
<i>Acestrorhynchus falcirostris</i>	5	1
<i>Acestrorhynchus microlepis</i>	0	1
<i>Acestrorhynchus grandoculis</i>	1	0
<i>Agoniatodes halecinus</i>	0	5
<i>Brycon aff. pesu "adiposa preta"</i>	7	1
<i>Bryconops alburnoides</i>	0	12
<i>Moenkhausia lepidura</i>	1	0
<i>Triportheus albus</i>	1	10
<i>Triportheus auritus</i>	2	0
<b>Curimatidae</b>		
<i>Cyphocharax abramoides</i>	1	0
<i>Cyphocharax leucostictus</i>	1	0
<i>Potamorhina latior</i>	12	4
<b>Cynodontidae</b>		
<i>Cynodon gibbus</i>	1	8
<b>Hemiodidae</b>		
<i>Anodus orinocensis</i>	1	1
<i>Argonectes longiceps</i>	0	1
<i>Hemiodus immaculatus</i>	9	6
<i>Hemiodus unimaculatus</i>	0	4
<b>Prochilodontidae</b>		
<i>Semaprochilodus taeniurus</i>	1	0
<b>Serrasalminae</b>		
<i>Metynnis hypsauchen</i>	1	0
<i>Myloplus lobatos</i>	3	1
<i>Serrasalmus gouldingi</i>	4	1
<i>Serrasalmus manuli</i>	1	4
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	1	0
<i>Serrasalmus sp.</i>	1	1
<i>Serrasalmus sp. "rob"</i>	18	0
<b>CICHLIFORMES</b>		
<b>Cichlidae</b>		
<i>Cichla monoculus</i>	2	0
<i>Cichla temensis</i>	0	2



<i>Geophagus winemilleri</i>	2	0
<i>Heros efasciatus</i>	0	1
<i>Uaru amphiacanthoides</i>	1	0
<b>CLUPEIFORMES</b>		
<b>Pristigasteridae</b>		
<i>Ilisha amazonica</i>	2	3
<i>Pellona flavipinnis</i>	0	1
<b>EUPERCARIA</b>		
<b>Sciaenidae</b>		
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	6	2
<b>GYMNOTIFORMES</b>		
<b>Sternopygidae</b>		
<i>Rhabdolichops eastwardi</i>	1	0
<b>SILURIFORMES</b>		
<b>Ageneiosidae</b>		
<i>Ageneiosus intrusus</i>	9	2
<i>Ageneiosus polystictus</i>	3	2
<b>Auchenipteridae</b>		
<i>Auchenipterichthys longimanus</i>	17	15
<i>Auchenipterus nuchalis</i>	0	2
<b>Doradidae</b>		
<i>Amblydoras affinis</i>	1	0
<i>Centrodoras braquiatus</i>	0	1
<i>Platydoras hancockii</i>	1	0
<b>Loricariidae</b>		
<i>Acarichthys heckelii</i>	1	0
<b>Pimelodidae</b>		
<i>Calophysus macropterus</i>	1	0
<i>Pimelodus sp.</i>	1	0
<i>Pinirampus pirinampu</i>	6	0

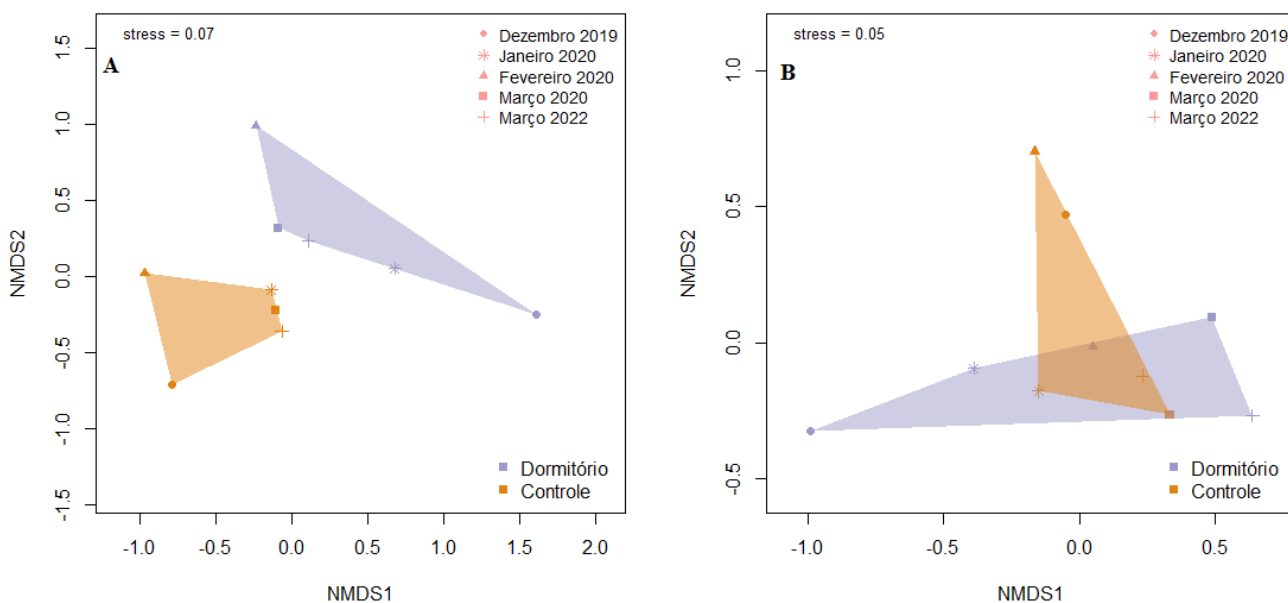
Embora a ilha dormitório tenha apresentado valores de riqueza de espécies, abundância de indivíduos, biomassa total e diversidade de Simpson ligeiramente maiores do que os da ilha controle (Fig. 5), não houve diferenças significativas nos atributos da ictiofauna entre os dois locais de acordo com o teste de Wilcoxon onde o valor de  $p$  foi maior que 0,05, com a estatística  $V$  para riqueza, diversidade e biomassa igual a 3, e para abundância 4. Através de uma regressão linear confirmou-se que os três primeiros atributos foram fortemente correlacionados entre si (as três combinações com  $r$  em torno de 80%, com  $p < 0.01$ ). Ao observar a variação desses atributos ao longo das coletas nota-se que a ilha dormitório apresentou variações ao longo do tempo, mas sem

uma tendência óbvia; já a ilha controle apresentou uma tendência de aumento nos valores com o passar do tempo e aumento da cota de inundação do rio Negro.



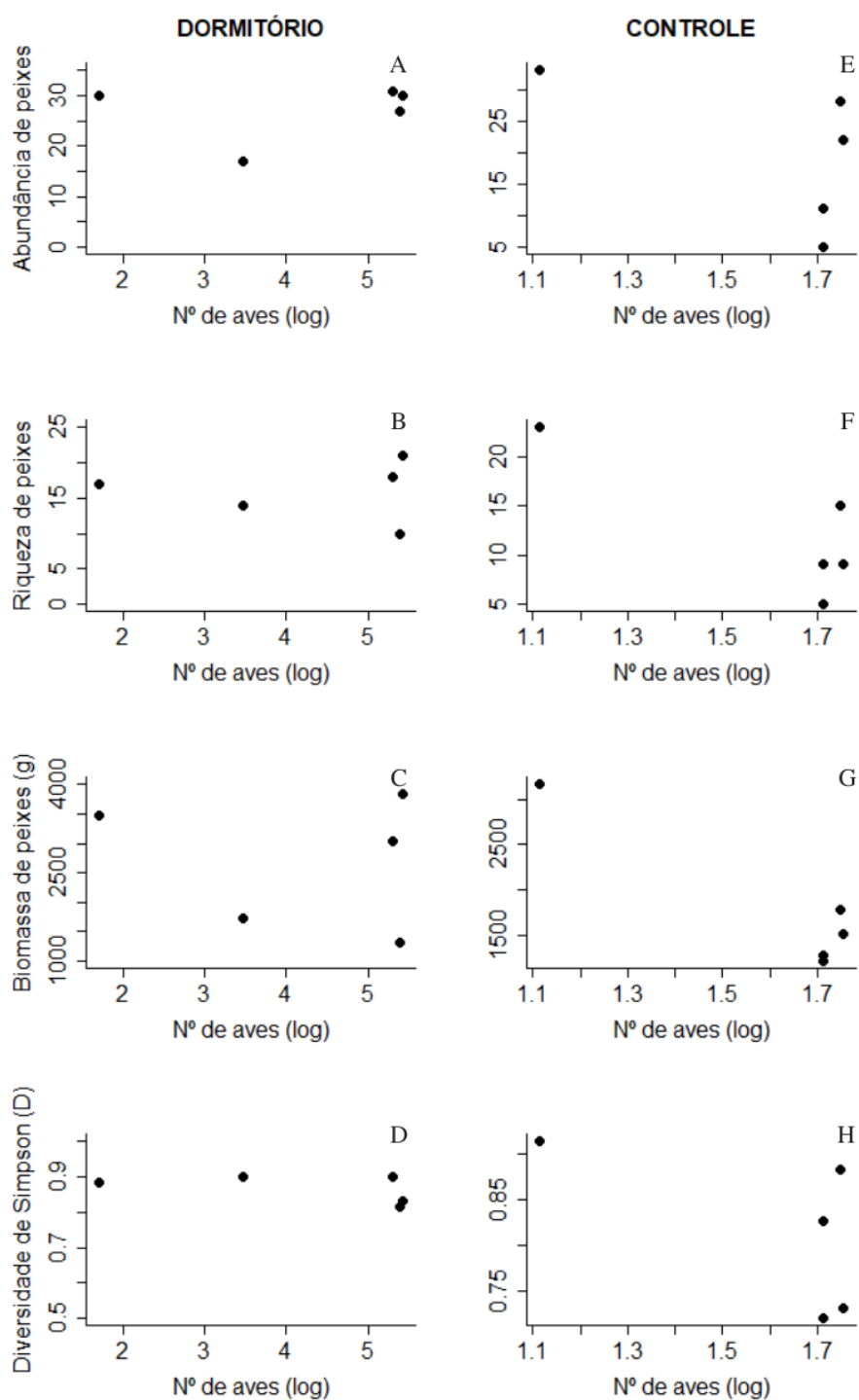
**Figura 5.** Atributos da ictiofauna ao longo das coletas (tempo) nas ilhas, dormitório (rasurado) e controle (sólido).

A composição da comunidade de peixes com base em valores de abundância das espécies diferiu entre as ilhas dormitório e controle (Fig. 6A). Essa diferença na composição de espécies também se manifestou em relação às categorias tróficas dos peixes, onde na ilha dormitório predominaram espécies classificadas como carnívoras e detritívoras, enquanto na ilha controle predominaram peixes onívoros (Fig. 6B).



**Figura 6.** Ordenação (NMDS, para dados de abundância de indivíduos e distância de Bray-Curtis) das amostras de peixes coletadas nas ilhas dormitório (lilás) e controle (laranja), em relação à abundância de indivíduos por espécie (A) e por categoria trófica (B).

Apesar dessas diferenças na composição de espécies e categorias tróficas de peixes entre as comunidades das duas ilhas, tais diferenças não foram explicadas pela quantidade de aves presentes nas ilhas no momento das amostragens (Fig. 7).



**Figura 7.** GLM dos atributos da ictiofauna nas ilhas dormitório (A, B, C, D) e controle (E, F, G, H) contra o log da abundância de aves. Todas as regressões resultaram em correlações baixas e  $p > 0,05$ .

#### 4.5. Análise de conteúdo estomacal

Dos 47 estômagos analisados, cinco continham fezes de aves insetívoras aéreas (10,64%), dos quais quatro foram coletados de peixes da ilha dormitório e um da ilha controle. Os peixes que consumiram as fezes de aves insetívoras aéreas foram *Auchenipterichthys longimanus* (3) e *Hemiodus immaculatus* (2), o conteúdo encontrado era composto por uma massa escura previamente digerida com pequenos fragmentos de insetos aéreos, tais como asas de dípteros e patas e cabeças de himenópteros. Ao analisar na lupa, este conteúdo é idêntico ao conteúdo das unidades fecais coletadas, e difere muito do conteúdo encontrado no estômago de peixes que consumiram apenas insetos, composto por muco digestório claro e fragmentos grandes desses animais (Apêndice F).

O grau de repleção estomacal nível 3 (completamente cheio) foi mais do que três vezes maior nos peixes que habitavam o dormitório, em comparação com os do controle (Apêndice G).

### 5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo permitiram a mensuração da composição química e nutricional das fezes da andorinha-azul *Progne subis* durante a sua estadia em uma ilha dormitório no baixo rio Negro, na Amazônia Central brasileira, durante sua migração de retorno para a América do Norte, após invernação em diversas áreas do continente sul-americano. Também foi possível estimar a carga de deposição fecal das andorinhas e o aporte nutricional potencial para o ecossistema aquático da ilha dormitório durante o período de enchente, e avaliar os possíveis efeitos dessa entrada de nutrientes de origem alóctone nas comunidades de macroinvertebrados aquáticos e peixes. Obtivemos evidências de um aporte considerável de nutrientes para ambientes de águas pretas, que são fortemente oligotróficos e com baixa capacidade de suportar elevadas biomassas de peixes e de outros organismos aquáticos. Não houve diferenças significativas na riqueza de espécies, abundância de indivíduos, diversidade de Simpson e biomassa de macroinvertebrados e peixes entre a ilha dormitório e a ilha controle; também não houve relação significativa entre essas variáveis da estrutura das duas comunidades e o número de aves presentes nas ilhas nos diferentes momentos de amostragem. Por outro lado, diferenças na composição de espécies das comunidades puderam ser notadas, especialmente em relação à ictiofauna. Finalmente, obtivemos evidências de consumo direto das fezes de aves insetívoras aéreas, o que indica que a

estadia das andorinhas na ilha dormitório pode contribuir para a ecologia trófica e dinâmica nutricional do sistema aquático da ilha dormitório no baixo rio Negro, através de vias ainda não adequadamente investigadas.

O impacto do aporte nutricional por aves em determinado ambiente depende de vários fatores, como por exemplo, (i) o tipo de comida que a ave consome, sendo que aves herbívoras e piscívoras contribuem mais com N e P (Perry *et al.*, 1986); (ii) os padrões diários de migração, onde aves que migram mais de uma vez ao dia para forragear contribuem mais (Post *et al.*, 1998); (iii) o tempo de retenção do alimento no intestino, pois se a ave apenas pernoitar no dormitório e seu tempo de retenção alimentar é baixo, possivelmente ela irá excretar próximo ao local de alimentação, não levando os nutrientes para o dormitório (Hahn *et al.*, 2008; Post *et al.*, 1998); (iv) a temperatura ambiente, pois em altas temperaturas algumas aves aceleram seu metabolismo (Ravelling *et al.*, 1972; Frederick *et al.*, 1982); (vii) o tamanho do corpo, sendo que quanto maior a ave, maior será a quantidade de comida que ela irá ingerir e maior a deposição de fezes que irá excretar (Hahn *et al.*, 2008). Com base nessas informações, é plausível que mesmo que os indivíduos de *P. subis* estejam reunidos em grande densidade na pequena ilha dormitório, eles podem não modificar significativamente a dinâmica de nutrientes e as cadeias tróficas do ambiente aquático porque são aves insetívoras, de pequeno tamanho, e que passam grande parte do dia forrageando fora do dormitório sob altas temperaturas, e isto, pode acelerar seu metabolismo e diminuir o tempo de retenção do alimento em seu intestino.

O baixo teor de nutrientes que as fezes das andorinhas possuem pode ser uma das explicações para a ausência de diferenças nos indicadores faunísticos de macroinvertebrados e peixes obtidos para as duas ilhas, e para a ausência de relação dessas variáveis com o número de aves presentes no local ou com o aporte de fezes, como já observado em outros trabalhos (Gremillion e Malone, 1986; Marion *et al.*, 1994; Scherer *et al.*, 1995; Laguna *et al.*, 2021). Assim, essa aparente ausência de efeitos significativos para a maior parte das variáveis testadas pode ser em razão do baixo aporte nutricional decorrente da deposição das fezes das andorinhas-azuis (e outras aves) durante a sua estadia na ilha dormitório, quando comparado com a contribuição de outros recursos alóctones que entram no sistema naquele mesmo período.

Quando comparamos os valores do carregamento de nitrogênio e fósforo nas fezes das andorinhas-azuis com os resultados obtidos em trabalhos realizados com outras espécies de aves e

em outros sistemas ecológicos (p. ex. Adhurya *et al.*, 2020) observamos que as quantidades que estimamos por metro quadrado de nitrogênio são razoavelmente altas, mas as de fósforo são baixas (Apêndice H).

Além das características ligadas à biologia da andorinha-azul, também é importante levar em consideração que o dormitório não fica localizado sobre um sistema lântico, mas sim em um rio que apresenta velocidade média em torno de 0,4 m/s (Filizola *et al.*, 2009b). Apesar desse valor ser baixo quando comparado a velocidade de outros grandes rios amazônicos, ainda assim representa fluxo suficiente para carregar as fezes depositadas rio abaixo, e isso diluiria os nutrientes no sistema aquático da ilha dormitório. Ainda assim, é possível imaginar que em um cenário em que o teor nutricional das fezes de *P. subis* fosse maior, poderiam ocorrer efeitos mais conspícuos no sistema.

As comparações de aporte nutricional nos diferentes ambientes aquáticos se tornam problemáticas, pois diferentes trabalhos utilizam diferentes métodos de estimativa. Post *et al.* (1998) apresentam os maiores valores de nitrogênio e fósforo por metro quadrado ao utilizarem o método bioenergético, que leva em consideração o requerimento energético diário da ave, custos energéticos do metabolismo, rotina metabólica, conteúdo energético dos alimentos ingeridos e o tempo de retenção alimentar. Este tipo de modelo é biologicamente sólido, mais preciso e realista, mas é muito mais complexo e difícil de obter dados em ambientes naturais. A maior parte dos estudos encontrados (Portnoy, 1990; Marion *et al.*, 1994; Scherer *et al.*, 1995; Moore *et al.*, 1998; Olson *et al.*, 2005; Mallin *et al.*, 2016) apresenta estimativas obtidas através do modelo de Gremillion e Malone (1986), que considera a relação alométrica entre a massa corporal da ave, o tempo de estadia no local e taxa de defecação por espécie, além do teor nutricional por unidade fecal. Também existem os bioensaios, onde os modelos de aporte nutricional são feitos por quantificação direta dos nutrientes adicionados numa área pré-determinada, como Röncke *et al.* (2008). Nrnberg e LaZerte (2016) realizaram estimativas usando um modelo de balanço de massas, que quantifica a quantidade nutricional sedimentada (como fósforo), a concentração nutricional na água, além da quantificação de aportes internos e externos no local, e o fluxo de água anual; este modelo é apropriado em casos de lagos com alto tempo de residência da água e baixa saída. Como dito anteriormente, o presente trabalho utilizou-se de uma adaptação do método mais simples proposto por Manny *et al.* (1994), que propõe a estimativa do aporte nutricional através da

multiplicação do número de aves, pelo número de dias de estadia no dormitório, pelo teor nutricional contido nas fezes e pela biomassa estimada de fezes depositadas.

Apesar das diferenças metodológicas, é possível notar que os valores encontrados neste trabalho se assemelham aos valores registrados para outras aves carnívoras, como estorninhos e gaivotas (Hahn *et al.*, 2007; Marion *et al.*, 1994). Isso ocorre porque aves com dietas majoritariamente compostas por invertebrados produzem fezes com concentrações de nitrogênio e fósforo significativamente menores do que aves com dietas compostas principalmente por vertebrados, como as piscívoras, por exemplo (Hahn, *et al.* 2007). Em função disso, as concentrações nutricionais estimadas neste trabalho se aproximam mais dos resultados de Marion *et al.* (1994), que também utilizaram o método de estimativa por relação alométrica e analisaram principalmente o aporte nutricional feito por estorninhos, que assim como as andorinhas, possuem peso corporal menor do que de aves aquáticas (em geral), e se aglomeram em altas densidades de indivíduos em seus poleiros.

Seguindo a classificação de solos descrita em Santos *et al.* (2018) o solo da ilha utilizada como dormitório, pode ser classificado como “Franco Argilo Siltoso”, rico em silte (aproximadamente 60%), com uma baixa porcentagem de areia (aproximadamente 14%) e valores intermediários de argila (aproximadamente 25%); já o solo da ilha controle é classificado entre “Franco arenoso” e “Areia Franca”, pois as amostras possuem mais da metade da sua composição constituída por areia (aproximadamente 68%), com valores baixos de argila (aproximadamente 10%) e intermediários de silte (aproximadamente 21%). De acordo com Quesada *et al.* (2011) as ilhas dormitório e controle (analisadas no presente estudo) estão localizadas em uma microrregião que é composta por diferentes tipos de solos, entre eles Ferrassolos, Gleissolos, Plintossolos e Espodossolos (Podzóis), essas diferenças podem ser observadas visualmente durante o período de seca, quando os solos das ilhas estão expostos. Ao comparar os resultados obtidos neste trabalho (granulometria e gramas de nitrogênio, carbono e fósforo por quilo de solo) com os dados de Quesada *et al.* (2010), é possível especular que as ilhas realmente possuem formações geológicas diferentes, sendo a ilha dormitório mais assemelhada com um Ferrassolo; e a ilha controle com um Espodossolo. Isso justifica as diferenças marcantes entre elas, em relação a suas propriedades físico-químicas. Apesar de as diferenças na granulometria do solo serem cruciais na caracterização geral das ilhas, elas têm pouca relação direta com a quantidade de nutrientes no solo. Conforme



visto nos resultados, foi detectado uma concentração maior de carbono, nitrogênio e fósforo na ilha dormitório. Considerando o tamanho de nossa amostra, e o valor de  $p$  sendo marginalmente significativo ( $p= 0,06$ ), existe um indicativo de importantes diferenças na dinâmica de nutrientes das duas ilhas, e isto, coloca em evidência a possibilidade de estas diferenças advirem do aporte de fezes que entra sazonalmente no sistema aquático do dormitório.

Mesmo que não tenham sido detectadas relações significativas entre as variáveis relacionadas à estrutura da comunidade de peixes e a abundância de andorinhas na ilha dormitório ao longo do tempo, vale acrescentar que três das cinco espécies de peixes mais abundantes nas amostras obtidas nessa ilha são preferencialmente onívoras, *A. intrusus*, *A. longimanus*, e *H. immaculatus* (Freitas *et al.*, 2011; Ribeiro *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2008); *Potamorhina latior*, espécie com a terceira maior abundância da ilha controle, é detritívora (Aranguren 2002). Isso demonstra que esses indivíduos são potenciais consumidores das fezes depositadas pelas andorinhas.

Os resultados dos modelos lineares generalizados indicam que as comunidades de peixes das ilhas não parecem estar correlacionadas com a abundância das andorinhas. O contraste dos atributos de ictiofauna entre as ilhas é um indício de que, por outros motivos, elas possuem comunidades de peixes parcialmente diferentes, apesar da curta distância geográfica entre elas.

Os resultados encontrados nas amostragens de macroinvertebrados indicam que as duas famílias mais abundantes de ambas as ilhas, Holopediidae e Chironomidae tinham potencial para utilizar as fezes das andorinhas como recurso alimentar, pois holopedídeos são filtradores de detritos (Melão e Rocha, 2006), chironomídeos se alimentam principalmente de matéria orgânica particulada (Sanseverino e Nessimian, 2008), e ambos os grupos são flexíveis e oportunistas, se aproveitando de alimentos que estejam altamente disponíveis determinado momento. Contudo, esses dois grupos citados foram igualmente predominantes em ambas as ilhas, o que não ajuda a explicar eventuais diferenças na composição de macroinvertebrados nesses locais.

Em contrapartida aos resultados encontrados sobre a correlação das comunidades de macroinvertebrados aquáticos e peixes com a abundância de andorinhas nas duas ilhas ao longo do tempo, a análise de conteúdo estomacal mostra que alguns indivíduos se beneficiam da presença das andorinhas na ilha dormitório por meio do consumo direto das fezes depositadas no local. Interessante ressaltar que dos cinco estômagos encontrados com fezes de insetívoro aéreo, três

eram da espécie *A. longimanus* e dois da espécie *H. immaculatus*. Essas duas espécies figuraram entre as mais abundantes das duas ilhas, com destaque para o período de estadia das andorinhas, pois aproximadamente 80% dos indivíduos de *A. longimanus* e 67% dos indivíduos de *H. immaculatus* foram coletados em março de 2020 e 2022, que corresponde ao pico de abundância dessas aves na região. Sendo assim, é plausível supor que a grande abundância dos indivíduos dessas espécies durante o período de estadia das andorinhas decorre de estarem utilizando as fezes como um recurso alimentar sazonal. Ainda, vale destacar que *A. longimanus* forrageiam ativamente na superfície da água durante o crepúsculo vespertino e à noite (Freitas *et al.*, 2011), é provável que façam a ingestão das fezes depositadas pelas andorinhas ao chegarem na ilha para repousar, ou aproveitando eventuais defecações no meio da noite. Já *H. immaculatus* forrageiam ao fundo (Silva *et al.*, 2008), e possivelmente consomem as fezes que não são interceptadas na superfície ou à meia água, chegando ao substrato da ilha, ou sobre folhas submersas das plantas do Igapó. Ou seja, diferentes componentes da comunidade de peixes podem estar se beneficiando de um recurso sazonalmente disponível na ilha dormitório, o que pode ajudar a manter uma diversidade de peixes e de hábitos alimentares nesse local.

Os trabalhos de campo e análises laboratoriais foram comprometidos pela pandemia do COVID-19, devido à paralisação de todas as atividades não essenciais vinculadas ao INPA e demais órgãos do MCTI, por isso, este estudo teve como fragilidade a interrupção das atividades de coleta de dados, o que impossibilitou que fosse realizada a amostragem de um ciclo completo de estadia das andorinhas. Futuramente seria de grande valia que novos estudos pudessem avaliar os parâmetros aqui medidos durante todo o período de atividade do dormitório, bem como parâmetros químicos dos nutrientes da água e da produtividade primária da área de estudo. Isso forneceria um panorama sistêmico mais detalhado dos efeitos que o aporte de fezes depositados por *P. subis* pode causar sobre seu megadormitório de invernagem.

## 6. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos no presente estudo, é possível inferir que o teor nutricional das fezes de *P. subis* é semelhante ao descrito para estorninhos (Marion *et al.*, 1994), com concentrações baixas de nitrogênio e principalmente de fósforo. Então, mesmo quando

concentradas em milhares de indivíduos em poucos hectares, o carregamento de nutrientes depositado pelas andorinhas-azuis em seu dormitório de invernagem pode ser insuficiente para gerar efeitos na estrutura biótica das comunidades de peixes. Contudo, apesar de não existir um resultado significativo correlacionando a presença de andorinhas com a estrutura da comunidade de peixes e macroinvertebrados aquáticos, parece haver uma tendência de aumento na proporção de espécies consumidoras de detritos durante a presença destas aves na ilha dormitório. Além disso, os resultados das análises estomacais indicam que as fezes das andorinhas-azuis são utilizadas diretamente como alimento por algumas espécies de peixes, e que se beneficiam da estadia das andorinhas no dormitório, especialmente por coincidir com o período de cheia onde os recursos alimentares ficam mais dispersos no ambiente. Para inferências mais assertivas em relação às hipóteses aqui levantadas é necessário que mais amostragens sejam realizadas no local durante novos períodos de invernagem das andorinhas. Além disso, seria bastante esclarecedor caso as novas amostragens ocorram durante a estadia das andorinhas na ilha que aqui denominamos “controle” (como já ocorreu em passado recente), pois assim isso permitiria uma avaliação dos possíveis efeitos decorrentes das diferenças estruturais intrínsecas às ilhas, em relação aos fatores ecológicos decorrentes direta e/ou indiretamente da presença sazonal das andorinhas-azuis. Além disso, também seria importante realizar as análises nutricionais da água, bem como da composição e biomassa do perifiton e de produtividade primária, para avaliar os efeitos diretos das fezes no ambiente aquático antes de atingirem o grupo dos consumidores. Estudos deste tipo são necessários para entender a relação ecológica de espécies migratórias com os ecossistemas que se inserem durante suas rotas de migração, pois estas relações podem ser extremamente importantes na manutenção da biota local.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.W.; Nice, M.M. 1952. A Study of the Breeding Biology of the Purple Martin (*Progne subis*). *American Midland Naturalist*, 47(3): 606- 665.
- Alván-Aguilar, M.A.; Benaion Alencar, Y.; Rodrigues Hardy, E.; Chu-Koo, F. 2009. Alimentação de juvenis da sardinha papuda *Triportheus flavus* (osteichthyes, characidae) no periodo de cheia, no lago camaleão (amazonas, brasil). *Folia Amazónica*, 18(1): 67- 73.
- Anderson, W. & Polis, G. 1999. Nutrient Fluxes from Water to Land: Seabirds Affect Plant Nutrient Status on Gulf of California Islands. *Oecologia*, 118(3): 324-332.
- Aranguren, L.C.N. 2002. *Alimentação de Potamorhina latior (Spix, 1829) (Characiformes: Curimatidae) e Anodus elongatus (Agassiz, 1829) (Characiformes: Hemiodontidae) em lagos marginais do Rio Acre-Amapá (AC) e Pirapora (AM)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. 136p.
- Araujo-lima, C.A.R.M.; Forsberg, B.R.; Victoria, R.; Martinelli, L. 1986. Energy Sources for Detritivorous Fishes in the Amazon. *Science*, 234(4781): 1256- 1258.
- Ashworth, A.J.; Chastain, J.P.; Moore, P.A. 2020. Nutrient Characteristics of Poultry Manure and Litter. In: Waldrup, H. M.; Pagliari, P. A.; He, Z. (Eds). *Animal Manure: Production, Characteristics, Environmental Concerns, and Management*. Vol. 67. ASA Special Publications, Madison, Wisconsin. p. 63- 87.
- Balcombe, J. 2016. In praise of fishes: Précis of What a fish knows (Balcombe 2016). *Animal Sentience*, 8(1): 1- 13.
- Begon, M. 2006. Food Webs. In: Begon, M.; Townsend, C.R.; Harper, J.L(Eds). *Ecology: from individuals to ecosystems*. Vol. 4. Blackwell Publishing, Oxford. p. 578- 601.
- Boateng, S.; Zickermann, J.; Kornahrens, M. 2009. Poultry manure effect on growth and yield of maize. *West African Journal of Applied Ecology*, 9(1): 1- 11.
- Brandão, C.J.; Botelho, M.J.C.; Sato, M.I.Z.; Lamparelli, M. C. 2011. CETESB - Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. ANA, São Paulo, SP, BR. 326 p.
- Breuning-Madsen, H.; Ehlers-Koch, C.; Gregersen, J.; Løjtnant, C. L. 2010. Influence of perennial colonies of piscivorous birds on soil nutrient contents in a temperate humid climate. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 110(1): 25- 35.
- Brinkhurst, R.O.; Walsh, B. 1967. Rostherne Mere, England: a further instance of guanotrophy. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 24(6): 1299- 1313.
- Chaichana, R.; Leah, R.; Moss, B. 2010. Birds as eutrophicating agents: a nutrient budget for a small lake in a protected area. *Hydrobiologia*, 646(1): 111- 121.

Chatterjee, A.; Adhikari, S.; Mukhopadhyay, S.K. 2016. Effects of Waterbird Colonization on Limnochemical Features of a Natural Wetland on Buxa Tiger Reserve, India, During Wintering Period. *Wetlands*, 37(1): 177- 190.

Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (CETESB). 1978. Determinação de nitrogênio orgânico e de nitrogênio total Kjeldahl em águas: método da determinação de nitrogênio na forma de amônia: método de ensaio. (CETESB norma técnica, L5.139). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, SP,BR. 12 p.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). 2014. Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico (CETESB norma técnica L5. 306). São Paulo, SP, BR. 14 p.

Drózdź, D.; Wystalska, K.; Malińska, K.; Grosser, A.; Grobelak, A.; Kacprzak, M. 2020. Management of poultry manure in Poland: Current state and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, 264 (110327): 1- 16.

Farago, T.L.B. 2012. *Variação ao longo de um ano hidrológico da diversidade, estrutura trófica e intensidade reprodutiva da ictiofauna de fundo no lago Catalão, Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM. 80pp.

Fearnside, P.M. 1985. Várzea: Amazonian Floodplains. In: Prance, G.T.; Lovejoy, T.E (Eds). *Agriculture in Amazonia*. Pergamon Press, Oxford. p. 393- 418.

Ferreira, R.L., 2019. Guano communities. In: White, W. B.; Culver, D. C.; Pipan, T. *Encyclopedia of caves*. Vol. 3. Academic Press, Burlington, MA. p. 474- 484.

Filizola, N.; Guyot, J.L.; Boaventura, G. 1999. Fluxo de sedimentos em suspensão na Amazônia - uma análise a partir da base de dados da ANEEL. *Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River Basins*. 9pp.

Filizola, N; Spínola, N; Arruda, W.; Seyler, F.; Calmant, S.; Silva, J. 2009b. The Rio Negro and Rio Solimões confluence point – hydrometric observations during the 2006/2007 cycle. In: Vionnet, C.; García, M.H; Latruesse, E.M.; Perillo, G.M.E (Eds). *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics - RCEM 2009*. Vol. 2. CRC Press, Boca Raton, FL. p. 1003- 1006.

Firth, A.G.; Baker, B.H.; Brooks, J.P.; Smith, R.; Iglay, R.B.; Brian Davis, J. 2020. Low external input sustainable agriculture: Winter flooding in rice fields increases bird use, fecal matter and soil health, reducing fertilizer requirements. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 300(106962): 1- 8.

Fleming, R.; Fraser, P.E.H. 2001. The Impact of Waterfowl on Water Quality-Literature Review. University of Guelph Ridgetown, Ontario, Canada. 14pp.

Forsberg, B.R. 1984. Nutrient processing in Amazon floodplain lakes. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 22(2): 1294- 1298.

- Forsberg, B.R.; Araujo-lima, C.A.R.M.; Martinelli, L.; Victoria, R.; Bonassi, J.A. 1993. Autotrophic Carbon Sources for Fish of the Central Amazon. *Ecology*, 74(3): 643- 652.
- Fraser, K.C.; Shave, A.; Savage, A.; Ritchie, A.; Bell, K.; Siegrist, J.; Ray, J.D.; Applegate, K.; Pearman, M. 2017. Determining fine-scale migratory connectivity and habitat selection for a migratory songbird by using new GPS technology. *Journal of Avian Biology*, 48(3): 339- 345.
- Fraser, K.C.; Stutchbury, B.J.M.; Silverio, C.; Kramer, P.M.; Barrow, J.; Newstead, D.; Mickle, N.; Cousens, B.F.; Lee, J.C.; Morrison, D.M.; Shaheen, T.; Mammenga, P.; Applegate, K.; Tautin, J. 2012. Continent-wide tracking to determine migratory connectivity and tropical habitat associations of a declining aerial insectivore. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1749): 4901–4906.
- Frederick, R.B.; Klaas, E.E. 1982. Resource Use and Behavior of Migrating Snow Geese. *The Journal of Wildlife Management*, 46(3): 601- 614.
- Freitas, T.M.S.; Almeida, V.H.C.; Valente, R.M.; Montag, L.F.A. 2011. Feeding ecology of *Auchenipterichthys longimanus* (Siluriformes: Auchenipteridae) in a riparian flooded forest of Eastern Amazonia, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 9(3): 629- 636.
- Furch, K. 1997: Chemistry of várzea and igapó soils and nutrient inventory of their floodplain forests. In: Junk, W.J. *The Central Amazon floodplain: Ecology of a pulsing system*. V. 126. Springer Verlag, Berlin, BRB. p. 47- 67.
- Furch, K.; Junk, W.J. 1997a. Physiochemical conditions in floodplains. In: Junk, W.J (Ed). *The Central Amazon floodplain: Ecology of a pulsing system*. Vol. 126. Springer Verlag, Berlin, BRB. p. 69-108.
- Furch, K.; Klinge, H. 1989a. Chemical relationships between vegetation, soil and water in contrasting inundation areas of Amazonia. In: Proctor, J. *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. p. 189-204.
- Gagnon, K.; Rothäusler, E.; Syrjänen, A.; Yli-Renko, M.; Jormalainen, V. 2013. Seabird guano fertilizes Baltic Sea littoral food webs. *PLoS One*, 8(4): e61284.
- Ganning, B.; Wulff, F. 1969. The Effects of Bird Droppings on Chemical and Biological Dynamics in Brackish Water Rockpools. *Oikos*, 20(2): 274- 286.
- Gremillion, P.T.; Malone, R.F. 1986. Waterfowl Waste As A Source Of Nutrient Enrichment In Two Urban Hypereutrophic Lakes. *Lake and Reservoir Management*, 2(1): 319- 322.
- Grimm, N.B. 1988a. Role of macroinvertebrates in nitrogen dynamics of a desert stream. *Ecology*, 69(6): 1884- 1893.
- Gwiazda, R.; Jarocha K.; Szarek-Gwiazda E. 2010. Impact of small cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis*) roost on nutrient and phytoplankton assemblages in the littoral regions of a submontane reservoir. *Biologia*, 65(4): 742- 748.

- Gwiazda, R.; Woźnica, A.; Łozowski, B.; Kostecki, M.; Flis, A. 2014. Impact of waterbirds on chemical and biological features of water and sediments of a large, shallow dam reservoir. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 43(4): 418- 426.
- Hadas, A.; Rosenberg, R. 1992. Guano as a nitrogen source for fertigation in organic farming. *Fertilizer research*, 31(2): 209- 214.
- Hahn, S.; Bauer, S.; Klaassen, M. 2007. Estimating the contribution of carnivorous waterbirds to nutrient loading in freshwater habitats. *Freshwater Biology*, 52(12): 2421- 2433.
- Hahn, S.; Bauer, S.; Klaassen, M. 2008. Quantification of allochthonous nutrient input into freshwater bodies by herbivorous waterbirds. *Freshwater Biology*, 53: 181- 193.
- Hairston, N.; Smith, F.; Slobodkin, L. 1960. Community Structure, Population Control, and Competition. *The American Naturalist*, 94(879): 421- 425.
- Halliday, D.J.; Sylvester, J. B. 1954. Phosphorus fertilizers for plantation crops. *Ceylon Cocon Qtly*, 5: 141- 163.
- Harris, H.; Ladowski, J.; Worden, D. 1981. Water-Quality Problems and Management of an Urban Waterfowl Sanctuary. *The Journal of Wildlife Management*, 45(2): 501- 507.
- Henderson, P.A.; Hamilton, W.D.; Crampton, W.G.R. 1998. Evolution and diversity in Amazonian floodplain communities. In: Newbery, D.M.; Prins, H.H.T.; Brown, N. (Eds). *Dynamics of Tropical Communities*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. p. 385-419.
- Hood JM. 2000. *The potential importance of nutrient regeneration by fish in a neotropical stream*. Tese de Doutorado, Miami University, Oxford, OH. 62pp.
- Irion, G. 1978. Soil infertility in the Amazon rain forest. *Naturwissenschaften*, 65: 515-519.
- Jensen, T.C.; Walseng, B.; Hessen, D.O.; Dimante-Deimantovica, I.; Novichkova, A.A.; Chertoprud, E.S.; ...Christoffersen, K.S. 2019. Changes in trophic state and aquatic communities in high Arctic ponds in response to increasing goose populations. *Freshwater Biology*, 64(7): 1241- 1254.
- Junk, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. 1989. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106: 110–27.
- Kale, H. W. 1968. The Relationship of Purple Martins to Mosquito Control. *The Auk* 85(4):654- 661.
- Kelly, J. F.; Bridge, E. S.; Frick, W. F.; Chilson, P. B. 2013. Ecological Energetics of an Abundant Aerial Insectivore, the Purple Martin. *PLoS ONE* 8(9):1–8.
- Kéfi, S.; Berlow, E.L.; Wieters, E.A.; Evie, Navarrete, S.A.; Petchey, O.L.; Wood S.A.; Boit A.; Joppa, L.N.; Lafferty, K.D.; Williams, R.J.; Martinez, N.D.; Menge, B.A.; Blanchette C.A.; Iles,

- A.C.; Brose, U. 2012. More than a meal... integrating non-feeding interactions into food webs. *Ecology Letters*, 15(4): 291- 300.
- Kitchell, J.F.; O'Neill, R.V.; Webb, D.; Gallepp, G.W.; Bartell, S.M.; Koonce, J.F.; Ausmus, B.S. 1979. Consumer Regulation of Nutrient Cycling. *BioScience*, 29(1): 28- 34.
- Laguna, C.; López-Perea, J.J.; Feliu, J.; Jiménez-Moreno, M.; Martín-Doimeadios, R.C.R.; Florín, M.; Mateo, R. 2021. Nutrient enrichment and trace element accumulation in sediments caused by waterbird colonies at a Mediterranean semiarid floodplain. *Science of The Total Environment*, 777(145748): 1- 11.
- Leentvaar P. 1967. Observations in guanotrophic environments. *Hydrobiologia*, 29: 441- 489.
- Loder III, T.C.; Ganning, B.; Love, J.A. 1996. Ammonia nitrogen dynamics in coastal rockpools affected by gull guano. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 196(1-2): 113- 129.
- Mallin, M.A.; McIver, M.R.; Wambach, E.J.; Robuck, A.R. 2016. Algal blooms, circulators, waterfowl, and eutrophic Greenfield Lake, North Carolina. *Lake and Reservoir Management*, 32(2): 168- 181.
- Manny, B.A.; Johnson, W.C.; Wetzel, R.G. 1994. Nutrient additions by waterfowl to lakes and reservoirs: predicting their effects on productivity and water quality. *Hydrobiologia*, 279-280(1): 121- 132.
- Manny, B.A.; Wetzel, R.G.; Johnson, W.C. 1975. Annual contribution of carbon, nitrogen and phosphorus by migrant Canada geese to a hardwater lake. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 19:(2): 949- 951.
- Marion, L.; Clergeau, P.; Brient, L.; Bertru, G. 1994. The importance of avian-contributed nitrogen (N) and phosphorus (P) to Lake Grand-Lieu, France. *Hydrobiologia*, 279-280(1): 133- 147.
- Merritt, R.W.; Cummins, K.W.; Berg, M.B. 2017. Trophic Relationships of Macroinvertebrates. In: Hauer, F.R., Lamberti, G.A. (Eds.). *In: Methods in Stream Ecology: Volume 1: Ecosystem Structure*. Elsevier, Cambridge, MA. pp. 413–433.
- Melão, M.G.G.; Rocha, O. 2006. Life history, population dynamics, standing biomass and production of *Bosminopsis deitersi* (Cladocera) in a shallow tropical reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 18(4):4 33- 450.
- Mérona, B.; Mérona, R. 2004. Food resource partitioning in a fish community of the central Amazon floodplain. *Neotropical Ichthyology*, 2(2):75- 84.
- Möller, M.R.F.; Viégas, L. de J.M.; Matos, A. de O.; Parry, M.M. 1997. *Análises de tecido vegetal: manual de laboratório*. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, BR. 32pp.
- Moore, M.V.; Zakova, P.; Shaeffer, K.A.; Burton, R.P. 1998. Potential Effects of Canada Geese and Climate Change on Phosphorus Inputs to Suburban Lakes of the Northeastern U.S.A. *Lake and Reservoir Management*, 14(1): 52- 59.



- Nascimento, I.O. 2015. *Estrutura e dinâmica da comunidade de cladóceros planctônicos em um ambiente lacustre sob a influência do rio Negro no início da enchente*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM. 40pp.
- Nebel, S.; Mills, A.; McCracken, J.; Taylor, P. 2010. Declines of aerial insectivores in North America follow a geographic gradient. *Avian Conservation and Ecology*, 5(2): 1.
- Nürnberg, G.K.; LaZerte, B.D. 2016. Trophic state decrease after lanthanum-modified bentonite (Phoslock) application to a hyper-eutrophic polymictic urban lake frequented by Canada geese (*Branta canadensis*). *Lake and Reservoir Management*, 32(1): 74- 88.
- Olson, M.H.; Hage, M.M.; Binkley, M.D.; Binder, J.R. 2005. Impact of migratory snow geese on nitrogen and phosphorus dynamics in a freshwater reservoir. *Freshwater Biology*, 50(5): 882- 890.
- Perry, M.C.; Kuenzel, W.J.; Williams, B.K.; Serafin, J.A. 1986. Influence of Nutrients on Feed Intake and Condition of Captive Canvasbacks in Winter. *The Journal of Wildlife Management*, 50(3): 427- 434.
- Polis, G.A.; Anderson, W.B.; Holt, R.D. 1997. Toward an integration of landscape and food web ecology: the dynamics of spatially subsidized food webs. *Annual review of ecology and systematics*, 28(1): 289 -316.
- Portnoy, J.W. 1990. Gull contributions of phosphorus and nitrogen to a Cape Cod kettle pond. *Hydrobiologia*, 202(1-2): 61- 69.
- Porto de Manaus. Nível do Rio Negro ([www.portodemanau.com.br/?pagina=nivel-do-rio-negro- hoje](http://www.portodemanau.com.br/?pagina=nivel-do-rio-negro- hoje)). Acesso: 26/05/2021.
- Post, D.M.; Taylor, J.P.; Kitchell, J.F.; Olson, M.H.; Schindler, D.E.; Herwig, B.R. 1998. The Role of Migratory Waterfowl as Nutrient Vectors in a Managed Wetland. *Conservation Biology*, 12(4): 910- 920.
- Putz, R. 1997. Periphyton communities in Amazonian black- and whitewater habitats: Community structure, biomass and productivity. *Aquatic Sciences*, 59: 74- 93.
- Quesada, C.A.; Lloyd, J.; Anderson, L.O.; Fyllas, N.M.; Schwarz, M.; Czimczik, C.I. 2011. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8(6): 1415- 1440.
- Quesada, C.A.; Lloyd, J.; Schwarz, M.; Patiño, S.; Baker, T. R.; Czimczik, C.; ... Paiva, R. 2010. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, 7(5): 1515- 1541.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org>). Acesso: 25/05/2021.
- Ramirez, A.; Gutiérrez-Fonseca, P. 2014. Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: A critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biología Tropical*, 62(Supl. 2): 155- 167.

Raveling, D.G.; Crews, W.E.; Klimstra, W.D. 1972. Activity Patterns of Canada Geese during Winter. *The Wilson Journal of Ornithology*, 84: 278- 295.

Ribeiro, F.R.V.; Rapp Py-Daniel, L.H.; Walsh, S.J. 2017. Taxonomic revision of the South American catfish genus *Ageneiosus* (Siluriformes: Auchenipteridae) with the description of four new species. *Journal of Fish Biology*, 90(4): 1388- 1478.

Rönicke, H.; Doerffer, R.; Siewers, H.; Büttner, O.; Lindenschmidt, K.-E.; Herzsprung, P.;... Rupp, H. 2008. Phosphorus input by nordic geese to the eutrophic Lake Arendsee, Germany. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv Für Hydrobiologie*, 172(2): 111- 119.

Rosenberg, K.V.; Dokter, A.M.; Blancher, P.J.; Sauer, J.R.; Smith, A.C.; Smith, P.A.; Stanton, J.C.; Panjabi, A.; Helft, L.; Parr, M.; Marra, P.P. 2019. Decline of the North American avifauna. *Science*, eaaw1313.

Saint-Paul, U.; Zuanon J.; Correa, M.A.V.; García M.; Fabré, N.N.; Berger, U.; Junk, W.J. 2000. Fish Communities in Central Amazonian White- and Blackwater Floodplains. *Environmental Biology of Fishes*, 57(3): 235- 250.

Sánchez-Piñero, F.; Polis, G.A. 2000. Bottom-up Dynamics of Allochthonous Input: Direct and Indirect Effects of Seabirds on Islands. *Ecology*, 81(11): 3117- 3132.

Sanseverino, A.M.; Nessimian, J.L. 2008. The food of larval Chironomidae (Insecta, Diptera) in submerged litter in a forest stream of the Atlantic Forest (Rio de Janeiro, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20(1): 15- 20.

Scherer, N.M; Gibbons, H.L.; Stoops, K.B.; Muller, M. 1995. Phosphorus Loading of and Urban Lake by Bird Droppings. *Lake and Reservoir Management*, 11(4): 317- 327.

Silva, C.C.; Ferreira, E.J.G.; Deus, C.P. 2011. Diet of *Bryconops alburnoides* and *B. caudomaculatus* (Osteichthyes: Characiformes) in the region affected by Balbina Hydroelectric Dam (Amazon drainage, Brazil). *Neotropical Ichthyology*, 6(2): 237- 242.

Silva, C.C.; Ferreira, E.J.G.F.; Deus, C. 2008. Diet of five species of Hemiodontidae (Teleostei, Characiformes) in the area of influence of the Balbina reservoir, Uatumã River, State of Amazonas, Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*. 98(4): 464- 468.

Singer, R.; Aguiar, I.A. 1986. Litter decomposition and ectomycorrhizal Basidiomycetes in an igapó forest. *Plant Systematics and Evolution*, 153: 107- 117.

Sioli, H. 1954b. Betrachtungen über den Begriff Fruchtbarkeit eines Gebietes anhand der Verhältnisse in Böden und Gewässern Amazoniens. *Forschungen und Fortschritte*, 28: 65- 72.

Sioli, H. 1969. Entwicklung und Aussichten der Landwirtschaft im brasilianischen Amazonasgebiet. *Die Erde* 100: 307- 326.

- Sioli, H. 1975. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. *In: Golley, F.B.; Medina, E. Tropical ecological systems*. Trends in terrestrial and aquatic research. Springer Verlag, Berlin, BRB. p. 275- 288.
- Stutchbury, B.J.M.; Hill, J.R.; Kramer, P.M.; Rush, S.A.; Tarof, S.A. 2009. Sex and Age-Specific Annual Survival in a Neotropical Migratory Songbird, the Purple Martin (*Progne subis*). *The Auk*, 126(2): 278- 87.
- Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. 2017. *Manual de métodos de análise de solo*. 3ª ed. EMBRAPA: Brasília, DF, BR. 573 p.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumberras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Araújo Filho, J.C.; Oliveira, J.B.; Cunha, T.J.F. 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5ª ed. EMBRAPA: Brasília, DF, BR. 356 p.
- United States. Environmental Protection Agency. 1978. *Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent): Test Method 365.3*. Office of Research and Development, Environmental Monitoring and Support Laboratory. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 18 p.
- United States. Environmental Protection Agency. 2004. Method 9060A: Total Organic Carbon. *In: SW-846 Online: Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods*. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 5pp.
- Vanni M.J. 1996. Nutrient Transport and Recycling by Consumers in Lake Food Webs: Implications for Algal Communities. *In: Polis G.A.; Winemiller K.O (Eds). Food Webs*. Springer, Boston, MA. p. 81- 95.
- Vanni, M.J. 2002. Nutrient Cycling by Animals in Freshwater Ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33(1): 341- 370.
- Venugopalan, V.; Nandakumar, K.; Rajamohan, R.; Sekar, R.; Nair, K. 1998. Natural eutrophication and fish kill in a shallow freshwater lake. *Current Science*, 74(10): 915-917.
- Venugopalan, V.P.; Kumar, R.; Rajamohan, R.; Sekar, R.; Nair, K.V.K. 2005. Natural Eutrophication of a Shallow Tropical Freshwater Lake: Impact and Possible Restoration Strategy. *In: Reddy, M.V. Restoration and Management of Tropical Eutrophic Lakes*. CRC Press, Boca Raton, FL. p. 169-186.
- Vizzini, S.; Signa, G.; Mazzola, A. 2016. Guano-derived nutrient subsidies drive food web structure in coastal ponds. *PloS one*, 11(3): e0151018.
- Wang, F.; Gao, L.; Zhang, S. 2020. Effects of bird aggregation on the soil properties and microbial community diversity of urban forest fragments. *Science of The Total Environment*, 737(140250): 1-9.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Detalhes sobre o delineamento amostral de macroinvertebrados aquáticos

Importante ressaltar dois problemas de delineamento amostral que podem ser responsáveis pelos resultados aqui indicados: a primeira coleta de macroinvertebrados teve um esforço amostral menor que as demais, o método de captura ainda estava sendo ajustado e foram feitos apenas 10 lances de puçá por ponto; e a última coleta passou por um processo de triagem diferente, onde os indivíduos capturados foram triados em laboratório (com uso de lupa) diferente das demais coletas, em que a triagem foi realizada em campo (sem uso de lupa). Por essa razão, abriram-se brechas para investigar se o aumento do número de indivíduos e de famílias na quarta coleta são de indivíduos não visíveis a olho nu (microinvertebrados), e que passaram despercebidos nas triagens anteriores. Por isso, analisou-se quais foram os novos indivíduos presentes na coleta 4 e que não estiveram presentes nas coletas anteriores, e concluiu-se que não foram microinvertebrados, mas sim quatro indivíduos de microcrustáceos com tamanho superior a 0,5 mm. E ainda, os indivíduos que foram super abundantes na quarta coleta, são parte dos mesmos grupos que também predominaram nas coletas 2 e 3, sendo eles: gerrídeos (Hemiptera) e holopedídeos (Diplostraca) adultos, e larvas de chironomídeos (Diptera).

## APÊNDICE B - Modelo de armadilha fecal e disposição no ambiente



Armadilha fecal, vista frontal (A); (B) vista dorsal, os furos foram feitos para que em casos de chuva a água não acumulasse (diluindo as amostras). (C) Amarração das armadilhas, e (D) corte de folhas para aumentar as chances de interceptação das fezes na bandeja.

APÊNDICE C - Distribuição dos pontos de amostragem de solos e organismos aquáticos



Pontos de amostragem na ilha dormitório (A) e ilha controle (B). Em cada local foram dispostas quatro bandejas por noite de amostragem, totalizando 20 bandejas/noite.

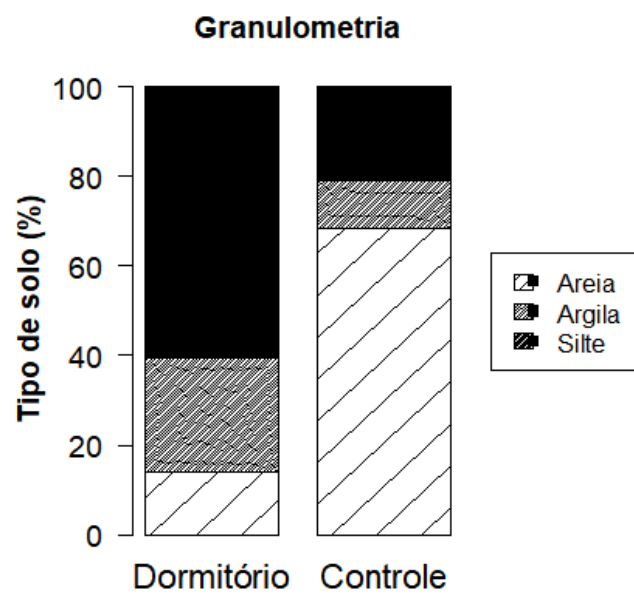


APÊNDICE D - Amostragem da fauna de macroinvertebrados aquáticos.



Amostragem da fauna de macroinvertebrados aquáticos utilizando puçá retangular de 50 cm x 30 cm e abertura de malha de 500  $\mu$ m.

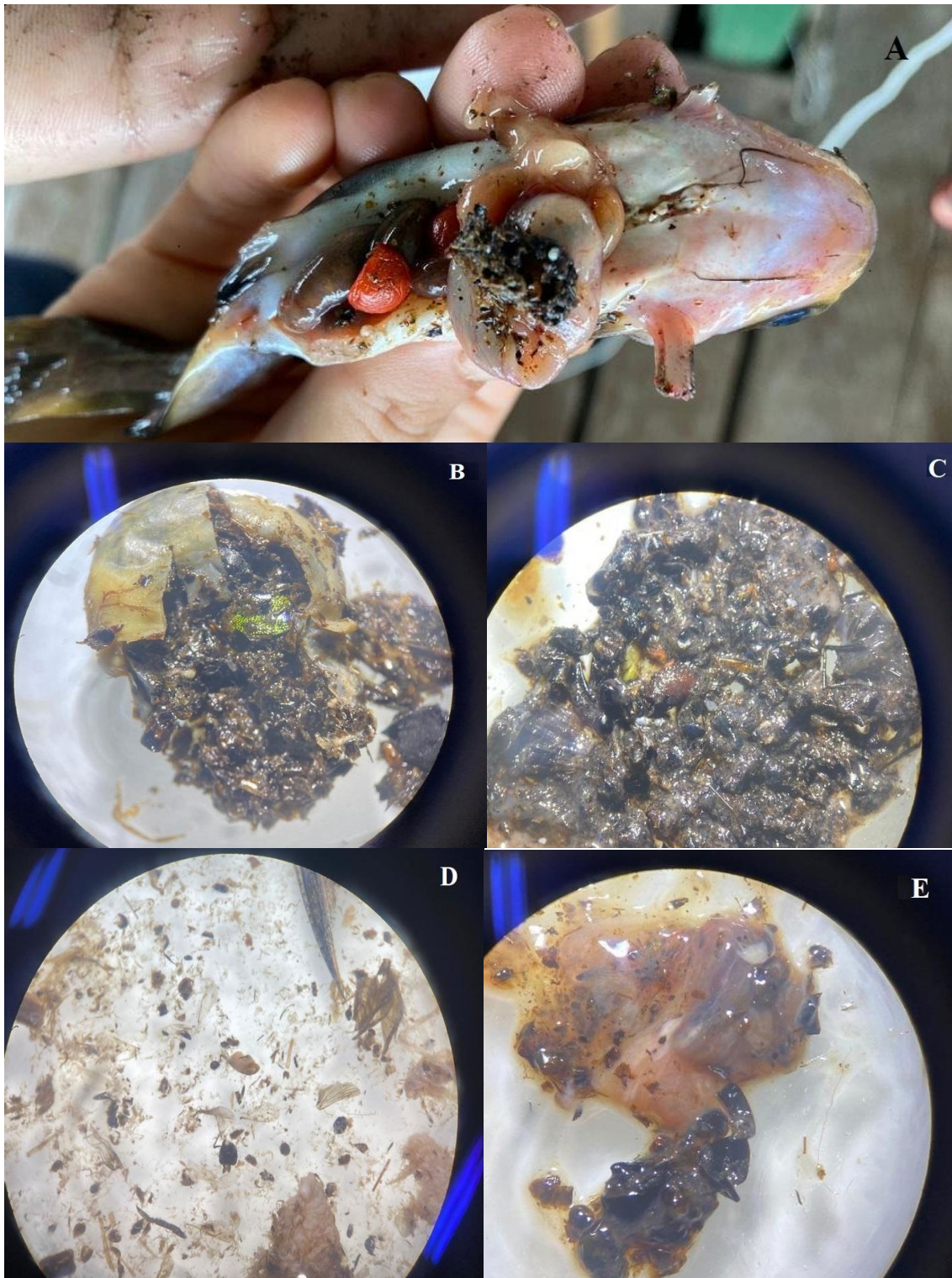
## APÊNDICE E - Granulometria do solo das ilhas dormitório e controle



Granulometria das ilhas dormitório e controle utilizando a média dos pontos amostrais.



APÊNDICE F - Análise do conteúdo estomacal dos peixes coletados (fotos)



(A) *Auchenipterichthys longimanus* com conteúdo estomacal à mostra contendo sementes e fezes de insetívoro aéreo; (B) visão aumentada (sob microscópio estereoscópico) de estômago aberto de um indivíduo de *A. longimanus* repleto de fezes de insetívoro aéreo; (C) visão aumentada (sob microscópio estereoscópico) de unidade fecal de *Progne subis* diluída em água; (D) conteúdo estomacal de (B) diluído em água e com uma maior ampliação no microscópio estereoscópico; (E) visão aumentada (sob microscópio estereoscópico) do conteúdo estomacal de um indivíduo de *Bryconops alburnoides* que se alimentou de invertebrados.

#### APÊNDICE G - Grau de repleção estomacal dos peixes coletados nas ilhas dormitório e controle

Grau de repleção estomacal dos peixes coletados nas áreas de estudo, sendo “0” estômago vazio; “1” estômago com resquícios de alimentação recente; “2” estômago parcialmente cheio com alimento; e “3” estômago completamente cheio.

<b>Grau de repleção estomacal</b>	<b>Dormitório (n)</b>	<b>Dormitório (%)</b>	<b>Controle (n)</b>	<b>Controle (%)</b>
<b>0</b>	8	36,36	5	20
<b>1</b>	3	13,64	8	32
<b>2</b>	5	22,73	10	40
<b>3</b>	6	27,27	2	8

Hipotetizando que o aporte das fezes das andorinhas aumentaria a repleção estomacal dos peixes da ilha dormitório, aplicamos um teste qui-quadrado de Pearson utilizando os dados da ilha controle como os valores esperados, e os valores da ilha dormitório como os valores reais. Obtivemos que  $\chi^2 = 0,0009$ . O que representa que o grau de repleção estomacal encontrado na ilha dormitório é significativamente diferente do encontrado na ilha controle, destacando valores intermediários de repleção estomacal (1 e 2) para os peixes da ilha controle e valores mais extremos para os peixes da ilha dormitório (0 e 3). Entretanto, a quantidade de peixes com estômago completamente cheio é mais de três vezes maior na ilha dormitório do que na ilha controle.

APÊNDICE H - Resumo das estimativas encontradas na literatura de carregamento de nitrogênio (N) e fósforo (P), adaptado de Adhurya, Das e Ray (2020).

Área de estudo	Tipo de ave	Área (ha)	N (g/m <sup>2</sup> /ano)	P (g/m <sup>2</sup> /ano)	Estimativa	Referência
Ilha dormitório, (Rio Negro), BR	Andorinhas	3.1	0.5 – 1.5	0.01 - 0.04	Relação alométrica	Nossos resultados
Bay Beach WLS, USA	Patos e gansos	1.97	4.8	4.8	Multiplicação Simples	Harris, Ladowski e Donald (1981)
Baton, Rouge, USA	Patos e gansos	3.7	-	0.27	Relação alométrica	Gremillion e Malone (1986)
Baton, Rouge, USA	Patos e gansos	1.4	-	0.43	Relação alométrica	Gremillion e Malone (1986)
Wintergreen lake, USA	Patos e gansos	15	1.87	0.59	Relação alométrica	Manny, Johnson e Wetzel (1994)
Green Lake, USA	Diversas	105	-	0.15	Relação alométrica	Scherer <i>et al.</i> (1995)
Grand Lieu, France	Patos, estorninhos, gaivotas, garças e mergulhões	5150	0.11	0.04	Relação alométrica	Marion <i>et al.</i> (1994)
Grand Lieu, France	Patos, estorninhos, gaivotas, garças e mergulhões	5150	0.15	0.05	Relação alométrica	Marion <i>et al.</i> (1994)
Gull Pond, USA	Gaivota	44	-	0.12	Relação alométrica	Portnoy (1990)
Middle Creek Reservoir, USA	Gansos	162	3.67	0.52	Relação alométrica	Olson <i>et al.</i> (2005)
Lake Waban, USA	Gansos	360	-	0.008	Relação alométrica	Moore <i>et al.</i> (1998)
Greenfield Lake, USA	Diversas	37	0.14	0.23	Relação alométrica	Mallin <i>et al.</i> (2016)
Bosque del Apache NWR, USA	Gansos	50.2	14.29	1.76	Bioenergético	Post <i>et al.</i> (1998)
All inland lakes of Netherland	Aves aquáticas herbívoras	3.57 × 10 <sup>5</sup>	0.0074 - 0.14	0.009 - 0.01	Bioenergético alimentar	Hahn <i>et al.</i> (2008)

All inland lakes of Netherland	Aves aquáticas carnívoras	$3.57 \times 10^5$	0.026 - 0.065	0.012 - 0.016	Bioenergético alimentar	Hahn <i>et al.</i> (2007)
Lake Arendsee, Germany	Gansos	514	-	0.54	Análise de balanço de massa	Rönicke <i>et al.</i> (2008)
			-	0.336	Balanço de massa	Rönicke <i>et al.</i> (2008)
Brown Moss, UK	Patos e gansos	33	0.741	0.234	Balanço de massa	Chaichana <i>et al.</i> (2010)
Swan Lake, Canada	Gansos	5.48	-	0.26	Bioensaio	Nrnberg e LaZerte (2016)