



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

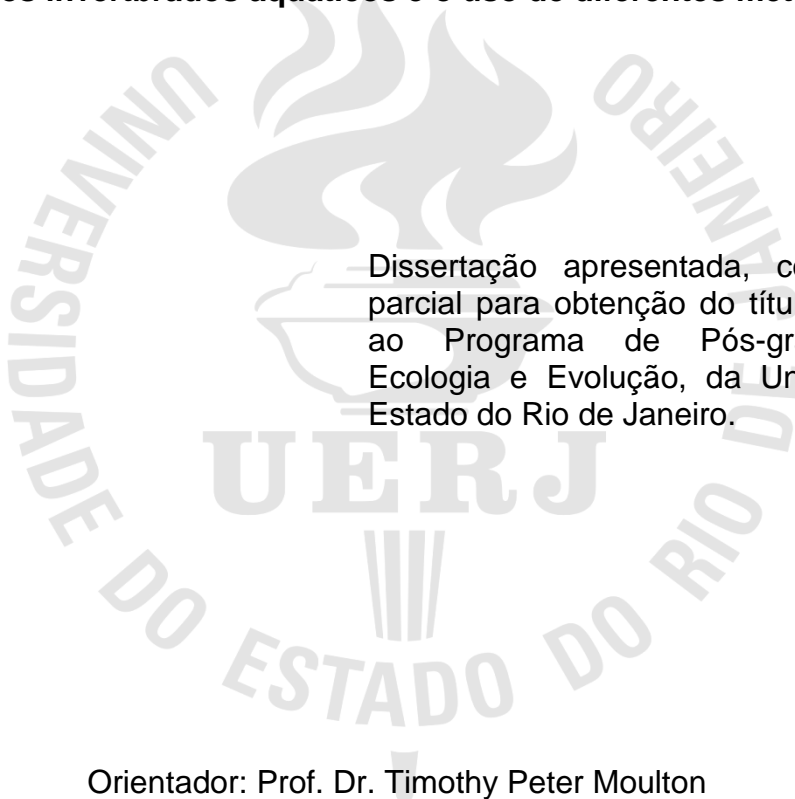
Claudia Machado de Andrade

Processamento foliar em um córrego de Mata Atlântica: o papel dos invertebrados aquático e o uso de diferentes metodologias

Rio de Janeiro
2015

Claudia Machado de Andrade

**Processamento foliar em um córrego de Mata Atlântica:
o papel dos invertbrados aquáticos e o uso de diferentes metodologias**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Timothy Peter Moulton

Rio de Janeiro

2015

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

A553 Andrade, Claudia Machado de.
Processamento foliar em um córrego de mata atlântica: o papel dos invertebrados aquáticos e o uso de diferentes metodologias/ Claudia Machado de Andrade. – 2015.
72 f. : il.

Orientador: Timothy Peter Moulton.
Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.

1. Ecologia aquática 2. Invertebrado aquático. I. Moulton, Timothy Peter. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. III. Título.

CDU 574.5

Autorizo para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

Assinatura

Data

Claudia Machado de Andrade

**Processamento foliar em um córrego de mata atlântica:
o papel dos invertbrados aquáticos e o uso de diferentes metodologias**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 11 de março de 2015.

Banca Examinadora :

Prof. Dr. Timothy Peter Moulton (Orientador)
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

Prof. Dr. Adriano Caliman Ferreira da Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Daniel Forsin Buss
Fundação Oswaldo Cruz

Prof.^a Dra. Gisele Lobo Hajdu
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

Prof.^a Dra. Aliny Patrícia Flauzino Pires
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2015

AGRADECIMENTOS

Ao atingir um objetivo, uma pessoa nunca luta sozinha, não sofre sozinha e não ganha sozinha. A colaboração de algumas pessoas foi essencial para que eu tivesse sucesso nessa árdua tarefa e merece a minha eterna gratidão.

À minha família, que sempre esteve por perto me aturando tanto nos meus momentos alegres quanto nos de estresse total. Agradeço pela compreensão e carinho e peço desculpas pela ausência.

Ao meu orientador Timothy Moulton pela oportunidade, paciência e carinho sempre (mesmo quando eu mereci puxões de orelha)! Acho que conheci poucas pessoas com tamanha generosidade e bom senso. Obrigada também por entender a minha distância durante esse segundo ano do mestrado. Tive muita sorte em tê-lo como orientador durante esses cinco anos. Peço desculpas e me arrependo de não ter aproveitado mais o tempo no dia-a-dia do laboratório com você e todo o seu conhecimento. Agradeço também a Rosário, sempre muito carinhosa e nos recebendo super bem nos churrascos em Sta Teresa. Vocês formam um casal lindo!

Aos queridos colegas de laboratório Leo, Gabriel, Christine e Vini pela ajuda nos campos. Eugenia, Jô, Pri, Chris, Mona, Tom, Eduardo, Japa e suas pipocas e bananadas sempre salvando a larica da tarde, Rafa com suas piadinhas (estou com saudades xuxu!! volta logo desse sanduíche!!) vocês também fazem parte dessa conquista!

Em especial ao Vini pelas incontáveis ajudas desde sempre (e que nunca cessarão!! rs), pela companhia nos campos, pelas boas músicas durante as triagens, por estar sempre disposto a ajudar e a explicar muitas vezes as mesmas coisas e, principalmente, por sempre me incentivar, elogiando as coisas até quando não estão tão boas, rs! Sorte de quem o tiver como orientador, mas tomara que nenhuma seja tão chata como eu que ligo, mando email, SMS, pombo correio, e ainda tenho amigos pra te vigiar quando viaja! rrsrs.

Agradeço demais aos alunos do PPGE e aos alunos da Graduação em Ciências Biológicas que participaram das disciplinas de Ecologia de Rios e Córregos e me ajudaram a montar os experimentos. Em especial à Vivian Cionek, que ajudou bastante no experimento piloto realizado durante a disciplina em 2012. Aos queridíssimos Elitieri (neguinho) e Karlinha, que ficaram horas dentro da água

gelada me ajudando a amarrar as cercas elétricas no experimento final, e também à Carol e ao Gustavo pelo cuidado com meus litter bags.

Aos colegas do PPGEE: Paulinha e sua risada inconfundível, Piatã (mesmo tão longe), Marlon, Carol Lacerda, Átilla, Carol Dias, Neguinho (Elitiri), Bia, Karlinha, Lívia, Luisa Manna, Leo e Marcela pelos papos nos corredores do Decol (ou via Skype) e pelas cervejas no Lorena, na Lapa, em Santa Teresa ou na querida Tereza, na Ilha. Com certeza todas as conversas e cervejas são essenciais pra não enlouquecermos!

Às amigas e amigos da UERJ-FFP que levarei pra sempre comigo: Bia, Jô, Thaís, Fabi, Erikinha, André, Bixo e Arthur.

Às amigas da vida Graciana e Lidiane, peço desculpas pela minha ausência por muitas e muitas vezes, prometo melhorar! rsrs

Não poderia deixar de agradecer à loja Cantão, onde trabalhei por dez meses e onde conheci pessoas incríveis e que nunca esquecerei Jenifer, Lívia, Marcela, Nath e Stephanie (em ordem alfabética pra não dar problema).

Ao meu melhor amigo e namorado Anderson, que me incentivou a aceitar o mestrado mesmo sem bolsa e sempre esteve do meu lado, aguentando as minhas crises e curtindo as alegrias. Que me apoiou e me ajudou tanto psicologicamente quando financeiramente. Com certeza se não fosse o seu apoio eu não chegaria até aqui. Espero um dia conseguir retribuir toda ajuda e carinho. Na verdade, eu diria que mais três idas à campo com temperatura chegando a 55°C na sombra de um arbusto da Restinga de Jurubatiba já pagam com folga tudo isso! rsrs. Te amo demais!

Aos professores Adriano Caliman e Daniel Buss por aceitarem participar desta banca. Às suplentes Gisele Lobo e Aliny Pires, muito obrigada por cederem um pouco do tempo de vocês para me ajudar. E ao revisor e colega de laboratório, Vinicius Neres, muito obrigada de novo e sempre!

À secretaria do PPGEE, sempre atenciosa e disposta a esclarecer dúvidas.

Aos funcionários do Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável (CEADS), que me receberam durante todo o experimento.

Este trabalho faz parte do projeto RAPELD - Diversidade Biológica na Ilha Grande: uma análise sintética dos processos e base para pesquisas de longa duração. O projeto me forneceu, com o apoio da FAPERJ, auxílio financeiro para transporte e compra do material utilizado durante os experimentos.

A natureza criou o tapete sem fim que recobre a superfície da terra. Dentro da pelagem desse tapete vivem todos os animais, respeitosamente. Nenhum o estraga, nenhum o róí, exceto o homem.

Monteiro Lobato

RESUMO

ANDRADE, Claudia Machado de. **Processamento foliar em um córrego de Mata Atlântica**: o papel dos invertbrados aquáticos e o uso de diferentes metodologias. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

O papel que macroconsumidores e insetos aquáticos desempenham no processamento foliar em riachos tropicais tem sido discutido. Em riachos tropicais os macroconsumidores podem diretamente aumentar a taxa processamento foliar (k) através de consumo e bioturbação. Contudo eles também podem diminuir essa taxa por indiretamente ao diminuir a colonização de folhas por insetos aquáticos. Algumas metodologias de exclusão de fauna têm sido utilizadas para avaliar o papel desses animais no processamento de folhas. Para testar o papel da fauna no processamento foliar e o efeito de diferentes metodologias, nós montamos dois experimentos entre os meses de Abril e Agosto de 2013 no Córrego da Andorinha, um riacho de terceira ordem localizado na Ilha Grande, Rio de Janeiro. Nós utilizamos folhas de duas espécies de plantas comuns na nossa área de estudo e com diferente grau de dureza: *Erythroxylum pulchrum* (mais dura) e *Miconia prasina*. No primeiro experimento a presença da fauna foi manipulada por exclusão elétrica. No tratamento controle (sem eletrificação) tanto camarões quanto insetos tinham acesso às folhas, no tratamento com baixa intensidade de choque apenas os camarões foram excluídos e no com alta intensidade tanto camarões quanto insetos com tamanho maior que 5 mm foram excluídos. No segundo experimento, a presença da fauna foi manipulada por exclusão elétrica ou por sacos com diferentes tamanhos de malhas. Os tratamentos de exclusão elétrica foram os mesmos do primeiro experimento. Já os tratamentos de malhas foram: malha de 12 mm - sem exclusão da fauna; 2 mm - exclusão dos camarões; e 0,2 mm - exclusão tanto de camarões quanto de insetos aquáticos. Na cerca elétrica a espécie *Erythroxylum* apresentou uma taxa de processamento significativamente maior no tratamento com choque fraco, onde apenas os camarões foram excluídos ($k = 0,016 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$), já na metodologia de sacos a sua maior taxa de processamento foi encontrada no saco com malha de 12mm ($0,008 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$), onde encontramos um elevada abundância do camarão Potimirim brasileira, que pode ter influenciado positivamente na taxa de processamento devido à bioturbação. Em relação às folhas de *Miconia*, as taxas de processamento não diferiram entre os tratamentos tanto na metodologia de cercas elétricas ($F_{2,43}=1,69$, $p=1,95$) quanto de sacos ($F_{2,44}=2,18$, $p=0,124$). Entretanto, ambas as espécies apresentaram menores taxas de processamento nos sacos, mostrando que a metodologia pode influenciar os resultados do processamento de folhas em relação à exclusão da fauna. Nossos resultados também evidenciam que o camarão onívoro *Macrobrachium olfersi* exerce um forte efeito negativo sobre a atividade de insetos aquáticos e controla indiretamente o processamento foliar, via cascata trófica, ao regular a abundância e atividade dos insetos aquáticos, que atuam diretamente nesse processamento.

Palavras-chave: Macroconsumidores, insetos aquáticos, exclusão elétrica, exclusão por sacos de folhas, cascata trófica.

ABSTRACT

ANDRADE, Claudia Machado de. **Leaf processing in a rainforest stream: the role of aquatic invertebrates and the use of different methodologies.** 2015. 72f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015

The role of macroconsumers and aquatic insects play in the leaf processing in tropical rivers has been discussed. In some tropical streams macroconsumers can directly increase the leaf processing rate (k) through consumption and bioturbation. However, they can also reduce this rate indirectly by decreasing the colonization of leaves by aquatic insects (trophic cascade). Some methodologies of fauna exclusion have been used to evaluate the role of these animals in the leaf processing. To test the role of fauna in the leaf processing and the effect of different methodologies, we set up two experiments between the months of April and August 2013 on Córrego da Andorinha, a third order stream located at Ilha Grande, Rio de Janeiro. We used leaves of two species of common plants in our study area and with different degrees of toughness: *Erythroxylum pulchrum* and *Miconia prasina*. In the first experiment, the presence of fauna was manipulated by electric exclusion. In the control treatment (without electrification) shrimp and insects had access to the leaves, the treatment with low shock intensity only the shrimps were excluded and with high intensity both shrimp and insects with size greater than 5 mm were excluded. In the second experiment, the presence of fauna was manipulated by electric exclusion or litter bags with different mesh sizes. The treatments of electric exclusion were the same of first experiment. Since the mesh treatments were: 12 mm - without fauna exclusion; 2 mm - excluding shrimp; and 0.2 mm - excluding shrimp and insects water. In the electric fence, *Erythroxylum* showed a significantly higher processing rate in the treatment with low shock, where only the shrimps were excluded ($k = 0,016 \pm 0,001 \text{ day}^{-1}$), since the litter bags methodology its higher processing rate was found in bag with mesh 12mm ($0,008 \pm 0,001 \text{ day}^{-1}$), where we find a high abundance of shrimp *Potimirim brasiliensis*, which may have influenced positively the processing rate due to bioturbation. Regarding the leaves of *Miconia*, processing rates did not differ between treatments in terms of methodology using electric fences ($F_{2,43} = 1,69$, $p = 1,95$) and with bags ($F_{2,44} = 2,18$, $p = 0,124$). However, both species had lower processing rates on the bags, showing that the results of leaf processing of fauna exclusion may depend on the methodology. Regarding the fauna, in the experiment with leaves of *Erythroxylum* the electric fence, it was possible to identify a trophic cascade effect, where the presence of shrimp *Macrobrachium olfersi* influence negatively the abundance and activity of aquatic insects, causing also smaller leaf processing rate.

Keywords: Macroconsumers, aquatic insects, electric exclusion, litter bags exclusion, trophic cascade.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	11
1	CASCATA TRÓFICA REVELADA EM EXPERIMENTO DE EXCLUSÃO: O PAPEL DOS CAMARÕES E DOS INSETOS AQUÁTICOS NO PROCESSAMENTO DE ERYTHROXYLUM PULCHRUM.....	21
1.1	Resumo.....	21
1.2	Abstract.....	23
1.3	Introdução.....	24
1.4	Materiais e Métodos.....	27
1.4.1	<u>Área de estudo.....</u>	27
1.4.2	<u>Exclusão elétrica.....</u>	29
1.4.3	<u>Amostragem e análise dos dados.....</u>	31
1.5	Resultados.....	32
1.6	Discussão.....	34
1.7	Referências.....	37
2	A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES METODOLOGIAS NA TAXA DE PROCESSAMENTO FOLIAR E NA COLONIZAÇÃO DE INVERTEBRADOS AQUÁTICOS EM UM RIACHO DE MATA ATLÂNTICA.....	45
2.1	Resumo.....	45
2.2	Abstract.....	46
2.3	Introdução.....	47
2.4.	Materiais e métodos.....	50
2.4.1	<u>Área de estudo.....</u>	50
2.4.2	<u>Pacotes de folhas.....</u>	51
2.4.3	<u>Exclusão elétrica.....</u>	52
2.4.4	<u>Exclusão com sacos.....</u>	53
2.4.5	<u>Amostragem e análise dos dados.....</u>	54
2.5	Resultados.....	55
2.6	Discussão.....	60

2.7	Referências	64
	APÊNDICE - Local de estudo e metodologias	70

INTRODUÇÃO GERAL

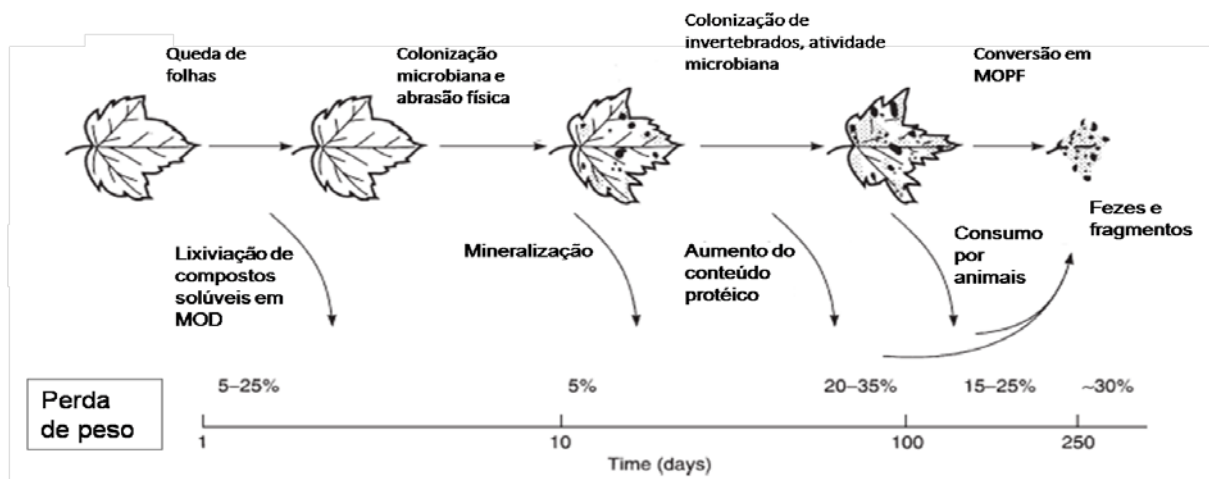
Diversos trabalhos sobre a dinâmica da matéria orgânica em ambientes aquáticos continentais têm sido realizados nos últimos 40 anos desde o clássico trabalho de Fisher e Likens (1973). Grande parte destes trabalhos tem focado na entrada de matéria orgânica particulada e padrões de retenção, acúmulo e decomposição dos detritos (Abelho, 2001) e também na importância dessa matéria como recurso alimentar para as teias tróficas aquáticas.

Em ambientes aquáticos lóticos, como os riachos, o material orgânico tem duas principais fontes: autóctone – produzido dentro do próprio sistema, como algas e plantas aquáticas; ou alóctone – provido da mata ripária, composto principalmente por folhas, mas que inclui também galhos, raízes e partes reprodutivas de plantas terrestres (Webster & Benfield, 1986). O Conceito do Contínuo de Rio (CCR) prevê que, em riachos de pequena ordem, o sombreamento provocado pela vegetação ripária limita a produção algal. Dessa forma, os organismos heterotróficos dessas áreas, devem ter o material alóctone como suas principal fonte primária de energia (Vannote et al. 1980). Todavia, essa afirmação não pode ser considerada uma regra, principalmente em riachos tropicais, uma vez que ela foi descrita baseada principalmente em riachos de áreas temperadas (March & Pringle, 2003; Brito et al., 2006; Lau et al., 2008; Moulton, 2006). As evidências de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio de fontes basais de alimento e da fauna de do Córrego da Andorinha, onde desenvolvemos nossos experimentos, mostraram que os insetos aquáticos assimilam maior percentagem de carbono derivado de microalgas do que de plantas terrestres (Brito et al., 2006; Neres-Lima et al., *submetido*). Esse resultado é uma evidência de que em pequenos riachos tropicais a produção primária autóctone pode manter a produção secundária dos metazoários, apesar da pouca luz (Bunn et al., 1999).

A decomposição do material alóctone é um processo chave no metabolismo de corpos d'água, pois disponibiliza nutrientes através da sua mineralização (Allan e Castillo, 2007). O processo da decomposição é caracterizado por três fases que podem ocorrer concomitantemente: lixiviação, condicionamento e fragmentação. A lixiviação ocorre logo após a imersão da folha no rio e é caracterizada pela perda de compostos solúveis que são liberados das folhas na forma de matéria orgânica

dissolvida (MOD). O condicionamento ocorre quando fungos e bactérias colonizam e modificam quimicamente as folhas, o que as torna mais palatáveis e nutritivas para os insetos aquáticos. Nessa fase ocorre a mineralização que disponibiliza nutrientes e CO_2 . A fragmentação ocorre por abrasão física e consumo pelos organismos fragmentadores e converte as folhas em matéria orgânica particulada fina (MOPF, partículas $<1\text{mm}$ e $>0,5\mu\text{m}$) (Webster e Benfield, 1986; Gessner et al., 1999) (Fig. 1).

Figura 1 - Fases da decomposição foliar



Nota: Modelo ilustrativo das fases da decomposição foliar ao longo do tempo, que pode ser diferente de acordo com as características da folha e do ambiente (MOD - matéria orgânica dissolvida e MOPF - matéria orgânica particulada fina).

Fonte: adaptado de Allan e Castillo, 2007.

A decomposição pode ser influenciada por fatores ambientais e pela qualidade do material foliar. Por exemplo, a velocidade da correnteza pode levar a quebra desse material por abrasão e também influenciar a colonização da folha pela comunidade bentônica (Arrington & Winemiller, 2006). A composição química, temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido na água também podem afetar esse processo (Abelho, 2001). Já em relação à qualidade das folhas, uma maior quantidade de lignina e taninos, que se refletem em alta razão C:N, torna as folhas mais recalcitrante e difícil de ser consumida por fragmentadores e decompositores (Gessner & Chauvet, 1994; Canhoto & Graça, 1996).

Em riachos temperados, os fragmentadores são os invertebrados responsáveis por cerca de 30% do processamento foliar. O processamento foliar (ou fragmentação) é a quebra do material orgânico particulado grosso (MOPG, partícula >1mm) em MOPF, que posteriormente pode ser consumido pelos coletores (Cummins et al., 1989; Graça, 2001). O processamento foliar também pode ser resultado da abrasão física da água e / ou da bioturbação (perdas não consumidas) provocada por animais.. No entanto, alguns estudos em riachos tropicais têm registrado escassez de fragmentadores (Dobson et al., 2002; Gonçalves et al., 2006 e 2007; Wantzen et al., 2008; Andrade, monografia). Outros estudos mostraram o inverso e sugerem que a escassez de fragmentadores pode estar relacionada ao fato de usarmos classificações funcionais desenvolvidas para animais de riachos temperados (Cheshire et al., 2005; Camacho et al., 2009; Yule et al., 2009). Na maioria dos riachos temperados, a combinação de aporte contínuo de folhas de alta qualidade nutricional da floresta decídua com a alta concentração de nutrientes dissolvidos na água podem suportar uma alta atividade de hifomicetos, que por sua vez podem aumentar a palatibilidade das folhas aos fragmentadores. Já em alguns riachos tropicais, há uma predominância de folhas de pobre qualidade nutricional e baixa concentração de nutrientes dissolvidos. A combinação desses fatores deve limitar a atividade de hifomicetos nas folhas, o que as deixa menos atrativa para os fragmentadores (Graça et al., 2015).

Irons et al (1994), em uma comparação latitudinal, mostrou que os fragmentadores foram menos importantes em riachos tropicais, onde uma maior temperatura propiciou uma maior atividade de fungos e bactérias, que tiveram maior importância para o processamento foliar nestas áreas do que nas temperadas. Contrastando com trabalhos que mostram que os fragmentadores não são escassos em riachos tropicais (Cheshire et al., 2005; Yule et al., 2009) Além disso, crustáceos decápodes onívoros, como camarões e caranguejos, que são abundantes em alguns riachos tropicais, podem fragmentar folhas (Mancinelli et al., 2013). Estes decápodes podem atuar diretamente no processamento de folhas, ou seja, consumo e/ou bioturbação. Porém eles também podem atuar indiretamente na decomposição, já que em alguns casos os crustáceos podem controlar a densidade e atividade de insetos aquáticos (Crowl et al., 2001; March et al., 2001; Cogo e Santos, 2013; Moulton et al., 2010; Cogo et al., 2014).

Em um estudo de meta-análise, Mancinelli et al. (2013) testaram os efeitos da presença ou ausência de crustáceos decápodes, principalmente camarões, no processamento foliar e na colonização de pacotes de folhas por insetos aquáticos. Na presença de crustáceos decápodes, as folhas apresentaram menor colonização por insetos aquáticos e maior taxa de fragmentação e/ou consumo de folhas comparado ao controle na ausência dos crustáceos. Em resumo, o efeito direto dos decápodes sobre as folhas foi mais importante do que o efeito indireto (i.e. efeito indireto na taxa de processamento de folhas através do efeito direto na colonização das folhas por insetos aquáticos, ou seja, cascata trófica). Esses resultados foram mais evidentes em rios temperados do que em tropicais (Mancinelli et al., 2013).

Estudos que avaliam o processamento foliar tanto em ambientes aquáticos quanto em ambientes terrestres geralmente utilizam a metodologia de exclusão por sacos (*litter bags*) que podem variar no tamanho e abertura da malha, selecionando desta forma os animais que terão acesso às folhas (por ex. Moretti et al., 2007; Cotrufo et al., 2010; Moulton et al., 2010; Pozo et al., 2011; Gonçalves et al., 2012; Oliveira et al., 2014). No entanto em ambientes aquáticos lóticos, como os riachos, a metodologia do saco de folhas pode adicionar efeitos indesejáveis de artefato metodológico, como por exemplo, diminuição do fluxo de água dentro dos sacos e conseqüentemente, aumento da sedimentação. Os sacos também podem ser um potencial abrigo para muitos animais, fazendo com que a densidade dentro dos sacos seja superior à encontrada no rio. Experimentos de exclusão com cercas elétrica tem sido utilizados em riachos (Pringle e Blake, 1994; Moulton et al., 2004, Marshall et al., 2012; 2015; Souza e Moulton, 2005; Souza et al., 2007; Lourenço-Amorin et al., 2014) e parecem não ter esses efeitos de artefatos dos experimentos de exclusão com sacos. As cercas elétricas também têm sido utilizadas em experimentos de processamento de folhas (Rosemond et al., 1998; March et al., 2001; Landeiro et al., 2008; Bassar, et al., 2012; Marshal et al., 2012).

Com o objetivo de avaliar o papel dos camarões e seus efeitos diretos e indiretos na colonização de folhas por insetos aquáticos e de ambos os organismos no processamento foliar, nós realizamos dois experimentos. Em um deles também comparamos as metodologias de exclusão com cercas elétricas e de exclusão por sacos.

O primeiro capítulo se refere ao trabalho no qual nós avaliamos o efeito dos camarões sobre a comunidade de insetos aquáticos e de ambos no processamento

foliar de *Erythroxylum pulchrum* (Erythroxylaceae) por experimentos de exclusão. Para isso, utilizamos a metodologia de cercas elétricas com dois níveis de intensidade de choque. Isso nos permitiu excluir em um tratamento apenas os camarões e em outro tratamento excluímos tanto camarões quanto insetos aquáticos. O segundo capítulo se refere ao trabalho em que estendemos os objetivos do trabalho descrito no capítulo I para compara as taxas de processamento foliar de duas espécies, *Erythroxylum pulchrum* e *Miconia prasina* (Melastomataceae). Além disso, nós utilizamos tanto a metodologia de sacos com diferentes malhas quanto a metodologia de cercas elétricas com diferentes intensidades de choque, a afim de comparar essas metodologias.

Referências

- Abelho, M. 2001. From litterfall to breakdown in streams: a review. *The Scientific World*, **1**: 656-680.
- Andrade, C. M. 2012. Relação entre microhabitat e grupo funcional de macroinvertebrados em córregos da Reserva Ecológica da Juatinga, Rio de Janeiro. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Allan, J. D. and Castillo, M. M. 2007. *Stream Ecology: Structure and function of running waters*. 2 ed. Dordrecht: Springer, 444p.
- Arrington, D. A. and Winemiller, K. O. 2006. Habitat affinity, the seasonal flood pulse, and the community assembly in the littoral zone of a Neotropical floodplain river. *Journal of the North American Benthological Society*, **25**: 126-141
- Bassar, R. D., Ferriere, R., López-Sepulcre, A., Marshall, M. C., Travis, J., Pringle, C. M., Reznick, D. N. 2012. Direct and indirect ecosystem effects of evolutionary adaptation in the Trinidadian guppy (*Poecilia reticulata*). *The American Naturalist*, **180**: 168-185

Brito, E. F., Moulton, T. P., Souza, M. L. and Bunn, S. E. 2006. Stable isotope analysis indicates microalgae as the predominant food resource of fauna in a coastal forest stream, south-east Brazil. *Austral Ecology*, **31**: 623-633.

Bunn S. E., Mosisch T. D. and Davies P. M. 1999a. Temperature and light. In: *Riparian Land Management Technical Guidelines Volume One: Principles of Sound Management* (eds S. Lovett & P. Price) pp. 17–24. Land and Water Resources and Development Corporation, Canberra ACT, Australia.

Bunn S. E., Davies P. M. and Mosisch T. D. 1999 Ecosystem measures of river health and their response to riparian and catchment degradation. *Freshwater Biology*, **41**: 333–45.

Camacho, R., Boyero, L., Cornejo, A., Ibañez, A. and Pearson, R. G. 2009. Local variation in shredder distribution can explain their oversight in Tropical stream. *Biotropica*, **41**: 625-632

Canhoto, C. and Graça, M. A. S. 1996. Decomposition of *Eucalyptus globulus* leaves and three native leaf species (*Alnus glutinosa*, *Castanea sativa* and *Quercus faginea*) in a Portuguese low order stream. *Hydrobiologia*, **333**: 79-85.

Cheshire, K., Boyero, L. and Pearson, R. G. 2005. Food webs in tropical Australian streams: shredders are not scarce. *Freshwater Biology*, **50**: 748-769.

Cogo, G. B. and Santos, S. 2013. The role of aeglids in shredding organic matter in neotropical streams. *Journal of Crustacean Biology*, **33**: 519-526.

Cogo, G. B., Biasi, C. and Santos, S. 2014. The effect of the macroconsumer *Aegla longirostri* (Crustacea, Decapoda) on the invertebrate community in a subtropical stream. *Acta Limnologica Brasiliense*, **26**: 143-153.

Cotrufo, M. F., Ngao, J., Marzaioli, F., and Piermatteo, D. 2010. Inter-comparison of methods for quantifying leaf litter decomposition rates. *Plant and Soil*, **334**: 365–376

- Crowl, T. A., McDowell, W. H., Covich, A. P. and Johnson, S. L. 2001. Freshwater shrimp effects on detrital processing and nutrients in a tropical headwater stream. *Ecology*, **82**: 775-783.
- Cummins, K. W., Wilzbach, M. A., Gates, D. M., Perry, J. B. and Talaiferro, W. B. 1989. Shredders and riparian vegetation. *BioScience*, **39**: 24-30.
- Dobson, M., Magana, A., Mathooko, J. M. and Ndegwa, F. K. 2002. Detritivores in Kenyan highland streams: more evidence for the paucity of shredders in the tropics? *Freshwater Biology*, **47**: 909–919.
- Fisher, S. G., and Likens, G. E. 1973. Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: an integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecological Monographs*, **43**: 421-439.
- Gessner M.O., Chauvet, E. and Dobson M. 1999. A perspective on leaf litter breakdown in streams. *Oikos*, **85**: 377–384.
- Gessner, M. O. and Chauvet, E. 1994. Importance of stream microfungi in controlling breakdown rates of leaf litter. *Ecology*, **75**: 1807-1817.
- Gonçalves, J. F. Jr., Graça, M. A. F. and Callisto, M. 2006. Leaf-litter breakdown in 3 streams in temperate, Mediterranean, and tropical Cerrado climates. *Journal of the North American Benthological Society*, **24**: 344–355.
- Gonçalves, J. F. Jr., Graça, M. A. S. and Callisto, M. 2007. Litter decomposition in a Cerrado savannah stream is retarded by leaf toughness, low dissolved nutrients and a low density of shredders. *Freshwater Biology*, **52**: 1440–1451.
- Gonçalves, J. F. Jr., Rezende, R. S., Martins, N. M. and Gregório, R. S. 2012. Leaf breakdown in an Atlantic Rain Forest stream. *Austral Ecology*, **37**: 807-815.

Graça, M. A. S. 2001. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams – a review. *Internat. Rev. Hydrobiol*, **86**: 383-393

Graça, M. A. S., Ferreira, V., Canhoto, C., Encalada, A. C., Guerrero-Bolaño, F., Wantzen, K. M. and Boyero, L. 2015. A conceptual model of litter breakdown in low order streams. *International Review of Hydrobiology*, **100**: 1-12.

Irons J. G., Oswood, M. W., Stout, R. J. and Pringle, C. M. 1994. Latitudinal patterns in leaf litter breakdown: is temperature really important? *Freshwater Biology*, **32**: 401-411.

Landeiro, V. L., Hamada, N. and Melo, A. S. 2008. Responses of aquatic invertebrate assemblages and leaf breakdown to macroconsumer exclusion in Amazonian “terra firme” streams. *Fundamental and Applied Limnology*, **172**:49-58.

Lau, D. C. P., Leung, K. M. Y. and Dudgeon, A. D. 2008. Experimental dietary manipulations for determining the relative importance of allochthonous and autochthonous food resources in tropical streams. *Freshwater Biology*, **53**: 139-147.

Lourenço-Amorim, C.; Neres-Lima, V.; Moulton, T. P.; Sassada-Sato, C. Y.; Oliveira-Cunha, P. and Zandonà, E. 2014. Control of periphyton standing crop in an Atlantic Forest stream: the relative roles of nutrients, grazers and predators. *Freshwater Biology*, **59**: 2365-2373.

Mancinelli, G., Sangiorgio, F. and Scalzo, A. 2013. The effect of decapod crustacean macroconsumers on leaf detritus processing and colonization by invertebrates in stream habitats: A meta-analysis. *International Review of Hydrobiology*, **98**:206-216.

March, J. G., Benstead, J. P. Pringle, C. M. and Ruebel, M. W. 2001. Linking shrimp assemblages with rates of detrital processing along an elevational gradient in a tropical stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **58**: 470-478.

Marshal, M. C., Binderup, A. J., Zandonà, E., Goutte, S., Bassar, R. D., El-Sabaawi, R. W., Thomas, S. A., Flecker, A. S., Kilham, S. S., Reznick, D. N. and Pringle, C. M.

2012. Effects of consumer interactions on benthic resources and ecosystem processes in a Neotropical stream. *Plos One*, **7**: E45230.

Moretti, M., Gonçalves Jr., J. F. and Callisto, M. 2007. Leaf breakdown in two tropical streams: differences between single and mixed species packs. *Limnologica*, **37**: 250-258

Moulton, T. P., Souza, M. L., Silveira, R. M. L. and Krsulovic, F. A. M., 2004. Effects of ephemeropterans and shrimps on periphyton and sediments in a coastal stream (Atlantic forest, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of the North American Benthological Society*, **23**:868-881.

Moulton, T. P. 2006. Why the world is green, the waters are blue and foodwebs in small streams in the atlantic rainforest are predominantly driven by microalgae? *Oecologia Brasiliensis*, **10**:78-89

Moulton, T. P., Souza, M. L., Silveira, R. M. L., Krsulović, F. A. M., Silveira, M. P., Assis, J. C. F. d. and Francischetti, C. N.. 2010. Patterns of periphyton are determined by cascading trophic relationships in two neotropical streams. *Marine and Freshwater Research*, **61**: 57-64.

Moulton, T. P.; Lourenço-Amorim, C.; Sasada-Sato, C. Y.; Neres-Lima, V. and Zandonà, E. 2015. Dynamics of algal production and ephemeropteran grazing of periphyton in a tropical stream. *International Review of Hydrobiology*, **99**: 1-8.

Neres-Lima, V, Brito, E. F., Krsulović, F. A. M., Detweiler, A. M., Hershey, A. E. and Moulton, T. P. (*submetido*). The importance of autochthonous vs. allochthonous basal food sources to the food web of a tropical stream along a shading and altitudinal gradient.

Oliveira, V. C., Gonçalves, E. A. and Alves, R. G. 2014. Colonization of leaf litter by aquatic invertebrates in an Atlantic Forest stream. *Braz. J. Biol.*, **74**: 267-273

Pozo, J., Casas, J., Menendez, M., Mollá, S., Arostegui, I., Basaguren, A., Casado, C., Descals, E., García-Avilés, J., González, J. M., Larrañaga, A., López, E., Lusi, M., Moya, O., Pérez, J., Riera, T., Roblas, N. and Salinas, M. J. Leaf-litter decomposition in headwater streams: a comparison of the process among four climatic regions. 2011. *Journal of the North American Benthological Society*, **30**: 935–950.

Pringle, C. M. and Blake, G. A. 1994. Quantitative effects of atyid shrimp (Decapoda: Atyidae) on the depositional environment in a tropical stream: Use of electricity for experimental exclusion. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **51**: 1443-1450.

Rosemond, A. D., Pringle, C. M. and Ramírez, A. 1998. Macroconsumer effects on insect detritivores and detritus processing in a tropical stream food web. *Freshwater Biology*, **39**: 515-524.

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. and Cushing, C. E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **37**: 130-137

Wantzen, K. M., Yule, C. M., Mathooko, J. M. and Pringle, C. M. 2008. Organic matter processing in tropical streams. In Dudgeon, D. (ed.), *Tropical Stream Ecology*. Academic Press, London: 44–65.

Webster J. R., and Benfield, E. E. 1986. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **17**: 567-594.

Yule, C. M., Leong, M. Y., Liew, K. C., Ratnarajah, L. and Schmidt, K., et al. 2009. Shredders in Malaysia: abundance and richness are higher in cool upland tropical streams. *Journal of the North American Benthological Society*, **28**: 404–415.

1 CASCATA TRÓFICA REVELADA EM EXPERIMENTO DE EXCLUSÃO: O PAPEL DOS CAMARÕES E DOS INSETOS AQUÁTICOS NO PROCESSAMENTO DE *ERYTHROXYLUM PULCHRUM* EM UM RIACHO DE MATA ATLÂNTICA

1.1 Resumo

Em ambientes tropicais muito se tem discutido sobre a relação entre macroconsumidores e insetos aquáticos, e sobre o papel que ambos exercem sobre diversos processos ecológicos, inclusive no processamento foliar. Diversos estudos têm mostrado que os camarões têm a capacidade de afetar tanto a abundância de insetos aquáticos quanto a taxa de processamento foliar (k). Para testar isso, nós montamos um experimento usando folhas frescas de *Erythroxyllum pulchrum* (Erythroxyllaceae) e manipulamos a presença de macroconsumidores e insetos aquáticos por exclusão elétrica. No tratamento controle (sem eletrificação) tanto camarões quanto insetos tinham acesso às folhas. No tratamento com baixa intensidade de choque apenas os camarões foram excluídos e no com alta intensidade tanto camarões quanto insetos com tamanho maior que 5 mm foram excluídos. O experimento foi realizado duas vezes por períodos de 51 e 83 dias entre Abril e Agosto de 2013, em um riacho de terceira ordem, o Córrego da Andorinha, Ilha Grande, Rio de Janeiro. Em ambos os experimentos, a mais alta taxa de processamento foliar ocorreu no tratamento com baixa intensidade de choque ($k_{\text{exp1}}=k_{\text{exp2}}=0,017 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$), onde apenas os camarões foram excluídos. No tratamento controle, onde os camarões estavam presentes, nós observamos uma menor abundância de alguns insetos e taxa de processamento foliar intermediária em relação aos outros tratamentos ($k_{\text{exp1}}=0,011 \pm 0,003 \text{ dia}^{-1}$, $k_{\text{exp2}}=0,012 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$). Já na sua ausência de camarões e insetos aquáticos (tratamento forte) a taxa de processamento foliar foi a mais baixa dos três tratamentos ($k_{\text{exp1}}=0,007 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$, $k_{\text{exp2}}=0,009 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$). Apesar de termos observado uma maior taxa de processamento no tratamento onde apenas os camarões foram excluídos, nós não encontramos nenhum dos fragmentador clássico, ao qual pudéssemos atribuir esse efeito das altas taxas de processamento foliar. Nós concluímos que os camarões provocam um efeito cascata, diminuindo a

abundância e a atividade de insetos aquáticos, fazendo com que o processamento foliar seja mais lento.

Palavras-chave: exclusão elétrica, processamento foliar, interação forte, riacho Tropical.

1.2 Abstract

In tropical environments has been discussed about the relationship between macroconsumers and aquatic insects, and their role to ecological processes, including leaf breakdown. Many studies has been showed that shrimps have the capacity to affect both the abundance of aquatic insects and leaf breakdown rate (k). To test this, we set up an experiment using fresh leaves of *Erythroxylum pulchrum* (Erythroxylaceae) and manipulated the presence of macroconsumers and insects by electric exclusion with two intensities levels. In the control treatment (no electrification) shrimps (*Potimirim brasiliiana* and *Macrobrachium olfersi*) and aquatic insects were present. In the low-intensity electrification excluded only shrimps and the high-intensity electrification excluded both shrimps and medium and large-size aquatic insects (>5mm). We repeated the experiment twice for periods of 51 and 83 days from April to August 2013 in a third-order stream, Córrego da Andorinha, Ilha Grande, Rio de Janeiro. In both experiments the higher leaf breakdown rate occurred in the low-intensity treatment ($k_{exp1}=k_{exp2}=0,017 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$), where only shrimps were excluded. In the control treatment, where the shrimp were present we observed a lower abundance of certain insects and intermediate leaf breakdown rate ($k_{exp1}=0,011 \pm 0,003 \text{ dia}^{-1}$, $k_{exp2}=0,012 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$). And in the absence of shrimps and aquatic insects (high treatment), the leaf breakdown rate was lower than the others two treatments ($k_{exp1}=0,007 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$, $k_{exp2}=0,009 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$), in the absence of predators. Small insects, principally Chironomidae were more abundant in the high treatment, where shrimps and aquatic insect non-Chironomidae were excluded. Despite of we observed higher leaf breakdown rate when shrimps were excluded, we didn't find anyone any of the classic shredders which we could attribute these effect of higher leaf breakdown. We concluded that shrimps caused a cascade trophic effect, decreasing the abundance and activity of aquatic insects, resulting on the less leaf breakdown rate.

Key-words: electric exclusion, leaf processing, strong interaction, tropical stream.

1.3 Introdução

A vegetação ripária de riachos localiza-se na transição entre os ecossistemas aquático e terrestre (Richardson et al., 2007). Em alguns riachos de pequena ordem, onde a produção primária autóctone é limitada devido ao sombreamento provocado pela vegetação, o material alóctone pode representar uma fonte essencial de energia e nutrientes (Wallace et al., 1997). As folhas provenientes da mata ripária correspondem à parte mais importante do material alóctone, sendo rapidamente colonizadas e utilizadas por diversos organismos (Gessner et al., 1999; Tank et al., 2010). O processamento desse material foliar é caracterizado pela transformação do material orgânico particulado grosso (MOPG) em material orgânico particulado fino (MOPF) e pode ser influenciado por fatores bióticos - como a qualidade foliar, atividade de fungos e fragmentadores, fatores abióticos - como a correnteza, composição química, temperatura e nutrientes dissolvido na água (Abelho, 2001; Gessner & Chauvet, 1994; Canhoto & Graça, 1996; Gonçalves et al., 2006; Ferreira et al., 2006; Ferreira e Chauvet, 2011a,b) e por perturbações antrópicas (Moulton e Magalhães, 2003; Silva-Junior e Moulton, 2011; Silva-Junior et al., 2014). Os invertebrados fragmentadores, representados por insetos aquáticos e crustáceos, são os responsáveis por cortar essa MOPG que entra nos riachos, disponibilizando-a em fragmentos de tamanhos menores (MOPF) para outros animais, como coletores e filtradores (Allan e Castillo, 2007).

Em ambientes temperados, o papel desempenhado pelos macroconsumidores (peixes, camarões e caranguejos) e pelos macroinvertebrados (insetos aquáticos) no processamento foliar é bem conhecido. Nestes riachos, os insetos fragmentadores são considerados os principais responsáveis pelo processamento foliar (Webster e Benfield, 1986), enquanto que em riachos tropicais eles têm sido considerados escassos ou menos importantes (Yule, 1996; Dobson et al. 2002; Gonçalves et al. 2006 e 2007; Wantzen et al., 2008). No entanto, Cheshire et al. (2005) e Yule et al. (2009) têm mostrado que fragmentadores não são escassos em riachos na Austrália e na Malásia, respectivamente.

Na maioria dos riachos temperados, a combinação de aporte contínuo de folhas de alta qualidade nutricional da floresta decídua com a alta concentração de nutrientes dissolvidos na água podem suportar uma alta atividade de hifomicetos,

que por sua vez podem aumentar a palatibilidade das folhas aos fragmentadores. Já em alguns riachos tropicais, há uma predominância de folhas com baixa qualidade nutricional e baixa concentração de nutrientes dissolvidos na água. A combinação desses fatores deve limitar a atividade de hifomicetos nas folhas, o que as deixa menos atrativa para os fragmentadores (Graça et al., 2015). Contudo, alguns estudos mostram que em áreas tropicais a temperatura elevada propicia um maior metabolismo de fungos e bactérias, que podem ser os principais responsáveis pelo processamento foliar (Irons et al., 1994; Mathuriau e Chauvet, 2002).

Em riachos onde os insetos fragmentadores são escassos, os crustáceos decápodes, como camarões e caranguejos, podem desempenhar um importante papel no processamento foliar (Moulton et al., 2010; Usio, 2000; Crowl et al. 2001, Cogo e Santos, 2013). Esses decápodes podem atuar diretamente no processamento de folhas, ou seja, por consumo e/ou bioturbação. Porém eles também podem atuar indiretamente na decomposição, já que em alguns casos os crustáceos podem controlar a densidade e atividade de insetos aquáticos (Crowl et al., 2001; March et al., 2001; Cogo e Santos, 2013; Moulton et al., 2010; Mancinelli et al., 2013; Cogo et al., 2014). Em uma meta-análise, Mancinelli et al. (2013) testaram a presença ou ausência de crustáceos decápodes, principalmente camarões no processamento foliar e na colonização de folhas por insetos aquáticos. Na presença de crustáceos decápodes, as folhas apresentaram menor colonização por insetos aquáticos e maior taxa de fragmentação e/ou consumo comparado ao controle (na ausência dos crustáceos). O efeito direto dos decápodes sobre as folhas foi mais importante do que o efeito indireto (i.e. efeito indireto na taxa de processamento de folhas através do efeito direto na colonização das folhas por insetos aquáticos, ou seja, cascata trófica). Esses resultados foram mais evidentes em rios temperados do que em tropicais (Mancinelli et al., 2013). Trabalhos realizados na nossa área de estudo mostraram um forte efeito direto e negativo dos camarões *Macrobrachium olfersi* sobre os insetos aquáticos, principalmente Ephemeroptera, e um efeito indireto e positivo no perifíton (Silveira e Moulton, 2000; Moulton et al., 2004; Lourenço-Amorim et al., 2014). Esses efeitos que se propagam por mais de um nível trófico envolvendo efeitos diretos e indiretos são conhecido como cascata trófica.

Estudos que avaliam o processamento foliar tanto em ambientes aquáticos quanto em ambientes terrestres geralmente utilizam a metodologia de exclusão por

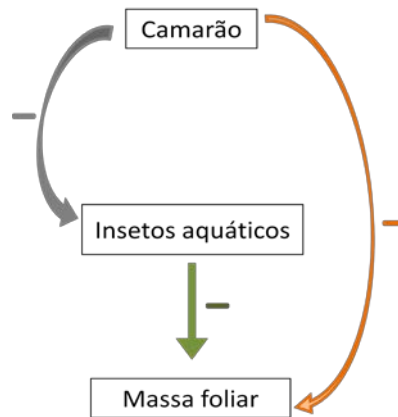
sacos (*litter bags*) que podem variar no tamanho e abertura da malha, selecionando desta forma os animais que terão acesso às folhas (por ex. Moretti et al., 2007; Cotrufo et al., 2010; Moulton et al., 2010; Pozo et al., 2011; Gonçalves et al., 2012; Oliveira et al., 2014). No entanto em ambientes aquáticos lóticos, como os riachos, a metodologia do saco de folhas pode adicionar efeitos indesejáveis de artefato metodológico, como por exemplo, diminuição do fluxo de água dentro dos sacos e consequentemente, aumento da sedimentação. Os sacos também podem ser um potencial abrigo para muitos animais, fazendo com que a densidade dentro dos sacos seja superior à encontrada no rio. Experimentos de exclusão com cercas elétrica tem sido utilizados em riachos (Pringle e Blake, 1994; Moulton et al., 2004, 2015; Souza e Moulton, 2005; Souza et al., 2007; Lourenço-Amorim et al., 2014) e parecem não ter esses efeitos de artefatos dos experimentos de exclusão com sacos. As cercas elétricas também têm sido utilizadas em experimentos de processamento de folhas (Rosemond et al., 1998; March et al., 2001; Bassar, et al., 2012; Marshal et al., 2012). Os experimentos de exclusão têm sido utilizados com uma intensidade de choque com o objetivo separar o efeito de macroconsumidores sobre os insetos aquáticos e sobre o acúmulo de sedimento, perífiton e processamento foliar (Pringle e Blake, 1994; Rosemond et al., 1998; March et al., 2001; Silveira e Moulton, 2000; Moulton et al., 2004). Contudo, não temos conhecimento de estudos que tenham utilizado duas intensidades de choques para excluir diferentes grupos taxonômicos de diferentes níveis tróficos em experimentos de processamento foliar. A vantagem de usar cercas elétricas ao invés dos tradicionais sacos com diferentes malhas em experimentos de exclusão é que podemos avaliar o efeito dos diferentes grupos de animais em sua densidade natural, além de não termos o efeito do artefato provocado pelos sacos, como menor fluxo de água no seu interior e maior acúmulo de sedimentos.

Nesse estudo, montamos um experimento de exclusão elétrica com duas intensidades de choque e controle (sem exclusão) com os objetivos: 1) de investigar se há um efeito descendente dos insetos aquáticos e dos camarões *Macrobrachium olfersi* sobre o processamento de folhas; 2) investigar se há uma cascata trófica sobre o processamento de foliar provocada pelo camarão *Macrobrachium olfersi*. Para isso, nós montamos um experimento utilizando a técnica de exclusão por pulsos elétricos com diferentes intensidades de choque: fraca, excluindo apenas os

camarões (*Potimirim brasiliiana* e *Macrobrachium olfersi*) e forte, excluindo tanto os camarões quanto os insetos aquáticos.

Podemos separar o padrão de resposta esperada em relação ao processamento foliar em quatro cenários: 1) efeito descendente só dos insetos aquáticos sobre o processamento foliar; 2) efeito descendente direto só dos camarões sobre o processamento foliar; 3) efeito descendentes diretos de ambos os grupo de organismo no processamento foliar e 4) efeito em cascata trófica provocado por camarões (Fig.2).

Figura 2 - Esquema representativo dos possíveis cenários ao final do experimento



Legenda: Efeito descendente apenas dos insetos sobre o processamento foliar (verde); efeito descendente apenas dos camarões sobre o processamento foliar (laranja); efeito direto de ambos sobre o processamento foliar (verde e laranja); efeito negativo dos camarões sobre os insetos aquáticos (azul) podendo provocar um efeito de cascata trófica se os insetos aquáticos forem os principais responsáveis pelo processamento foliar .

1.4 Materiais e Métodos

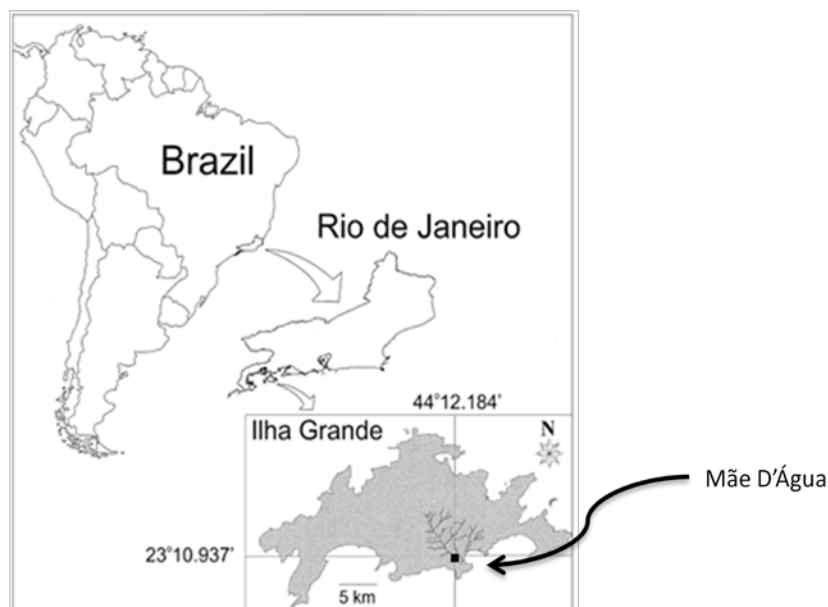
1.4.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no Córrego da Andorinha, um rio de terceira ordem localizado em uma área de Mata Atlântica bem preservada dentro do Parque

Estadual da Ilha Grande (lat. 23°10.9'S, long. 44°12.2'W), Rio de Janeiro, Brasil (Fig.3). A geologia é principalmente granito do Pré-Cambriano; os valores da concentração média de nutrientes, como medidos em Junho de 2012, foram 9,1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ $\text{NO}_3 + \text{NO}_2\text{-N}$, 0,15 $\mu\text{mol L}^{-1}$ $\text{NH}_4\text{-N}$ e 0,22 $\mu\text{mol L}^{-1}$ $\text{PO}_4\text{-P}$ (Lourenço-Amorim et al., 2014). No Córrego da Andorinha a entrada de material vegetal alóctone é maior durante o período de chuvas, que se entende de Outubro a Fevereiro (Rezende e Mazzoni, 2005). Durante o ano em que realizamos o experimento, entrada média de material alóctone foi de 0,262 g de matéria $\text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (Lisboa, comunicação pessoal). O estoque médio desse material (biomassa vegetal) no nosso sítio de estudo foi de 18,4 g m^{-2} (Brito et al., 2006).

Nossa área de estudo situa-se a 70 m a.s.l., 1,3km do estuário e acima da cachoeira conhecida como Mãe D'Água. Esta cachoeira é uma barreira física para algumas espécies que vivem a jusante dela, particularmente para peixes predadores. A espécie *Characidium japuhybensis* é o único peixe encontrado a montante da cachoeira. Ele ocorre em densidades muito baixas e não foi visto no nosso sítio de estudo durante os experimentos. Porém, a Mãe D'Água não é um obstáculo para os camarões anfídromos *Potimirim brasiliana* e *Macrobrachium olfersi*. Moulton et al., 2004 mostrou que o *Potimirim* é menos comum do que o *Macrobrachium* na nossa área de estudo, principalmente durante a noite, o que foi comprovado durante o nosso estudo Além dessas duas espécies de camarões, encontramos também alguns insetos aquáticos como Leptophlebiidae (240 indivíduos m^{-2} , Neres-Lima, comunicação pessoal), Chironomidae (2000 indivíduos m^{-2} , Souza et al. 2007) e Baetidae (100-200 indivíduos m^{-2} , Moulton et al., 2004), entre outros. As ordens Plecoptera e Trichoptera são menos abundantes no local onde foi realizado o experimento.

Figura 3 - Mapa da área de estudo.



Legenda: Localização da nossa área de estudo na Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil.

1.4.2 Exclusão elétrica

Nós utilizamos folhas verdes da espécie *Erythroxylum pulchrum*, pertencente à família Erythroxylaceae para a confecção dos pacotes de folhas. Essa espécie foi escolhida por ser abundante na vegetação ripária e comum nas margens do local do nosso estudo. Cada pacote de folhas foi confeccionado com cinco folhas agrupadas pelo pecíolo. A relação entre peso verde e peso seco foi obtida pela média de 30 folhas secadas na estufa a 60°C por 48 horas. O peso seco inicial de cada pacote de folhas foi estimado utilizando esta relação.

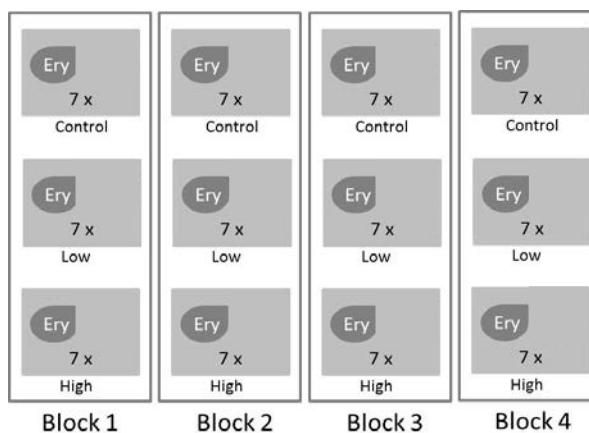
Áreas de exclusão de insetos aquáticos e/ou camarões foram criadas por meio de pulsos elétricos. Os pulsos elétricos foram utilizados seguindo o princípio desenvolvido por Pringle e Blake (1994), porém com dois níveis de eletrificação (Lourenço-Amorim et al. 2014, Moulton et al., 2015) para evitar que camarões e/ou camarões e insetos aquáticos colonizassem os pacotes de folhas e assim pudemos avaliar seus efeitos separadamente (Souza et al. 2005). Outros trabalhos no mesmo local deste estudo utilizaram com sucesso esta técnica de exclusão com dois níveis de eletrificação para investigar o efeito da fauna no crescimento do perífíton

(Moulton et al. 2004, Lourenço-Amorim et al. 2014, Moulton et al. 2015). O efeito dos pulsos elétricos nos animais é inversamente proporcional ao seu tamanho, ou seja, animais maiores são afetados com baixa intensidade de choque enquanto animais menores precisaram de uma intensidade de choque mais forte para serem atingidos (Moulton et al., 2004). Durante o experimento nós fizemos observações nas cercas elétricas durante o dia e a noite para verificar se os camarões realmente estavam sendo excluídos nas cercas com choque fraco e forte, garantindo a eficácia da metodologia.

Nós construímos 12 cercas retangulares (100 x 24cm) feitas com tubo de PVC (\varnothing 1,27 cm). Eletrodos de fio de cobre foram ligados nas laterais e no eixo central de cada cerca. A resposta dos animais ao choque elétrico foi visualmente observada durante todo o experimento. As cercas com eletricidade fraca foram conectadas a um eletrificador disponível comercialmente AN 90 (model Stafix, Tru-Test Ltd., Palmerston North, New Zealand – 0,12J) alimentado por uma bateria de 12V, excluindo apenas as duas espécies de camarões. As cercas com eletricidade forte foram conectadas a um eletrificador Speedrite (model 6000, Tru-Test Ltd., Palmerston North, New Zealand – 6J) alimentado por duas baterias de 12V, excluindo tanto camarões quanto insetos maiores. Devido ao seu pequeno tamanho, quironomídeos não foram excluídos na cerca com alta intensidade de choque, porém não consideramos que a presença deles e de outros pequenos insetos aquáticos tenham afetado o processamento foliar. As baterias eram carregadas por um painel solar (model M65; Siemens, Camarillo, CA, U.S.A.) que alimentou o sistema durante os dois experimentos (Apêndice A). Cercas não eletrificadas serviram como controle. Embora a presença de camarões tenha sido observada nas cercas controle durante o dia e a noite, sua captura, assim como a de alguns efemerópteros, foi difícil devido à grande mobilidade e agilidade desses organismos durante as coletas.

As cercas foram divididas em quatro grupos dispostos em um delineamento de blocos randômicos. Cada bloco continha três cercas com diferentes tratamentos (controle, fraco e forte), e no interior de cada cerca foram colocados sete pacotes de folhas presos ao longo de uma corda de nylon (Fig.4, Apêndice B).

Figura 4 - Esquema representativo do delineamento do experimento.



Legenda: Quatro blocos contendo três tratamentos: controle (control), eletrificação fraca (low) e eletrificação forte (high). Cada tratamento continha sete pacotes de cinco folhas de *Erythroxyllum pulchrum* (Ery).

1.4.3 Amostragem e análise dos dados

O experimento foi realizado duas vezes. A primeira ocorreu de 10 de Abril a 3 de Junho e a segunda de 7 de Julho a 30 de Agosto, ambas no ano de 2013. Após a imersão dos pacotes de folhas, um pacote de folhas de cada tratamento foi coletado nos dias 5, 19, 33 e 59 do primeiro experimento e nos dias 2, 10, 21, 34, 61 e 84 do segundo experimento. Durante ambos os experimentos houve dias de chuva forte, fazendo com que alguns pacotes de folhas se soltassem das cercas e por isso foram amostradas em menos réplicas temporais do que o previsto. Uma rede de malha de 250 μm foi utilizada para coleta das folhas e dos animais associados aos pacotes de folhas. As folhas foram levadas ao laboratório dentro de sacos vedados e lavadas dentro de uma rede-D (250 μm) para evitar a perda dos macroinvertebrados que posteriormente foram armazenados em álcool 70%. As folhas foram colocadas para secar em estufa a 60°C por 48 horas até atingirem peso seco constante. Os animais foram identificados seguindo a chave de identificação de Mugnai et al. (2010) e a classificação quanto aos grupos funcionais foi baseada nas listas de Merritt & Cummins (2005), Baptista et al. (2006) e Henriques-Oliveira & Nessimian (2010).

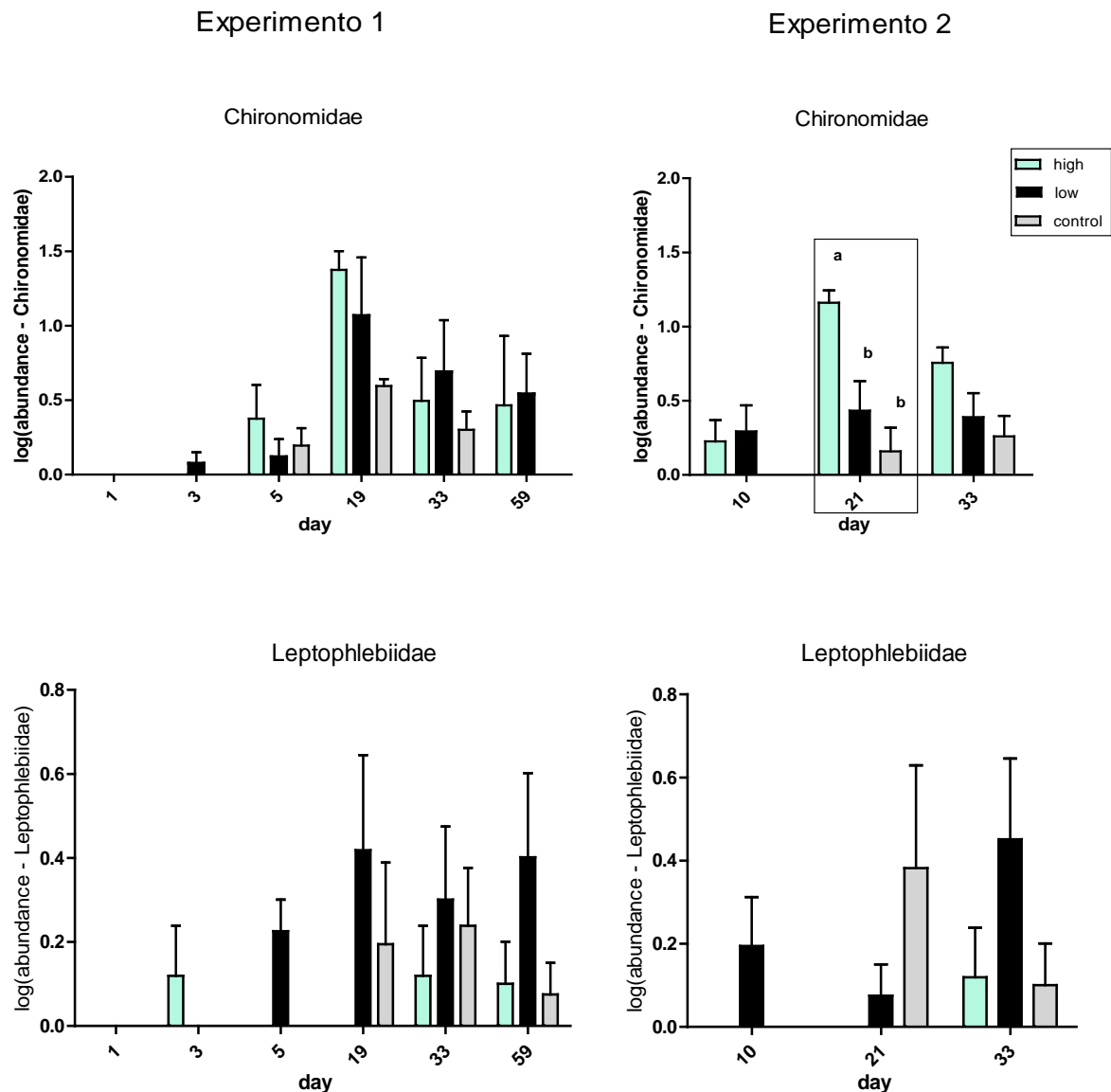
A taxa de decomposição foi estimada utilizando o modelo de decaimento exponencial $W_t = W_0 e^{-kt}$, onde W_t é a massa remanescente no tempo t , W_0 é a massa inicial e k é a taxa de processamento (Webster e Benfield, 1986). Em cada tratamento, a taxa de processamento foliar (k) foi calculada por regressão linear do log natural da proporção da massa remanescente pelo tempo de imersão (Benfield, 2007). Testamos a significância das diferenças entre os tratamentos por ANCOVA do $\log_e (W_t / W_0)$ com tratamento de choque como fator fixo, bloco como fator randômico e tempo como covariada. Assumimos que não houve efeito interativo com blocos. Testamos a hipótese nula de inclinações paralelas, ou seja, a hipótese nula de que a taxa de mudança de $\log_e (W_t / W_0)$ no tempo (que é a inclinação da reta e é o valor de k) não difere entre os tratamentos. Portanto, o teste do efeito da interação entre tratamento e tempo provê o teste da nossa hipótese nula. Para testar a diferença da fauna entre os tratamentos, nós fizemos uma ANOVA de dois fatores, onde as nossas variáveis independentes eram tratamento e tempo (dias), e a variável dependente era o log da abundância de cada táxon. Pós-testes (Bonferroni) foram feitos em casos de resultados da ANOVA significativos.

1.5 Resultados

Somando os dois experimentos nós identificamos 910 espécimes distribuídos entre os táxons: Chironomidae (54%), outros Diptera (10%), Ephemeroptera (29%), Trichoptera (5%) e outros (2%). Em relação ao grupo funcional, os mais abundante foram os coletores (55%), seguido pelos herbívoros (30%), fragmentadores (11%) e predadores (4%).

No tratamento com choque fraco a exclusão dos camarões não resultou em um aumento significativo na abundância total de insetos nos pacotes de folhas, mas sim na taxa de processamento foliar. Chironomidae foi o único táxon que apresentou diferença significativa entre os tratamentos ($F_{2,24} = 11,22$ e $p < 0,01$). No dia 21 do Exp2 ele foi mais abundante no tratamento com choque forte aos tratamentos controle e choque fraco.

Figura 6 - Abundância (log) em diferentes datas do experimento

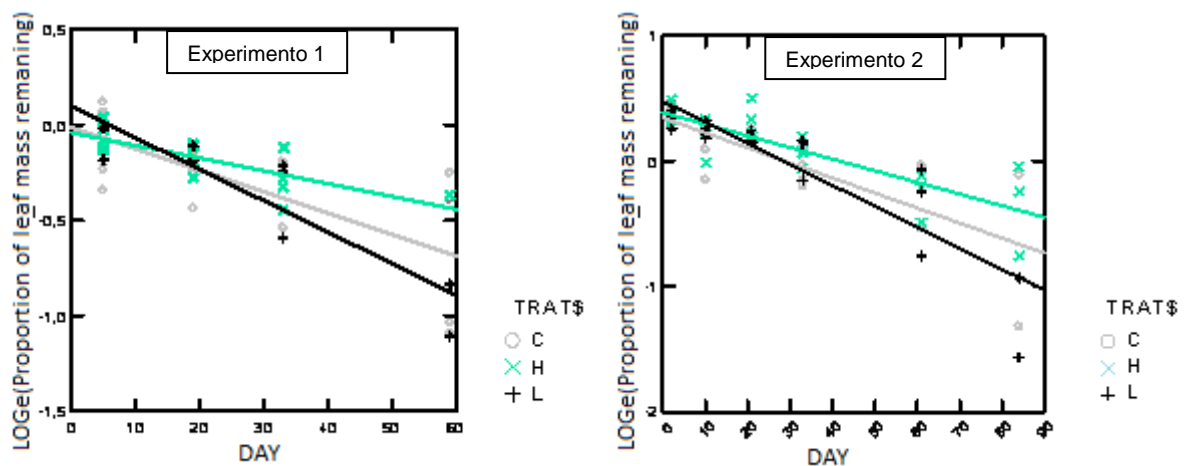


Legenda: Abundância média \pm EP (dados \log_{10} transformado) de Chironomidae e Leptophlebiidae coletados nos pacotes de folhas nos dois experimentos em diferentes tratamentos de exclusão (control=controle, low=fraco, high=forte). Letras diferentes indicam diferenças significativas (test post-hoc de Bonferroni).

No primeiro experimento (exp1) a proporção de massa remanescente no final do experimento (59 dias) nos tratamentos controle, fraco e forte foram em média \pm desvio padrão: $0,54 \pm 0,2$, $0,56 \pm 0,3$ e $0,65 \pm 0,1$, respectivamente. Já no experimento 2 (exp 2), a proporção de massa remanescente após 84 dias nos tratamentos controle, fraco e forte foram: $0,39 \pm 0,3$, $0,23 \pm 0,1$ e $0,76 \pm 0,2$, respectivamente. Por tratamento de exclusão, os valores da taxa de processamento

foliar k foram similares nos dois experimentos nos seus valores médios e EP: controle ($k_{\text{exp1}} = 0,011 \pm 0,003 \text{ dia}^{-1}$, $k_{\text{exp2}} = 0,012 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$); fraco ($k_{\text{exp1}} = k_{\text{exp2}} = 0,017 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$) e forte ($k_{\text{exp1}} = 0,007 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$, $k_{\text{exp2}} = 0,009 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$) (Fig.5). Em ambos os experimentos, rejeitamos a hipótese nula de que os tratamentos têm valores de k similares, ou seja, houve efeito da interação entre tratamento e dia no peso remanescente (ANCOVA: primeiro experimento - $F_{2,28} = 6,61$, $p = 0,004$); segundo ($F_{2,50} = 3,78$, $p = 0,029$). Em ambos os experimentos, a taxa de processamento foliar foi significativamente maior no tratamento com choque fraco, onde apenas os camarões foram excluídos, do que nos outros dois tratamentos, que não diferiram entre si (Fig.5).

Figura 5 - Peso remanescente (dados log transformados) de *Erythroxylum pulchrum* vs. tempo



Legenda: Taxa de processamento de *Erythroxylum pulchrum* ao longo do tempo nos três tratamentos. Ambos os experimentos seguiram o padrão: fraco (L) > forte (H) = controle (C)

1.6 Discussão

Alguns crustáceos decápodes podem ser considerados engenheiros ecossistêmicos por exercerem efeito tanto na composição da comunidade quanto em processos ecossistêmicos (Jones et al., 1994; Pringle et al., 1993; Mancinelli et al., 2013). Nossos resultados mostraram que os camarões têm a capacidade de

afetar negativamente tanto os insetos aquáticos quanto a taxa de processamento foliar. Com a redução da abundância e da atividade dos insetos aquáticos devido à presença dos camarões, houve uma menor taxa de processamento foliar, caracterizando um efeito de cascata trófica.

O efeito negativo de crustáceos decápodes sobre os insetos aquáticos tem sido observado em diversos trabalhos tanto em regiões temperadas quanto em regiões tropicais (Rosemond et al., 1998; Usio, 2000; Schofield et al., 2008; Brown et al., 2010; Cogo et al., 2014). Todavia, poucos trabalhos sobre processamento foliar têm encontrado um efeito de cascata trófica, onde a diminuição na abundância de insetos aquáticos devido à presença de macroconsumidor implicaria em uma redução na taxa de processamento (Mancinelli et al., 2013). O termo cascata trófica geralmente está ligado a predadores de topo que regulam a população de presas, resultando em mudanças de abundância e biomassa de níveis tróficos mais basais (Ruetz III et al., 2002), todavia, geralmente os camarões são considerados onívoros. É possível que a ocorrência de cascata trófica desencadeada por onívoro seja pouco provável (Pace et al., 1999), pois esses grupos podem ter um interação direta trófica (alimentação) forte tanto sobre o consumidor primário quanto no recurso basal (Pringle e Hamazaki, 1998). Em uma meta-análise foi observado que crustáceos decápodes exercem efeito diretos negativos nos consumidores e folhas, não havendo evidência de cascata trófica (Mancinelli et al., 2013). Na nossa área de estudo, as evidências de isótopos estáveis sugerem que em média 89% da dieta dos *Macrobrachium* é carnívora, sendo apenas 11% provido de algas ou folhas (Lima, 2013). Além disso, outros trabalhos realizados no nosso local de estudo avaliando o efeito da fauna sobre o perifíton e sedimentos mostraram que a presença dos camarões, principalmente o onívoro *Macrobrachium*, inibiu os efemerópteros, fazendo com que a quantidade de algas e matéria orgânica fosse maior na sua presença (Silveira e Moulton, 2000; Moulton et al., 2004).

O aumento na taxa de decomposição nas cercas com choque fraco (exclusão apenas dos camarões) encontrada no nosso estudo pode indicar que os insetos aquáticos afetam mais a decomposição do que os camarões, porém nós não conseguimos identificar qual táxon de macroinvertebrados foi responsável por este efeito. No primeiro experimento somente Leptophlebiidae mostrou aumento significativo nas cercas com choque fraco, onde houve maior decomposição, mas este resultado não foi observado no segundo experimento. Leptophlebiidae são

considerados raspadores (ou “brusher”) em riachos tropicais, alimentando-se de algas presentes no perifíton (Baptista et al. 2006; Cheshire et al. 2005). Porém, Neres-Lima et al. (submetido) utilizando a técnica de isótopos estáveis, mostrou que em diferentes trechos a montante do nosso local de estudo Leptophlebiidae assimilaram tanto material autóctone (algas) quanto alóctone (material vegetal de origem terrestre), porém com predomínio na assimilação de material alóctone. Este resultado, juntamente com os trabalhos realizados em riachos tropicais na Austrália e no Panamá (Cheshire et al., 2005 e Camacho et al., 2009) e na Malásia (Yule et al., 2009) analisando o conteúdo estomacal dos animais, indicam que insetos aquáticos que geralmente não são classificados como fragmentadores em riachos temperados, podem estar processando o material alóctone em riachos tropicais. Apesar de não termos encontrado, no segundo experimento, um aumento significativo de Leptophlebiidae nas cercas com choque fraco em relação às controles, acreditamos que a sua atividade foi reduzida pela presença do camarão. Como já visto em experimentos anteriores, durante a noite, quando os camarões aumentam sua atividade, os efemerópteros tendem a se esconder, reduzindo assim seu tempo de atividade (Moulton et al. 2004).

Nas cercas com choque forte os quironomídeos foram significativamente mais abundantes. Essa maior abundância pode ter ocorrido tanto devido à ausência da predação direta dos camarões (Landeiro et al., 2008; Pringle et al. 1993, 1999; March et al., 2001) quanto ao maior acúmulo de sedimento nessas cercas, proporcionando aos quironomídeos maior quantidade de recursos e habitats (Souza et al., 2007).

Em relação à metodologia, podemos acreditar que a técnica de cercas elétricas foi efetiva, uma vez que conseguimos observar visualmente a reação dos animais ao choque. Todavia, durante as nossas coletas pudemos observar que devido à sua agilidade, camarões e efemerópteros conseguiam escapar, apesar de todo o nosso cuidado ao chegar perto dos pacotes de folhas, o que pode ter influenciado negativamente na quantificação destes animais. Outros trabalhos têm utilizado essa metodologia de exclusão para avaliar os efeitos diretos e indiretos de macroconsumidores tanto na taxa de processamento foliar (Rosemond et al. 1998; March et al. 2001; Schofield et al. 2001; Landeiro et al. 2008) como também no acúmulo de sedimento e perifíton (Pringle e Hamazaki, 1998; Schofield et al. 2001; Silveira e Moulton, 2000; Moulton et al. 2004, 2005, 2015, Lourenço-Amorim et al.

2014). As cercas elétricas têm sido consideradas melhores do que as tradicionais gaiolas e sacos com diferentes tamanhos de malha porque evitam a redução do fluxo de água e acúmulo de sedimentos dentro desses artefatos (Pringle et al. 1999). Além disso, estes animais podem utilizá-los como abrigo ou proteção. Magalhães (1998) mostrou que crustáceos decápodos e insetos aquáticos foram mais abundantes nos pacotes de folhas que estavam dentro de sacos do que nos que estavam sem sacos.

Nosso experimento mostrou que existe uma forte interação entre camarões e insetos aquáticos, e que o camarão onívoro *Macrobrachium olfersi* exerce um forte efeito negativo sobre a atividade de insetos aquáticos. Além disso, o *Macrobrachium* também controlou indiretamente o processamento foliar, via cascata trófica, ao regular a abundância e atividade dos insetos aquáticos, que atuam diretamente nesse processamento.

1.7 Referências

Abelho, M. 2001. From litterfall to breakdown in streams: a review. *The Scientific World*, **1**: 656-680.

Allan, J. D. and Castillo, M. M. 2007. *Stream Ecology: Structure and function of running waters*. 2 ed. Dordrecht: Springer, 444p.

Baptista, D. F., Buss, D. F. and Dias, L. G. 2006. Functional feeding groups of Brazilian Ephemeroptera nymphs: ultrastructure of mouthparts. *Ann. Limnol.*, **42**:87-96.

Benfield, E. F. Decomposition of leaf material. 2007. In: Hauer, F. R. and Lambert, G. A. 2nd ed. *Methods in Stream Ecology*. Elsevier, San Diego, C.A. pp. 711-720.

Benstead, J. P. 1996. Macroinvertebrates and the processing of leaf litter in a tropical stream. *Biotropica*, **28**:367-375.

- Brito, E. F., Moulton, T. P., Souza, M. L. and Bunn, S. E. 2006. Stable isotope analysis indicates microalgae as the predominant food resource of fauna in a coastal forest stream, south-east Brazil. *Austral Ecology*, **31**: 623-633.
- Brown, B. L. and Lawson, R. L. 2010. Habitat heterogeneity and activity of an omnivorous ecosystem engineer control stream community dynamics. *Ecology*, **91**: 1799-1810
- Camacho, R., Boyero, L., Cornejo, A., Ibañez, A. and Pearson, R. G. 2009. Local variation in shredder distribution can explain their oversight in Tropical stream. *Biotropica*, **41**: 625-632
- Canhoto, C. and Graça, M. A. S. 1996. Decomposition of *Eucalyptus globulus* leaves and three native leaf species (*Alnus glutinosa*, *Castanea sativa* and *Quercus faginea*) in a Portuguese low order stream. *Hydrobiologia*, **333**: 79-85.
- Cheshire, K., Boyero, L. and Pearson, R. G. 2005. Food webs in tropical Australian streams: shredders are not scarce. *Freshwater Biology*, **50**:748-769.
- Cogo, G. B. and Santos, S. 2013. The role of aeglids in shredding organic matter in neotropical streams. *Journal of Crustacean Biology*, **33**:519-526.
- Cogo, G. B., Biasi, C. and Santos, S. 2014. The effect of the macroconsumer *Aegla longirostri* (Crustacea, Decapoda) on the invertebrate community in a subtropical stream. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **26**:143-153.
- Crowl, T. A.; McDowell, W. H.; Covich, A. P. and Johnson, S. L. 2001. Freshwater shrimp effects on detrital processing and nutrients in a tropical headwater stream. *Ecology*, **82**: 775-783.
- Diehl, S. 1993. Relative consumer sizes and the strengths of direct and indirect interactions in omnivorous feeding relationships. *Oikos*, **68**: 151-157

Dobson, M., Magana, A., Mathooko, J. M. and Ndegwa, F. K. 2002. Detritivores in Kenyan highland streams: more evidence for the paucity of shredders in the tropics? *Freshwater Biology*, **47**:909–919.

Dudgeon, D., 1982. An investigation of physical and biological processing of 2 species of leaf litter in Tai Po Kau Forest Stream, New Territories, Hong Kong. *Archiv fur Hydrobiologie*, **96**: 1–32.

Ferreira, V, Elozegi, A., Gulis, V., Pozo, J. and Graça, M.A.S. 2006. Whole-stream nitrate addition affects litter decomposition and associated with leaf-litter decomposition in Iberian streams. *Archiv fur Hydrobiologie*, **166**:467-490.

Ferreira, V. and Chauvet, E. 2011a. Future increase in temperature more than decrease in litter quality can affect microbial litter decomposition in streams. *Oecologia*, **167**:279-291.

Ferreira, V. and Chauvet, E. 2011b. Synergistic effects of water temperature and dissolved nutrients on litter decomposition and associated fungi. *Global Change Biology*, **17**:551-564.

Gessner, M. O. and Chauvet, E. 1994. Importance of stream microfungi in controlling breakdown rates of leaf litter. *Ecology*, **75**: 1807-1817.

Gessner M.O., Chauvet, E. and Dobson M. 1999. A perspective on leaf litter breakdown in streams. *Oikos*, **85**:377–384.

Gonçalves, J. F. Jr., Graça, M. A. F. and Callisto, M. 2006. Leaf-litter breakdown in 3 streams in temperate, Mediterranean, and tropical Cerrado climates. *Journal of the North American Benthological Society*, **24**:344–355.

Gonçalves, J. F. Jr., Graça, M. A. S. and Callisto, M. 2007. Litter decomposition in a Cerrado savannah stream is retarded by leaf toughness, low dissolved nutrients and a low density of shredders. *Freshwater Biology*, **52**:1440–1451.

Henriques-Oliveira, A. L. and Nessimian, J. L. 2010. Spatial distribution and functional feeding groups of aquatic insect communities in Serra da Bocaina streams, southeastern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, **22**:424-441.

Irons J.G., Oswood M.W., Stout R.J. and Pringle C.M. 1994. Latitudinal patterns in leaf litter breakdown: is temperature really important? *Freshwater Biology*, **32**:401-411.

Jones, C. G., J. H. Lawton, and M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, **69**:373-386.

Landeiro, V. L., Hamada, N. and Melo, A. S. 2008. Responses of aquatic invertebrate assemblages and leaf breakdown to macroconsumer exclusion in Amazonian "terra firme" streams. *Fundamental and Applied Limnology*, **172**:49-58.

Lourenço-Amorim, C.; Neres-Lima, V.; Moulton, T. P.; Sassada-Sato, C. Y.; Oliveira-Cunha, P. and Zandonà, E. 2014. Control of periphyton standing crop in an Atlantic Forest stream: the relative roles of nutrients, grazers and predators. *Freshwater Biology*, **59**: 2365-2373.

Magalhães-Fraga, S. A. P. 1998. Decomposição e fauna associada em folhas de *Myrcia rostrata* De Candolle e *Piper divaricatum* Meyer, em dois rios da Ilha Grande, RJ. Masters thesis. Pós-graduação em Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

Mancinelli, G., Sangiorgio, F. and Scalzo, A. 2013. The effect of decapod crustacean macroconsumers on leaf detritus processing and colonization by invertebrates in stream habitats: A meta-analysis. *International Review of Hydrobiology*, **98**:206-216.

March, J. G., Benstead, J. P. Pringle, C. M. and Ruebel, M. W. 2001. Linking shrimp assemblages with rates of detrital processing along an elevational gradient in a tropical stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **58**:470-478.

Marshal, M. C., Binderup, A. J., Zandonà, E., Goutte, S., Bassar, R. D., El-Sabaawi, R. W., Thomas, S. A., Flecker, A. S., Kilham, S. S., Reznick, D. N. and Pringle, C. M. 2012. Effects of consumer interactions on benthic resources and ecosystem processes in a Neotropical stream. *Plos One*, **7**: E45230.

Mathuriau, C. and Chauvet, E. 2002. Breakdown of leaf litter in a neotropical stream. *Journal of the North American Benthological Society*, **21**:384–396.

Merrit, R. W., Cummins, KW. and Andrade, P. C. N. 2005. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in southeast Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environmental*, **40**:71-90.

Moulton, T. P. and Magalhães, S. A. P. 2003. Responses of leaf processing to impacts in atlantic rain forest, Rio de Janeiro, Brazil - a test of the biodiversity-ecosystem functioning relationship? *Brazilian Journal Biology*, **63**:87-95.

Moulton, T. P., Souza, M. L., Silveira, R. M. L. and Krsulovic, F. A. M., 2004. Effects of ephemeropterans and shrimps on periphyton and sediments in a coastal stream (Atlantic forest, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of the North American Benthological Society*, **23**:868-881.

Moulton, T. P., Souza, M. L., Silveira, R. M. L., Krsulović, F. A. M., Silveira, M. P., Assis, J. C. F. d. and Francischetti, C. N.. 2010. Patterns of periphyton are determined by cascading trophic relationships in two neotropical streams. *Marine and Freshwater Research*, **61**:57-64.

Moulton, T. P.; Lourenço-Amorim, C.; Sasada-Sato, C. Y.; Neres-Lima, V. and Zandonà, E. 2015. Dynamics of algal production and ephemeropteran grazing of periphyton in a tropical stream. *International Review of Hydrobiology*, **99**: 1-8.

Mugnai, R., Nessimian, J. L. and Baptista, D. F. 2010. Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro: Technical Books. 174 p.

Neres-Lima, V, Brito, E. F., Krsulović, F. A. M., Detweiler, A. M., Hershey, A. E. and Moulton, T. P. (submetido). The importance of autochthonous vs. allochthonous basal food sources to the food web of a tropical stream along a shading and altitudinal gradient.

Pringle, C. M.; Blake, G. A.; Covich, A. P.; Buzby, K. M. and Finley, A. 1993. Effects of omnivorous shrimp in a montane tropical stream: sediment removal, disturbance of sessile invertebrates and enhancement of understory algal biomass. *Oecologia*, **93**: 1-11

Pringle, C. M. and Blake, G. A. 1994. Quantitative effects of atyid shrimp (Decapoda: Atyidae) on the depositional environment in a tropical stream: Use of electricity for experimental exclusion. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **51**:1443-50.

Pringle, C. M. and Hamazaki, T. 1998. The role of omnivory in a neotropical stream: separating diurnal and nocturnal effects. *Ecology*, **79**:269-280.

Pringle, C. M., Hemphill, N., McDowell, W. H., Bednarek, A. and Marsh, J. G. 1999. Linking species and ecosystems: different biotic assemblages cause interstream differences in organic matter. *Ecology*, **80**:1860-1872.

Rezende F. C. & Mazzoni R. (2005) Seasonal variation in the input of allochthonous matter in an Atlantic rain forest stream, Ilha Grande-RJ. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **17**:167–75.

Richardson, D. M.; Holmes, P. M.; Esler, K. J.; Galatowitsch, S. M. and Stromberg, J. C. 2007. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity & Distributions*, **13**: 126-139.

Rosemond, A. D., Pringle, C. M. and Ramírez, A. 1998. Macroconsumer effects on insect detritivores and detritus processing in a tropical stream food web. *Freshwater Biology*, **39**:515-524.

Ruetz III, C. R.; Breend, M. T. and Vanhaisma, D. L. 2006. Habitat structure and fish predation: effects on invertebrate colonisation and breakdown of stream leaf packs. *Freshwater Biology*, **51**: 797-806

Schofield, K. A., Pringle, C. M., Meyer, J. L. and Sutherland, A. B. 2001. The importance of crayfish in the breakdown rhododendron leaf litter. *Freshwater Biology*, **46**:1191-204.

Schofield K. A., Pringle C. M., Meyer J. L. and Rosi-Marshall EJ. 2008. Functional redundancy of stream macroconsumers despite differences in catchment land use. *Freshwater Biology*, **53**:2587-2599.

Silva-Junior, E. F.; Moulton, T. P. 2011. Ecosystem Functioning and Community Structure as Indicators for Assessing Environmental Impacts: Leaf Processing and Macroinvertebrates in Atlantic Forest Streams. *International Review of Hydrobiology* **96**:656-666.

Silva-Junior, E. F., Moulton, T. P., Boëchat, I. G. and Björn, G. 2014. Leaf decomposition and ecosystem metabolism as functional indicators of land use impacts on tropical streams. *Ecological Indicators*, **36**:195-204.

Silveira, R. M. L. and Moulton, T. P. 2000. Modelling the food web of a stream in Atlantic forest. *Acta Limnologica Brasiliensis*, **12**:63–71.

Souza, M. L. and Moulton, T. M. 2005. The effects of shrimps on benthic material in a Brazilian island stream. *Freshwater Biology*, **50**: 592-602.

Souza, M. L., Moulton, T. M., Krsulovic, F. A. M. and Brito, E. F. 2007. Responses of Chironomidae (Diptera; Insecta) to the exclusion of shrimps and Ephemeroptera in a coastal forest stream, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal Biology*, **67**:47-5.

Tank, J. L.; Rosi-Marshall, E. J.; Griffiths, N. A.; Entekin, S. A. and Stephen, M. L. 2010. A review of allochthonous organic matter dynamics and metabolism in streams. *Journal of the North American Benthological Society*, **29**: 118-146.

Usio, N. 2000. Effects of crayfish on leaf processing and invertebrate colonisation of leaves in a headwater stream: decoupling of a trophic cascade. *Oecologia*, **124**: 608-614.

Wallace, J. B.; Eggert, S. L.; Meyer, J. L. and Webster, J. R. 1997. Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science*, **277**: 102-104.

Wantzen, K. M., Yule, C. M., Mathooko, J. M. and Pringle, C. M. 2008. Organic matter processing in tropical streams. In Dudgeon, D. (ed.), *Tropical Stream Ecology*. Academic Press, London: 44–65.

Webster J. R., and Benfield, E. E. 1986. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **17**:567-594.

Yule, C. M. 1996. Trophic relationships of the benthic invertebrate fauna of an aseasonal tropical stream on Bougainville Island, Papua New Guinea. *Journal of Tropical Ecology*, **12**: 517–534.

Yule, C. M., Leong, M. Y., Liew, K. C., Ratnarajah, L. and Schmidt, K., et al. 2009. Shredders in Malaysia: abundance and richness are higher in cool upland tropical streams. *Journal of the North American Benthological Society*, **28**: 404–415.

2 A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES METODOLOGIAS NA TAXA DE PROCESSAMENTO FOLIAR E COLONIZAÇÃO DE INVERTEBRADOS AQUÁTICOS EM UM RIACHO DE MATA ATLÂNTICA

2.1 Resumo

Nós estudamos a taxa de processamento foliar das espécies nativas *Erythroxylum pulchrum* e *Miconia prasina* e a influência da fauna no processo utilizando duas metodologias distintas. Ambas as espécies são comuns nas margens do Rio Andorinhas, um rio de terceira ordem localizado na Ilha Grande, Rio de Janeiro. Nós utilizamos cercas elétricas com diferentes níveis de intensidade (controle, fraco e forte) e sacos com diferentes tamanhos de malhas (12 mm, 2 mm e 0,2 mm) afim de excluir grupos distintos da fauna, avaliando seus efeitos separadamente. Pacotes contendo cinco folhas de cada espécie foram colocados nas cercas elétricas e dentro dos sacos e foram coletados nos dias 2, 10, 21, 34, 61 e 84. Ambas as espécies apresentaram uma maior taxa de processamento nas folhas livres (cerca elétrica) comparadas às que estavam dentro dos sacos. Na cerca elétrica a espécie *Erythroxylum* apresentou uma taxa de processamento significativamente maior no tratamento com choque fraco, onde apenas os camarões foram excluídos ($k = 0,016 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$), já na metodologia de sacos a sua maior taxa de processamento foi encontrada no saco com malha de 12mm ($0,008 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$), onde não houve exclusão. Em relação às folhas de *Miconia*, as taxas de processamento não diferiram entre os tratamentos tanto na metodologia utilizando cercas elétricas ($F_{2,43}=1,69$, $p=1,95$) quanto com sacos ($F_{2,44}=2,18$, $p=0,124$). Ambas as espécies apresentaram menores taxas de processamento nos sacos, mostrando que os resultados do processamento de folhas à exclusão da fauna pode depender da metodologia. Assumimos que essa dependência se deve a um efeito de artefato dos sacos, que proporcionam menor fluxo de água dentro dos sacos, aumentando o acúmulo de sedimento, e servem de abrigo para diversos animais.

Palavras-chave: exclusão com sacos de folhas, exclusão elétrica, riacho tropical

2.2 Abstract

We studied the leaf processing of two native species *Erythroxylum pulchrum* and *Miconia prasina* and the role of fauna in this process using two different methodologies. Both species are common on the banks of Rio Andorinha, a third order stream located at Ilha Grande, Rio de Janeiro. The experiment was performed between June and August 2013. We used electric fences with different intensity levels (control, low and high) and litter bags with different mesh sizes (12mm, 2mm and 0,2mm) in order to exclude distinct groups of fauna, assessing their effects separately. Packs with five leaves of each species were placed in electric fences and litter bags, and were sampled on days 2, 10, 21, 34, 61 and 84. Both species showed higher processing rate of leaves not contained in litter bags compared to leaves within bags. In electric exclusion methodology, *Erythroxylum* had a significantly higher leaf processing rate in the low treatment, where only shrimps are excluded ($k = 0,016 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$), since in the litter bags its higher leaf processing rate was in the 12mm mesh bag, where there was not exclusion. Regarding the *Miconia*, the leaf processing rates did not differ between treatments both in the electric exclusion ($F_{2,43} = 1.69$, $p = 1.95$) and litter bags ($F_{2,44} = 2.18$, $p = 0.124$). Both species showed lower processing rates in the bags, showing that the results of processing the results of leaf processing may depend on the methodology. We assume that this dependence is due to an artifact effect of bags, which provide less flow of water inside the bags, increasing the sediment, and provide shelter for any animals.

Key words: litter bags exclusion, electric exclusion, tropical stream

2.3 Introdução

O papel exercido por macroconsumidores (peixes, camarões e caranguejos) e por insetos aquáticos no processamento foliar é bem conhecido e definido em riachos temperados (por ex. Webster e Benfield, 1986; Graça, 2001). Porém, em riachos tropicais este assunto ainda é bastante debatido e existem diversas hipóteses sobre quais os organismos que estão envolvidos neste processo ecossistêmico. Irons et al (1994) mostrou que devido principalmente à temperatura, fragmentadores se tornam mais importantes à medida em que há um aumento na latitude, por isso em regiões temperadas eles são mais abundantes do que em regiões tropicais, onde então fungos e bactérias se tornam mais importantes para o processo. Todavia, outros trabalhos mostram que macroconsumidores podem assumir o papel de fragmentadores em alguns riachos, participando diretamente do processamento foliar (Usio, 2000; Moulton et al., 2010a; Coughlan et al., 2010; Cogo e Santos, 2013). Em uma meta-análise recente, Mancinelli et al. (2013) testaram o efeito dos macroconsumidores sobre o processamento foliar e sobre a comunidade de macroinvertebrados. Eles mostraram que o efeito direto dos decápodes sobre as folhas foi mais importante do que o efeito indireto (i.e. efeito indireto na taxa de processamento de folhas através do efeito direto na colonização das folhas por insetos aquáticos, ou seja, cascata trófica). Esses resultados foram mais evidentes em rios temperados do que em tropicais (Mancinelli et al., 2013).

Diversos fatores podem influenciar a taxa de processamento foliar, tais como temperatura, pH, correnteza e a presença de microorganismos (fungos e bactérias) e animais que fragmentam esse material (Webster & Benfield, 1986; Abelho, 2001). Além disso, o processamento foliar também pode variar entre diferentes espécies de plantas de acordo com a dureza, razão C:N e concentração de compostos secundários, que podem influenciar o processamento principalmente em ambientes tropicais, devido à adaptações das folhas à herbivoria (Gonçalves et al., 2013; Canhoto & Graça, 1999; Oliveira, et al., 2003). Na nossa área de estudo as espécies *Eruthroxylum pulchrum* e *Miconia prasina* são bastante comuns na vegetação ripária e possuem características distintas. A espécie *Erythroxylum* possui folhas mais duras e cerosas do que a *Miconia*, que tem folhas mais maleáveis.

Para avaliar o processamento foliar de diferentes espécies de plantas e a influência dos fatores bióticos e abióticos neste processo, diferentes metodologias têm sido utilizadas. Contudo, o uso de sacos com diferentes tamanhos de malha é um dos mais utilizados (Irons et al., 1994; Mathuriau e Chauvet, 2002; Gonçalves et al., 2006; Moretti et al., 2007; Moulton et al., 2010a). Dependendo do tamanho da malha, estes sacos diminuem a chance de perda de partes da folha (eventualmente quebradas pela correnteza) e previnem a contaminação por outras folhas (Cotrufo et al., 2010). Porém, em ambientes lóticos, a malha pode diminuir o fluxo de água dentro dos sacos, reter sedimento e se tornar um abrigo atrativo para diversos animais, que podem ter sua densidade aumentada nos pacotes de folhas dentro dos sacos (Pringle et al., 1999).

A metodologia de cercas elétricas foi desenvolvida por Pringle e Blake (1994) em um estudo para avaliar o efeito de camarões sobre o acúmulo de sedimentos em um riacho de primeira ordem em Porto Rico. Essa metodologia tem sido considerada melhor do que os tradicionais sacos e gaiolas porque além de evitar o efeito de artefato, as cercas possuem volume reduzido, causando menos resistência ao fluxo do rio, e então diminuindo as chances de serem carregadas pela correnteza (Pringle et al., 1999). Diversos experimentos já vêm utilizando esse método a fim de testar os efeitos de macroconsumidores (peixes e camarões) sobre a comunidade de macroinvertebrados, material foliar alóctone, sedimentos e perífiton (Pringle e Hamazaki, 1997, 1998; Rosemond et al., 1998; Brown et al., 2000; March et al., 2001, 2002; Schofield et al. 2004, 2008; Landeiro et al., 2008; Marshall et al., 2012; Lourenço-Amorim et al. 2014). Alguns trabalhos realizados no nosso local de estudo (Silveira e Moulton, 2000; Moulton et al., 2004; Moulton et al., 2015) também utilizaram a metodologia desenvolvida por Pringle e Blake (1994), porém utilizando duas intensidades de choque: baixa, excluindo apenas os macroconsumidores e alta, que exclui tanto macroconsumidores como macroinvertebrados. Com o uso de duas intensidades de choque pode-se avaliar separadamente o papel dos macroconsumidores e dos insetos aquático sobre recursos basais ou em processos ecológicos. Além disso, pode-se avaliar o comportamento dos insetos aquáticos na presença e na ausência de um potencial predador. Estes trabalhos no nosso local de estudo demonstraram um efeito de cascata trófica, nos tratamentos de exclusão dos camarões *Macrobrachium olfersi*, houve maiores densidade de efemerópteros, que

diminuíram a biomassa de perifíton e sedimentos (Silveira e Moulton, 2000; Moulton et al., 2004; Moulton et al., 2015).

Neste estudo, nós tivemos como objetivos: 1) investigar se há uma cascata trófica sobre o processamento de foliar evidenciada pela exclusão dos camarões *Macrobrachium olfersi*, 2) comparar as taxas de processamento de duas espécies (*Eythroxylum pulchrum* e *Miconia prasina*) comuns na nossa área de estudo e que apresentam níveis de dureza distintos, e 3) comparar as metodologias de cerca elétrica e sacos com diferentes malhas, para testar se o efeito de artefato provocado pelos sacos interfere no papel da fauna no processamento foliar. Para isso, nós montamos um experimento de exclusão utilizando duas metodologias, uma por eletricidade ou por sacos, com três níveis de exclusão cada e que têm como objetivo excluir os mesmos grupos de animais. A exclusão por pulsos elétricos é composta por três tratamentos: controle, choque fraco e choque forte. No controle, mantivemos o acesso de todos os animais e por isso não foi eletrificada; no choque fraco excluímos apenas os camarões (*Potimirim brasiliiana* e *Macrobrachium olfersi*); e na choque forte procuramos excluir tanto camarões quanto insetos aquáticos. Já com a metodologia dos sacos utilizamos malhas com três tamanhos de abertura para sua confecção. A malha de 12mm equivaleria à cerca controle, onde não há exclusão da fauna; a malha de 2mm equivaleria à cerca com choque fraco, impedindo apenas a entrada dos camarões; e a malha de 0,2mm equivaleria à cerca com choque forte, onde ambos os grupos de animais são excluídos.

Nós esperamos encontrar um efeito negativo do *Macrobrachium* sobre os insetos aquáticos, todavia não sabemos como isso refletirá no processamento foliar. Se os camarões forem mais importantes para a fragmentação do material, conforme encontrado em outros trabalhos, a ausência deles provocará uma redução nas taxas de processamento. Todavia, se a presença dos camarões afetar negativamente os insetos aquáticos, e estes tiverem maior efeito no processamento foliar, haverá um efeito de cascata trófica provocada pelos camarões e a taxa de processamento foliar será maior na sua ausência.

Devido ao efeito de artefato dos sacos, nós acreditamos que a taxa de processamento será mais rápida nos pacotes de folhas expostos nas cercas elétricas. Para testar nossas hipóteses nós utilizamos duas espécies de folhas abundantes às margens do nosso local de estudo *Eythroxylum pulchrum* e *Miconia prasina*. Essas espécies foram escolhidas porque além de serem abundantes, elas

possuem características foliares distintas. A espécie *Erythroxylum* possui uma folha mais rígida e mais cerosa do que a *Miconia*, o que nos leva a acreditar que sua taxa de processamento será mais lenta.

2.4 Materiais e Métodos

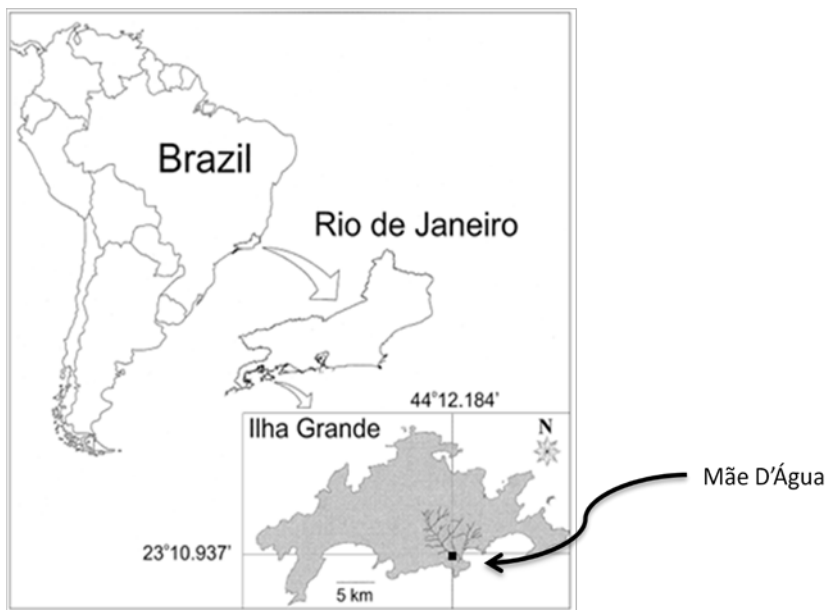
2.4.1 Área de estudo

Nosso estudo foi realizado em um rio de terceira ordem chamado de Córrego da Andorinha, que fica localizado na Vila Dois Rios, Ilha Grande (23°10.9'S, 44°12.2'W). A Ilha Grande possui uma área de 193 km² e fica localizada no sul do estado do Rio de Janeiro (Fig. 7). O Córrego da Andorinha fica em uma região de Mata Atlântica bem preservada protegida pelo Parque Estadual da Ilha Grande. A geologia é principalmente granito do Pré-Cambriano; os valores da concentração média de nutrientes, como medidos em Junho de 2012, foram 9,1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ $\text{NO}_3 + \text{NO}_2\text{-N}$, 0,15 $\mu\text{mol L}^{-1}$ $\text{NH}_4\text{-N}$ e 0,22 $\mu\text{mol L}^{-1}$ $\text{PO}_4\text{-P}$ (Lourenço-Amorim et al., 2014). No Córrego da Andorinha a entrada de material vegetal alóctone é maior durante o período de chuvas, que se entende de Outubro a Fevereiro (Rezende e Mazzoni, 2005). Durante o ano em que realizamos o experimento, entrada média de material alóctone foi de 0,262 g de matéria m^{-2} dia^{-1} (Lisboa, comunicação pessoal). O estoque médio desse material (biomassa) no nosso sítio de estudo foi de 18,4 g m^{-2} (Brito et al., 2006).

Nosso sítio de estudo situa-se a 70m a.s.l., 1,3km do estuário e acima da cachoeira conhecida como Mãe D'Água, que age como uma barreira física algumas espécies de animais que vivem abaixo dela, particularmente para peixes predadores. *Characidium japuhybensis* é o único peixe encontrado a montante da cachoeira, porém ocorre em densidades muito baixas e não foi visto no nosso sítio de estudo durante os experimentos. Por outro lado, a Mãe D'Água não é um obstáculo para os camarões anfídromos *Potimirim brasiliana* (9,8 indivíduos m^{-2} , Neres-Lima, comunicação pessoal) e *Macrobrachium olfersi* (13,8 indivíduos m^{-2} , Neres-Lima, comunicação pessoal) espécies abundantes acima da cachoeira

(Moulton et al. 2005; Moulton et al. 2010). Além dessas duas espécies de camarões, encontramos também alguns insetos aquáticos, como as famílias Leptophlebiidae (240 indivíduos m^{-2} , Neres-Lima, não publicado), Chironomidae (2000 indivíduos m^{-2} , Souza et al. 2007) e Baetidae (100-200 indivíduos m^{-2} , Moulton et al., 2004).

Figura 7 - Mapa da área de estudo



Legenda: Localização da nossa área de estudo na Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil.

2.4.2 Pacotes de folhas

As espécies utilizadas neste experimento foram *Erythroxylum pulchrum* (Erythroxylaceae) e *Miconia prasina* (Melastomataceae). Essas espécies foram escolhidas porque são bastante comuns às margens do Rio Andorinhas e por possuírem espessura e dureza distintas. *Erythroxylum* possui maior espessura e dureza do que a *Miconia*, e por isso acreditamos que elas apresentem diferentes taxas de processamento. Os pacotes foram feitos sempre com folhas de uma única espécie e continham cinco folhas agrupadas pelo pecíolo. A relação entre peso verde e peso seco foi obtida pela média de 30 folhas secadas na estufa a 60°C por 48 horas. O peso seco inicial de cada pacote de folhas foi estimado utilizando esta relação.

2.4.3 Exclusão elétrica

As áreas de exclusão de insetos aquáticos e camarões foram criadas por meio de pulsos elétricos. Os pulsos elétricos foram utilizados seguindo o princípio desenvolvido por Pringle e Blake (1994), porém com dois níveis de eletrificação (Lourenço-Amorim et al., 2014, Moulton et al., 2015) para evitar que os camarões e os insetos aquáticos colonizassem os pacotes de folhas e assim podermos avaliar seus efeitos separadamente (Souza et al. 2005). O efeito dos pulsos elétricos nos animais é inversamente proporcional ao seu tamanho, ou seja, animais maiores são afetados com baixa intensidade de choque enquanto animais menores precisaram de uma intensidade de choque mais forte para serem atingidos (Moulton et al., 2004).

Nós construímos 12 cercas retangulares (100 x 24cm) feitas com tubo de PVC (Ø1,27 cm). Eletrodos de fio de cobre foram ligados nas laterais e no eixo central de cada cerca. A resposta dos animais ao choque elétrico foi visualmente observada durante todo o experimento. As cercas com eletricidade fraca foram conectadas a um eletrificador disponível comercialmente AN 90 (model Stafix, Tru-Test Ltd., Palmerston North, New Zealand – 0,12J) alimentado por uma bateria de 12V, afetando apenas os camarões. As cercas com eletricidade forte foram conectadas a um eletrificador Speedrite (model6000, Tru-Test Ltd., Palmerston North, New Zealand – 6J) alimentado por duas baterias de 12V, e causou reação tanto em camarões quanto em efemerópteros. Devido ao seu pequeno tamanho, quironomídeos não foram excluídos na cerca com alta intensidade de choque, porém não consideramos que a presença deles e de outros pequenos insetos aquáticos tenham afetado o processamento foliar. Nas cercas com eletrificação forte, acreditamos que não haja atividade efetiva dos pequenos animais presentes, sendo considerada apenas a atividade microbiana. As baterias eram carregadas por um painel solar (modelM65; Siemens, Camarillo, CA, U.S.A.) que alimentou o sistema durante o experimento (Apêndice A). Cercas não eletrificadas serviram como o tratamento controle. Embora a presença de camarões tenha sido observada nas cercas controle durante o dia e a noite, sua captura, assim como a de alguns efemerópteros, foi difícil devido à grande mobilidade e agilidade desses organismos durante as coletas.

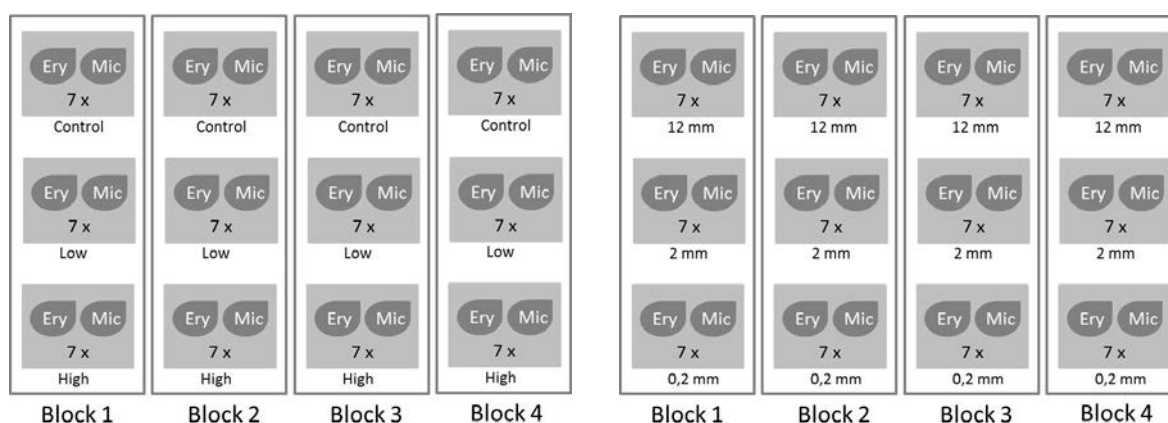
As cercas foram divididas em quatro grupos dispostos em um delineamento de blocos randômicos. Cada bloco continha três cercas com diferentes tratamentos (controle, fraco e forte), e em cada cerca foi colocada uma corda de nylon onde os sete pacotes de folhas foram dispostos (Apêndice B). Um pacote de folhas de cada tratamento por bloco foi retirado ao longo do experimento.

2.4.4 Exclusão por sacos

As folhas foram colocadas dentro de sacos de nylon retangular (15x20cm), que continha em uma das extremidades uma abertura circular (\varnothing 9,5cm) com diferentes malhas, similar à metodologia utilizada por Moulton et al. 2010b. O corpo dos sacos foi feitos com malha de nylon de 0,2 mm e o da abertura circular variou de acordo com o tratamento: malha grossa com 12 mm para que não houvesse exclusão de fauna; (b) malha média com 2 mm para que apenas camarões fossem excluídos, permitindo a entrada de insetos; e (c) malha fina com 0,2 mm para evitar a entrada tanto de camarões quanto a de insetos. Essa abertura circular era presa ao corpo dos sacos por velcro. Quironomídeos foram os únicos insetos que conseguiram entrar nos sacos com malha fina, provavelmente atravessando esta barreira de velcro.

Cada saco continha uma etiqueta central interna, onde a base dos pacotes de folhas foi amarrada para evitar que ficassem muito próximas à parede do saco, evitando então que as folhas se juntassem (Apêndice C). Eles foram separados em blocos randômicos que continham sete sacos de cada espécie por tratamento, totalizando 42 sacos por bloco (Fig.8, Apêndice D). Os sete sacos de cada tratamento foram dispostos em uma corda de nylon presa às rochas próximas dos locais onde estavam as cercas elétricas. Os sacos foram posicionados no sentido contra a corrente, com a abertura posicionada a jusante. Deste modo nós imaginamos minimizar as diferenças de corrente de água entre os sacos dos diferentes tratamentos, além de diminuir a entrada e o acúmulo de material nos sacos.

Figura 8 - Esquema representativo do experimento do delineamento do experimento de exclusão por eletricidade e sacos



Legenda: À esquerda a metodologia de exclusão por impulsos elétricos: quatro cercas dos tratamentos com baixa e alta intensidade de choque e controle, e à direita a metodologia de exclusão com sacos: quatro sacos das malhas 12mm, 2mm e 0,2mm. Cada tratamento continha sete pacotes de cada espécie de folha (*Erythroxylum pulchrum* e *Miconia prasina*).

2.4.5 Amostragem e análise dos dados

Os experimentos de cerca elétrica e sacos foram realizados concomitantemente no período de Junho a Agosto de 2013. De cada tratamento foi retirada uma amostra das espécies nos dias 2, 10, 21, 33, 61 e 84 após a imersão. Devido a um episódio de muita chuva durante o experimento, nós perdemos um bloco inteiro de sacos de ambas as espécies e alguns pacotes de folhas das cercas elétricas, por isso nós consideramos a última data de coleta da *Miconia* sendo o dia 61.

Apesar de apresentarem alta densidade no nosso sítio de estudo, não conseguimos coletar *Macrobrachium olfersi* durante o experimento, talvez pelo fato de termos coletado os pacotes de folhas durante o dia, quanto possui menor atividade. Porém a presença dele durante o experimento foi comprovada em observações noturnas ao experimento.

Durante as coletas, todos os pacotes de folhas eram guardados em sacos plásticos com água do próprio rio e levados ao laboratório para serem processados.

As folhas eram lavadas em peneiras com abertura de 250 μm para evitar a perda dos macroinvertebrados e colocadas na estufa a 60°C por 48 horas. Todos os macroinvertebrados foram preservados em álcool 70% e identificados com o auxílio da chave de identificação Mugnai et al. (2010). Os grupos funcionais de alimentação foi baseado nas listas de Merritt & Cummins (2005), Baptista et al. (2006) e Henriques-Oliveira & Nessimian (2010).

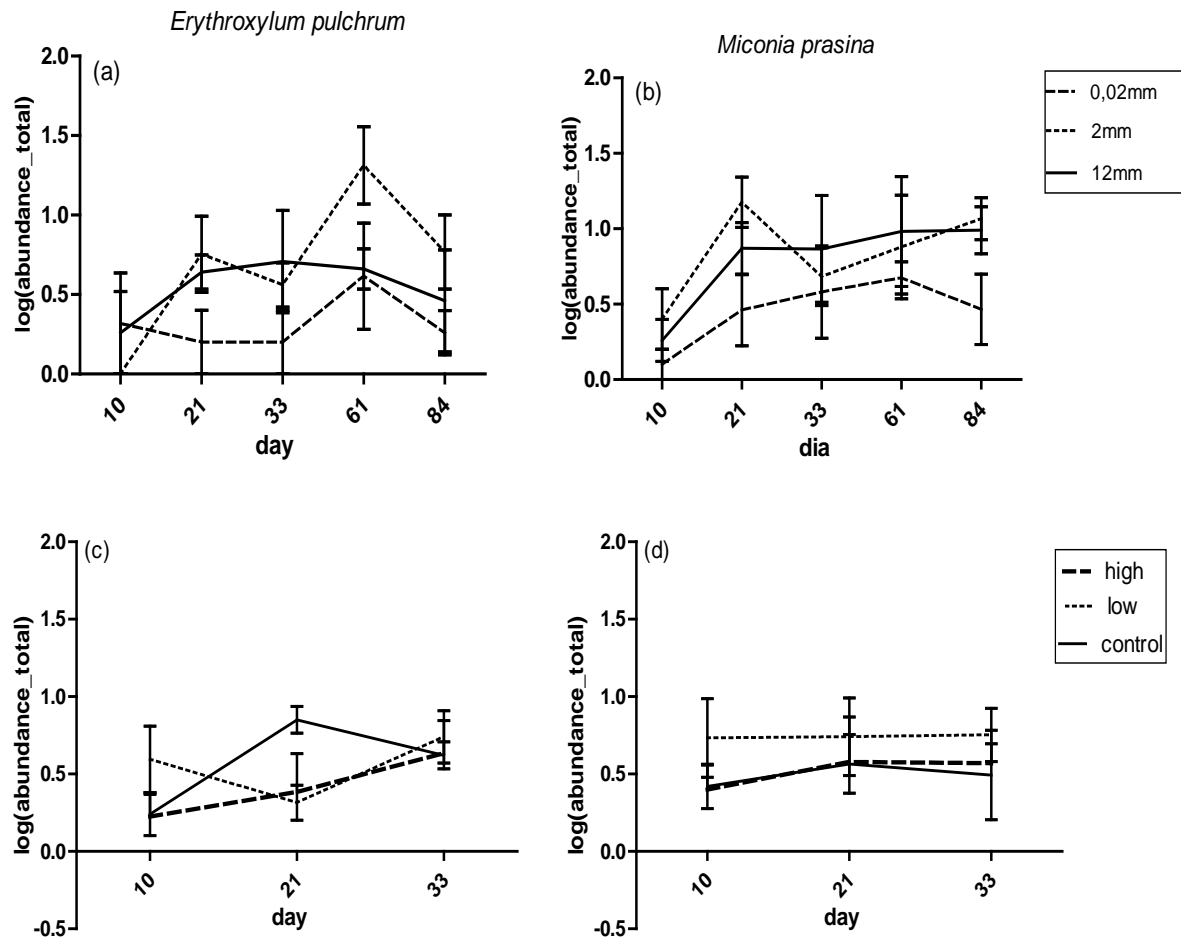
A taxa de decomposição foi estimada utilizando o modelo de decaimento exponencial $W_t = W_0 e^{-kt}$, onde W_t é a massa remanescente no tempo t , W_0 é a massa inicial e k é a taxa de processamento (Webster e Benfield, 1986). Em cada tratamento, a taxa de processamento foliar (k) foi calculada por regressão linear do log natural da proporção da massa remanescente pelo tempo de imersão (Benfield, 2007). Testamos a significância das diferenças entre os tratamentos por ANCOVA do $\log_e (W_t / W_0)$ com tratamento de choque como fator fixo, bloco como fator randômico e tempo como covariada. Assumimos que não houve efeito interativo com blocos. Testamos a hipótese nula de inclinações paralelas, ou seja, a hipótese nula de que a taxa de mudança de $\log_e (W_t / W_0)$ no tempo (que é a inclinação da reta e é o valor de k) não difere entre os tratamentos. Portanto, o teste do efeito da interação entre tratamento e tempo provê o teste da nossa hipótese nula. Para testar a diferença da fauna entre os tratamentos, nós fizemos uma ANOVA de dois fatores, onde as nossas variáveis independentes eram tratamento e dia, e a variável dependente era o log da abundância de cada táxon. Pós-testes Bonferroni foram feitos em casos de resultados da ANOVA significativos.

2.5 Resultados

Identificamos ao total 874 indivíduos utilizando a exclusão por cerca elétrica e 1.860 utilizando os sacos. Os táxons mais abundantes em ambas as metodologias foram, respectivamente: Chironomidae (48% e 60%), Leptophlebiidae (15% e 10%) e Baetidae (13% e 13%). Os outros táxons somados corresponderam a 24% na cerca elétrica e 18% nos sacos. Os grupos funcionais presentes foram: coletores, seguido pelos herbívoros, fragmentadores e predadores. A abundância de insetos

aquáticos não-quironomídeos não diferiu significativamente entre os tratamentos de ambas as metodologias (Fig. 9).

Figura 9 - Abundância da fauna ao longo dos dias.

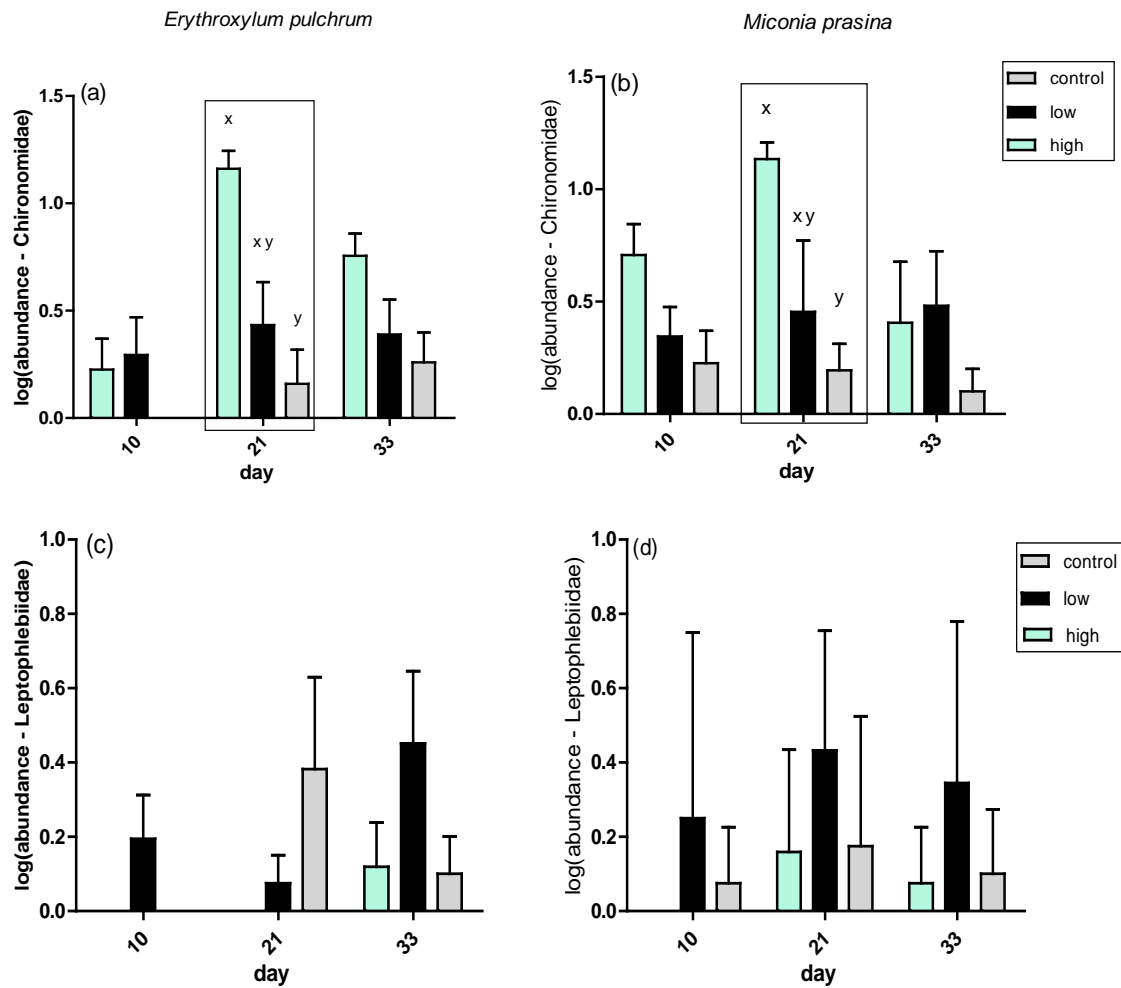


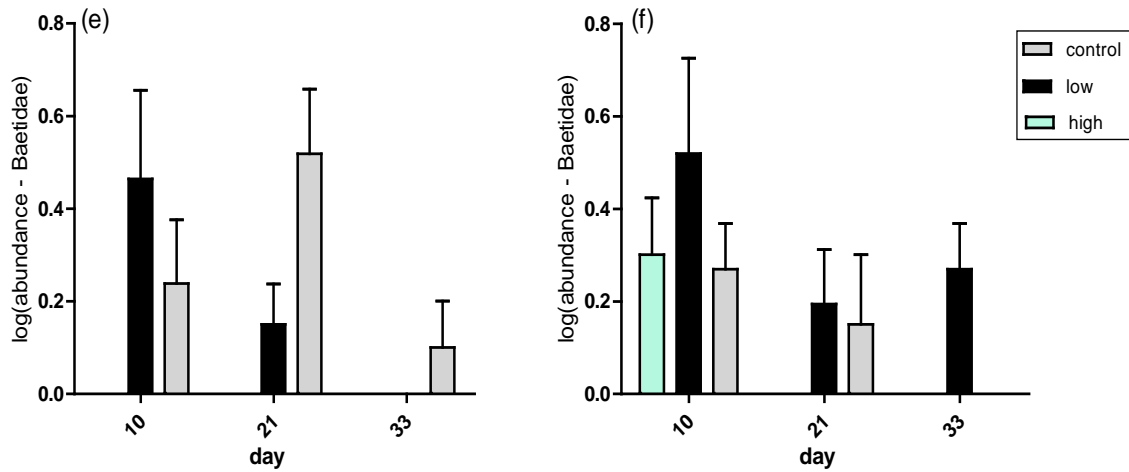
Legenda: Gráficos a e b mostram a fauna (sem quironomídeos) nos sacos com diferentes malhas e os gráficos c e d mostram a fauna nas diferentes intensidades de choque.

Chironomidae teve a abundância significativamente diferente entre os tratamentos ($F_2= 6,0$, $p= 0,007$). No dia 21 da cerca elétrica, Chironomidae foi mais abundante no tratamento com choque forte em comparação com o controle para ambas as espécies de folha ($p_{ery}<0,01$ e $p_{mic}<0,05$) (Fig. 10). Leptophlebiidae e Baetidae não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos para ambas as espécies de folhas, porém nossos dados brutos mostram um aumento de ambos nas cercas com choque fraco, onde houve a exclusão dos camarões (Fig. 10).

Nenhum táxon apresentou diferença significativa da abundância entre os sacos com diferentes malhas (Fig. 11).

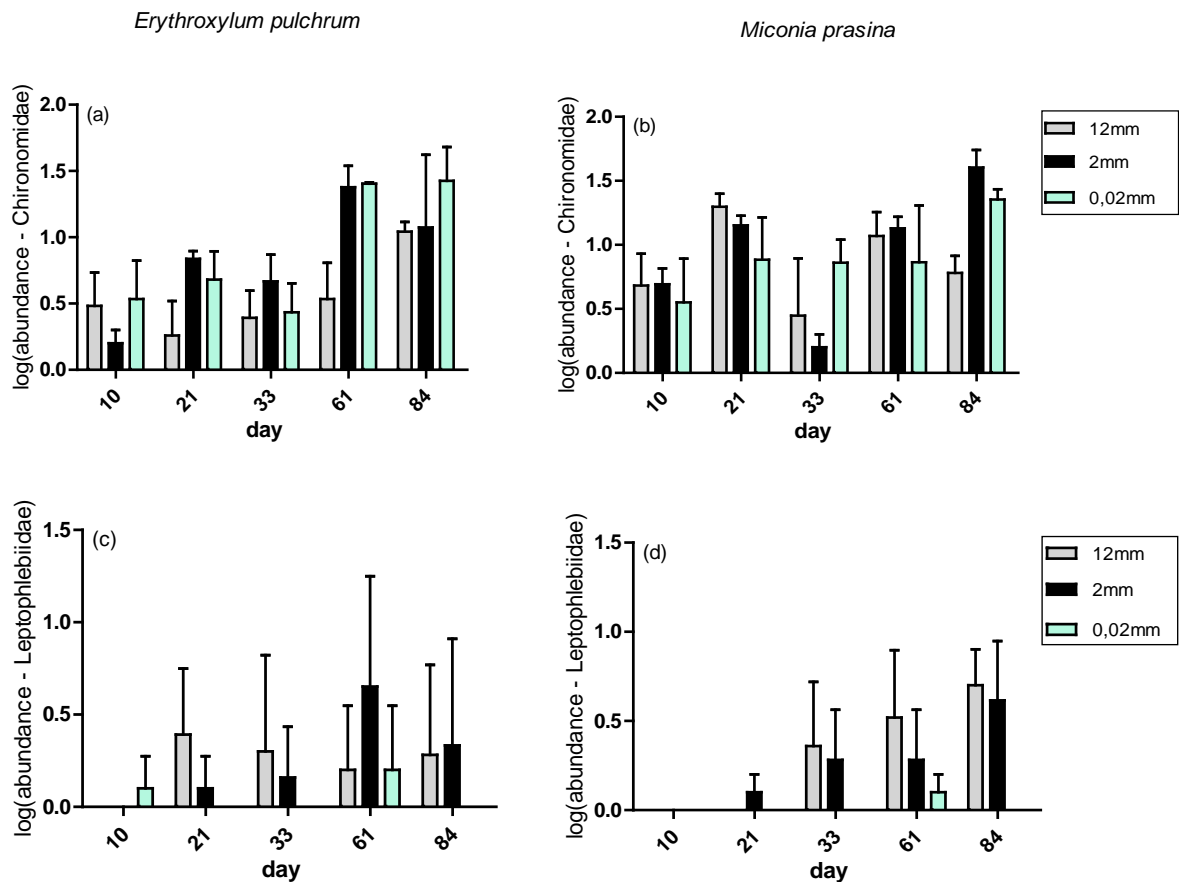
Figura 10 - Abundância (log) de Chironomidae, Leptophlebiidae e Baetidae vs. tempo no experimento de exclusão elétrica.

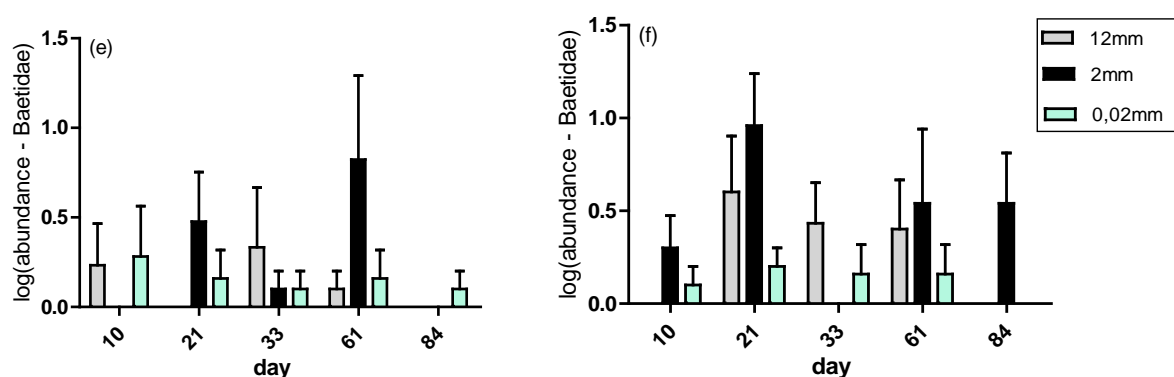




Legenda: Abundância média \pm EP (dados log transformado) de Chironomidae, Leptophlebiidae e Baetidae coletados nos pacotes de Erythroxylum e Miconia nos diferentes tratamentos de exclusão com choque (control=controle, low=fraco, high=forte). Letras diferentes indicam diferenças significativas (test post-hoc de Bonferroni).

Figura 10 - Abundância (log) de Chironomidae, Leptophlebiidae e Baetidae vs. tempo no experimento de exclusão com sacos.





Legenda: Abundância média \pm EP (dados log transformado) de Chironomidae, Leptophlebiidae e Baetidae coletados nos pacotes de *Erythroxyllum* e *Miconia* nos diferentes tratamentos de exclusão com sacos.

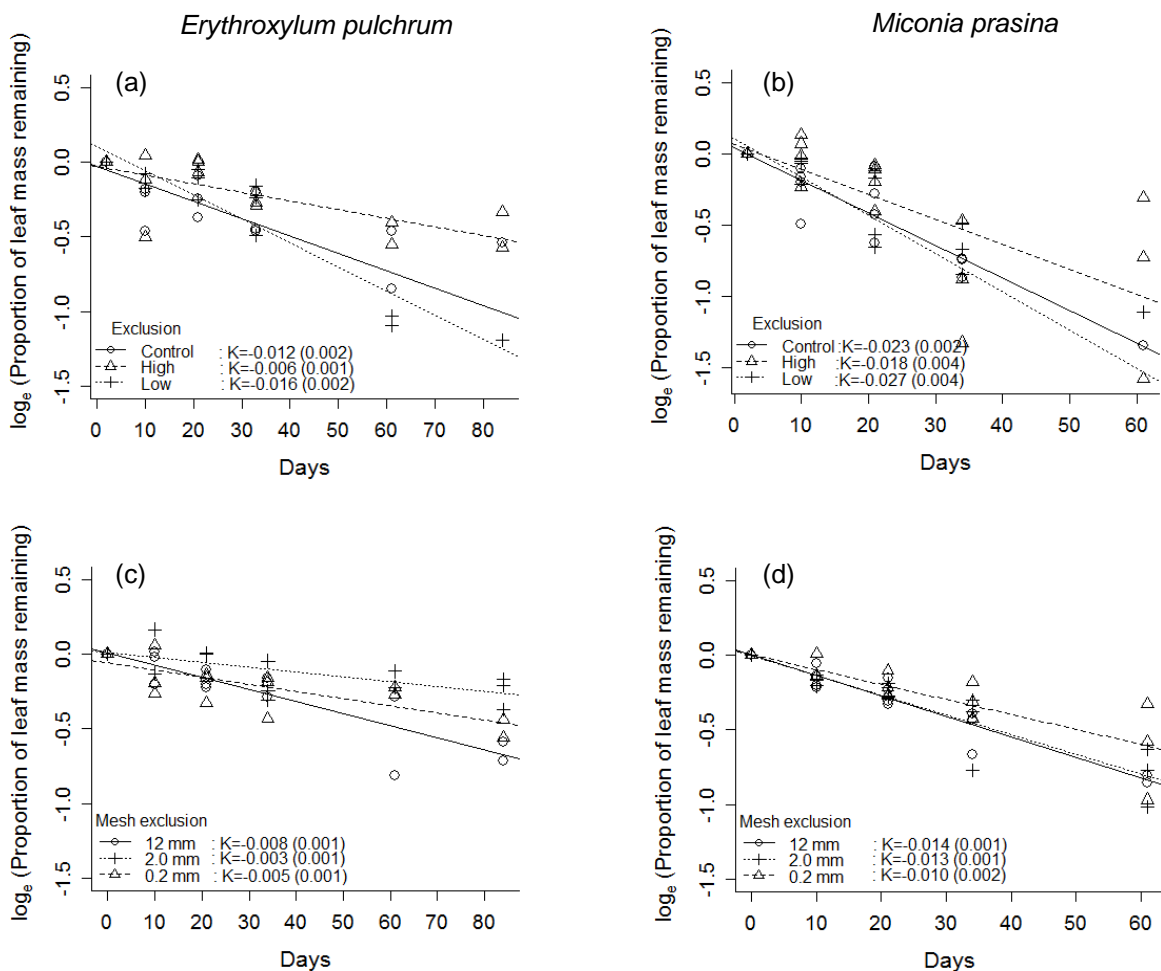
Na cerca elétrica, os valores da taxa de processamento foliar de *Erythroxyllum* (k) nos tratamentos controle, fraco e forte foram: $k = 0,012 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$, $k = 0,016 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$ e $k = 0,006 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Fig. 12a). Nos sacos os valores de k nos tratamentos 12 mm, 2 mm e 0,2 mm foram: $k = 0,008 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$, $k = 0,003 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$ e $k = 0,005 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Fig. 12c).

Para a espécie *Miconia*, os valores da taxa de processamento foliar (k) nos tratamentos controle, fraco e forte foram: $k = 0,023 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$, $k = 0,027 \pm 0,004 \text{ dia}^{-1}$ e $k = 0,018 \pm 0,004 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Fig. 12b). E nos sacos os valores de k nos tratamentos 12 mm, 2 mm e 0,2 mm foram: $k = 0,014 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$, $k = 0,013 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$ e $k = 0,010 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Fig. 12d).

Em ambas as metodologias, a espécie com a folha mais rígida (*Erythroxyllum*) teve sua taxa de processamento mais lenta do que a espécie que tinha a folha mais maleável (*Miconia*), e ambas tiveram suas taxas de processamento reduzidas nos sacos. Nas cercas elétricas, a taxa de processamento de *Miconia* variou de $0,018 \pm 0,004 \text{ dia}^{-1}$, no tratamento com choque forte, à $0,027 \pm 0,004 \text{ dia}^{-1}$ no tratamento com choque fraco, enquanto a maior taxa de processamento de *Erythroxyllum* foi de $0,016 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$, no tratamento com choque fraco. Nos sacos com diferentes malhas *Miconia* variou sua taxa de $0,014 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$ no saco com malha mais grossa à $0,010 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$ no saco com malha mais fina, enquanto que para *Erythroxyllum* a maior taxa foi de $0,008 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$ nos sacos com malha mais grossa.

Na metodologia de cercas elétricas, a interação entre dia e tratamento no peso remanescente diferiu para *Erythroxylum* ($F_{2,38}= 12,2$, $p= <0,001$), que apresentou uma taxa de processamento significativamente maior no tratamento com choque fraco, onde os camarões foram excluídos ($k= 0,016 \pm 0,002 \text{ dia}^{-1}$). Nos sacos com diferentes malhas, a taxa de processamento também foi significativamente diferente entre os tratamentos ($F_{2,40}=6,5$, $p=0,003$), contudo, a taxa de processamento mais rápida nos sacos com malha grossa (12mm), onde os camarões *Potimirim* estavam presentes ($k= 0,008 \pm 0,001 \text{ dia}^{-1}$). Para *Miconia*, as taxas de processamento não diferiram entre os tratamentos tanto na metodologia utilizando cercas elétricas ($F_{2,43}= 1,69$, $p= 1,95$) quanto com sacos ($F_{2,44}= 2,18$, $p= 0,124$).

Figura 12 - Proporção (log) da massa remanescente vs. tempo.



Legenda: Perda de peso das espécies *Erythroxylum pulchrum* (esquerda) e *Miconia prasina* (direita) ao longo dos dias de experimento utilizando as metodologias de cerca elétrica (a, b) e sacos (c, d).

2.6 Discussão

Em ambas as metodologias, a espécie com a folha mais dura (*Erythroxyllum pulchrum*) teve sua taxa de processamento mais lenta do que a espécie que tinha a folha mais maleável (*Miconia prasina*). Mesmo os valores mais baixos de *Miconia* ($k_{\text{high}} = 0,018 \text{ d}^{-1}$ e $k_{0,2\text{mm}} = 0,010 \text{ d}^{-1}$) foram maiores do que os valores mais altos de *Erythroxyllum* ($k_{\text{high}} = 0,016 \text{ d}^{-1}$ e $k_{12\text{mm}} = 0,008 \text{ d}^{-1}$), sugerindo que a estrutura e composição foliar podem influenciar nas suas taxas de processamento. Tanto a cerca elétrica quanto os sacos com diferentes malhas tinham como objetivo excluir diferentes grupos de animais de acordo com seu tamanho e assim testar o efeito deles no processo. Conseguimos excluir os camarões das cercas com choque fraco e forte, assim como nos sacos com 2 e 0,2mm. Os insetos também foram menos abundantes na cerca com choque forte e nos sacos com 0,2mm, com exceção dos quironomídeos, conforme o esperado. Porém, mesmo tendo encontrado uma maior abundância de animais coletados nos sacos, nossos resultados mostraram que a taxa de processamento das folhas de ambas as espécies foi retardada quando utilizamos como metodologia sacos com diferentes malhas. Apesar de ser um método comumente utilizado em experimentos de processamento foliar, as malhas impedem trocas entre a parte interna e o meio externo, reduzem o fluxo de água e tendem a acumular sedimento dentro dos sacos (Wallace e Webster 1996; Pringle et al. 1999). Esses fatores podem ter contribuído para a menor taxa de processamento utilizando essa metodologia. O uso das cercas elétricas, por outro lado, além de evitar os efeitos de artefato, permite avaliar o efeito dos animais em sua densidade natural (Pringle et al., 1999), já que os sacos muitas vezes se tornam refúgio para alguns animais. Durante o nosso experimento observamos que alguns animais (principalmente o camarão *Potimirim* e alguns efemerópteros) são atraídos pelos sacos, ficando aderidos à malha inclusive pelo lado de fora dos sacos.

No experimento com cercas elétricas com a espécie *Erythroxyllum* foi possível identificar um efeito de cascata trófica provocada pelos camarões, onde na sua ausência (tratamento com choque fraco) houve uma maior atividade de insetos aquáticos e uma maior taxa de processamento das folhas, enquanto que na sua presença os insetos apresentaram menor abundância, apesar de não significativa, e a taxa de processamento também foi significativamente menor. Moulton et al (2004)

mostraram que durante a noite, quando há um aumento na atividade de *Macrobrachium*, os efemerópteros tendem a se esconder, o que não acontece quando os camarões são excluídos com o choque. Esse fato nos mostra que apesar de no nosso experimento os efemerópteros estarem em uma abundância similar nos tratamentos controle e fraco, eles podem ter seu período de atividade reduzido na presença dos camarões, tornando a taxa de decomposição menor na cerca controle. Esse efeito negativo de macroconsumidores sobre os insetos aquáticos também tem sido encontrado em diversos outros trabalhos (Usio, 2000; Schofield et al. 2008; Silveira e Moulton, 2000; Moulton et al., 2004), porém Mancinelli et al (2013) mostraram que esse efeito negativo geralmente não gera um efeito de cascata trófica.

Estudos em riachos tropicais têm documentado a escassez de insetos fragmentadores (Rosemond et al., 1998; Dobson et al., 2002; Gonçalves et al., 2006) e alguns apontam os macroconsumidores como fragmentadores (Usio, 2000; Landeiro et al., 2008; Cogo, 2013). No nosso estudo, de acordo com as classificações de GFA utilizadas, poucos fragmentadores foram encontrados. Um recente trabalho realizado no Córrego da Andorinha utilizando a técnica de isótopos estáveis mostrou que em dois diferentes trechos a montante do nosso sítio de estudo, Leptophlebiidae assimilou tanto material autóctone (algas) quanto alóctone (material vegetal terrestre), porém com predomínio na assimilação de material alóctone (Neres-Lima et al., submetido). Leptophlebiidae geralmente são classificados como raspadores (Baptista et al. 2006; Cheshire et al. 2005), alimentando-se do perifíton presente na superfície de substratos minerais e orgânicos (Wallace e Webster, 1996). Trabalhos realizados na Austrália e no Panamá (Cheshire et al., 2005 e Camacho et al., 2009) e na Malásia (Yule et al., 2009) analisando o conteúdo estomacal dos animais, têm mostrado que insetos aquáticos que geralmente não são classificados como fragmentadores em riachos temperados, podem estar processando o material alóctone em riachos tropicais.

Ao contrário do resultado encontrado no experimento com cercas elétricas, no experimento com sacos *Erythroxyllum* teve sua maior taxa de decaimento nos sacos com malha grossa (12mm), onde tanto os camarões como os insetos estavam presentes. Apesar de termos tido o cuidado de alinhar os sacos com a parte aberta voltada a jusante do rio para evitar diferenças na entrada e fluxo de água nos sacos com diferentes aberturas, o efeito de artefato possivelmente foi o responsável por este resultado. Por terem um potencial de abrigo, aparente atraindo alguns

animais e repelindo outros (por ex. atraindo o camarão *Potimirim* e repelindo *Macrobrachium*), o efeito da fauna não pode ser avaliada por este método de exclusão. Ao comparar processamento foliar em folhas dentro e fora de sacos, Magalhães (1998) encontrou maior abundância de animais nas folhas que estavam dentro dos sacos do que as que estavam livres. Moulton et al. (2010a) em um estudo avaliando o papel de pequenos e grandes invertebrados no processamento foliar mostraram um resultado similar ao nosso – maior processamento em malha de 12mm – e atribuíram o resultado aos invertebrados maiores. Porém o maior processamento na presença desses animais pode ser devido não apenas ao consumo direto desse material foliar, mas também pela bioturbação, uma vez que eles estão em grande quantidade, ocupando maior espaço e revirando o material em busca de presas ou de algas presentes no perifíton que se forma sobre as folhas. Durante o nosso experimento nós encontramos nos sacos de 12 mm uma alta abundância de *Potimirim*, que é classificado como herbívoro, alimentando-se principalmente de algas presentes no perifíton. Todavia, no nosso ponto de estudo, Neres-Lima (submetido) encontrou que o *Potimirim* também pode assimilar material alóctone, mesmo que em menor quantidade.

A presença de quironomídeos foi maior principalmente no tratamento com choque forte e nos sacos com malha de 0,2mm. Este padrão tem sido observado em outros trabalhos (Pringle et al., 1993; Rosemond et al., 1998; Souza et al., 2007; Landeiro et al., 2008) e pode estar relacionado ao fato de terem menor mobilidade, se tornando mais suscetíveis a ação de predadores em ambos os tratamentos (Landeiro et al., 2008; Pringle et al., 1999), e principalmente ao fato de que as folhas desses tratamentos acumularam mais sedimento, possivelmente pela ausência dos efemerópteros, proporcionando mais recurso trófico e abrigo (Souza et al., 2007).

Nós concluímos que o uso de sacos com diferentes malhas assim como as cercas que emitem pulsos elétricos são eficazes em relação à exclusão dos diferentes tamanhos de animais. Porém, o efeito de artefato causado pelos sacos pode fazer com que a taxa de processamento das folhas seja influenciada, uma vez que ela está protegida dos fatores abióticos pela malha, e que a densidade dos animais é maior dentro dos sacos do que fora deles. Essa maior densidade de animais dentro dos sacos com maior malha (12 mm), principalmente do camarão *Potimirim*, pode tê-lo levado direta e/ou indiretamente a uma maior taxa de processamento em relação aos sacos com menores malhas devido ao consumo das

folhas ou à bioturbação causada por esses animais. Todavia, esse maior acúmulo de animais dentro dos sacos não fez com que houvesse maior processamento das folhas utilizando essa metodologia, comparado à cerca elétrica. Por encontramos um resultado oposto utilizando uma metodologia que permite as folhas ficarem em uma condição mais parecida com o real, e que corrobora com outros trabalhos realizados na mesma área de estudo, nós acreditamos que os macroconsumidores não estão processando as folhas, mas sim controlando diretamente a abundância e a atividade de efemerópteros e assim, alterando indiretamente a taxa de processamento foliar.

2.7 Referências

Abelho, M. 2001. From litterfall to breakdown in streams: a review. *The Scientific World*, **1**:656-680.

Baptista, D. F., Buss, D. F. and Dias, L. G. 2006. Functional feeding groups of Brazilian Ephemeroptera nymphs: ultrastructure of mouthparts. *Ann. Limnol.*, **42**:87-96.

Benfield, E. F. Decomposition of leaf material. 2007. In: Hauer, F. R. and Lambert, G. A. 2nd ed. *Methods in Stream Ecology*. Elsevier, San Diego, C.A. pp. 711-720.

Brito, E. F., Moulton, T. P., Souza, M. L. and Bunn, S. E. 2006. Stable isotope analysis indicates microalgae as the predominant food resource of fauna in a coastal forest stream, south-east Brazil. *Austral Ecology*, **31**:623-633.

Camacho, R., Boyero, L., Cornejo, A., Ibañez, A. and Pearson, R. G. 2009. Local variation in shredder distribution can explain their oversight in Tropical stream. *Biotropica*, **41**:625-632

Canhoto, C. and Graça, M. A. S. 1996. Decomposition of *Eucalyptus globulus* leaves and three native leaf species (*Alnus glutinosa*, *Castanea sativa* and *Quercus faginea*) in a Portuguese low order stream. *Hydrobiologia*, **333**:79-85.

Cheshire, K., Boyero, L. and Pearson, R. G. 2005. Food webs in tropical Australian streams: shredders are not scarce. *Freshwater Biology*, **50**:748-769.

Cogo, G. B. and Santos, S. 2013. The role of aeglids in shredding organic matter in neotropical streams. *Journal of Crustacean Biology*, **33**:519-526.

Cogo, G. B., Biasi, C. and Santos, S. 2014. The effect of the macroconsumer *Aegla longirostri* (Crustacea, Decapoda) on the invertebrate community in a subtropical stream. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **26**:143-153.

Cotrufo, M. F., Ngao, J., Marzaioli, F., and Piermatteo, D. 2010. Inter-comparison of methods for quantifying leaf litter decomposition rates. *Plant and Soil*, **334**:365–376

Coughlan, F. J., Pearson, R. G. and Boyero, L. 2010. Crayfish process leaf litter in tropical stream even when shredding insects are common. *Marine and Freshwater Research*, **61**:541-548

Dobson, M., Magana, A., Mathooko, J. M. and Ndegwa, F. K. 2002. Detritivores in Kenyan highland streams: more evidence for the paucity of shredders in the tropics? *Freshwater Biology*, **47**:909–919.

Gonçalves, J. F., Graça, M. A. F. and Callisto, M. 2006. Leaf-litter breakdown in 3 streams in temperate, Mediterranean, and tropical Cerrado climates. *Journal of the North American Benthological Society*, **24**:344–355.

Gonçalves, J. F. Jr.; Martins, R. T.; Ottoni, B. M. P. and Couceiro, S. R. M. 2013. Uma visão sobre a decomposição foliar em sistemas aquáticos brasileiros. In: Hamada, N., Nessimian, J. L. and Querino, R. B.. (Org.). *Insetos Aquáticos na Amazônia Brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. 1ed. Manaus: Editora do INPA, 2014, v. I, p. 89-116.

Graça, M. A. S. 2001. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams – a review. *Internat. Rev. Hydrobiol*, **86**:383-393

Henriques-Oliveira, A. L. and Nessimian, J. L. 2010. Spatial distribution and functional feeding groups of aquatic insect communities in Serra da Bocaina streams, southeastern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, **22**:424-441.

Irons, J. G., Oswood, M.W., Stout, R. J. and Pringle, C. M. 1994. Latitudinal patterns in leaf litter breakdown: is temperature really important? *Freshwater Biology*, **32**:401-411.

Landeiro, V. L., Hamada, N. and A. S. Melo, A. S. 2008. Responses of aquatic invertebrate assemblages and leaf breakdown to macroconsumer exclusion in Amazonian "terra firme" streams. *Fundamental and Applied Limnology*, **172**:49-58.

Lourenço-Amorim, C.; Neres-Lima, V.; Moulton, T. P.; Sassada-Sato, C. Y.; Oliveira-Cunha, P. and Zandonà, E. 2014. Control of periphyton standing crop in an Atlantic Forest stream: the relative roles of nutrients, grazers and predators. *Freshwater Biology*, **59**: 2365-2373.

Magalhães-Fraga, S. A. P. 1998. Decomposição e fauna associada em folhas de *Myrciariastrata* De Candolle e *Piper divaricatum* Meyer, em dois rios da Ilha Grande, RJ. Masters thesis. Pós-graduação em Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

Mancinelli, G., Sangiorgio, F. and Scalzo, A. 2013. The effect of decapod crustacean macroconsumers on leaf detritus processing and colonization by invertebrates in stream habitats: A meta-analysis. *International Review of Hydrobiology*, **98**:206-216.

March, J. G., Benstead, J. P., Pringle, C. M. and Ruebel, M. W. 2001. Linking shrimp assemblages with rates of detrital processing along an elevational gradient in a tropical stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **58**:470-478.

Marshal, M. C., Binderup, A. J., Zandonà, E., Goutte, S., Bassar, R. D., El-Sabaawi, R. W., Thomas, S. A., Flecker, A. S., Kilham, S. S., Reznick, D. N. and Pringle, C. M. 2012. Effects of consumer interactions on benthic resources and ecosystem processes in a Neotropical stream. *Plos One*, **7**:E45230.

Mathuriau, C. and Chauvet, E. 2002. Breakdown of leaf litter in a neotropical stream. *Journal of the North American Benthological Society*, **21**:384–396.

Merritt, R. W., Cummins, KW. and Andrade, P. C. N. 2005. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in southeast Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environmental*, **40**:71-90.

Moretti, M., Gonçalves Jr., J. F. and Callisto, M. 2007a. Leaf breakdown in two tropical streams: differences between single and mixed species packs. *Limnologica*, **37**:250-258

Moulton, T. P., Souza, M. L., Silveira, R. M. L. and Krsulovic, F. A. M. 2004. Effects of ephemeropterans and shrimps on periphyton and sediments in a coastal stream (Atlantic forest, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of the North American Benthological Society*, **23**:868-881.

Moulton, T. P., Magalhães-Fraga, S. A. P., Brito, E. F. and Barbosa, F. A. 2010a. Macroconsumers are more important than specialist macroinvertebrate shredders in leaf processing in urban forest stream of Rio de Janeiro, Brazil. *Hydrobiologia*, **638**:55-66.

Moulton, T. P., M. L. Souza, R. M. L. Silveira, F. A. M. Krsulović, M. P. Silveira, J. C. F. d. Assis, and C. N. Francischetti. 2010b. Patterns of periphyton are determined by cascading trophic relationships in two neotropical streams. *Marine and Freshwater Research*, **61**:57-64.

Moulton, T. P.; Lourenço-Amorim, C.; Sasada-Sato, C. Y.; Neres-Lima, V. and Zandonà, E. 2015. Dynamics of algal production and ephemeropteran grazing of periphyton in a tropical stream. *International Review of Hydrobiology*, **99**:1-8.

Mugnai, R., Nessimian, J. L. and Baptista, D. F. 2010. *Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro*: Technical Books. 174 p.

Neres-Lima, V, Brito, E. F., Krsulović, F. A. M., Detweiler, A. M., Hershey, A. E. and Moulton, T. P. (*submitted*). The importance of autochthonous vs. Allochthonous basal food sources to the food web of a tropical stream along a shading and altitudinal gradient. *International Review of Hydrobiology*.

Oliveira, V. C., Gonçalves, E. A. and Alves, R. G. 2014. Colonization of leaf litter by aquatic invertebrates in an Atlantic Forest stream. *Braz. J. Biol.*, **74**:267-273

Pringle, C. M., Blake, G. A., Covich, A. P., Buzby, K. M. and Finlay, A. 1993. Effects of omnivorous shrimp in a montane tropical stream: sediment removal, disturbance of sessile invertebrates and enhancement of understory algal biomass. *Oecologia*, **93**:1-11.

Pringle, C. M. and Blake, G. A. 1994. Quantitative effects of atyid shrimp (Decapoda: Atyidae) on the depositional environment in a tropical stream: Use of electricity for experimental exclusion. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **51**:1443-50.

Pringle, C. M. and Hamazaki, T. 1997. Effects of fishes on algal response to storms in a tropical stream. *Ecology*, **78**: 2432-2442.

Pringle, C. M. and Hamazaki, T. 1998. The role of omnivory in a neotropical stream: separating diurnal and nocturnal effects. *Ecology*, **79**:269-280.

Pringle, C. M., Hemphill, N., McDowell, W. H., Bednarek, A. and Marsh, J. G. 1999. Linking species and ecosystems: different biotic assemblages cause instream differences in organic matter. *Ecology*, **80**:1860-1872.

Rezende, F. C. & Mazzoni R. (2005) Seasonal variation in the input of allochthonous matter in an Atlantic rain forest stream, Ilha Grande-RJ. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **17**:167–75.

Rosemond, A. D., Pringle, C. M. and A. Ramírez, 1998. Macroconsumer effects on insect detritivores and detritus processing in a tropical stream food web. *Freshwater Biology*, **39**:515-524.

Schofield, K. A., Pringle, C. M. and Meyer, J. L. 2004. Effects of increased bedload on algal- and detrital- based stream food webs: Experimental manipulation of sediment and macroconsumers. *Limnology and Oceanography*, **49**:900-909.

Schofield K. A., Pringle C. M., Meyer J. L. and Rosi-Marshall, E. J. 2008. Functional redundancy of stream macroconsumers despite differences in catchment land use. *Freshwater Biology*, **53**:2587-2599.

Silveira, R. M. L. and Moulton, T. P. 2000. Modelling the food web of a stream in Atlantic forest. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **12**:63-71.

Souza, M. L., Moulton, T. M., Krsulovic, F. A. M. and Brito, E. F. 2007. Responses of Chironomidae (Diptera; Insecta) to the exclusion of shrimps and Ephemeroptera in a coastal forest stream, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal Biology*, **67**:47-5.

Usio, N. 2000. Effects of crayfish on leaf processing and invertebrate colonization of leaves in a headwater stream: decoupling of a trophic cascade. *Oecologia*, **124**:608-614.

Wallace, J. B. and Webster, J. R., 1996. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Entomology*, **41**:115-139.

Webster J. R., and Benfield, E. E. 1986. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **17**:567-594.

Yule, C. M., Leong, M. Y., Liew, K. C., Ratnarajah, L. and Schmidt, K., et al. 2009. Shredders in Malaysia: abundance and richness are higher in cool upland tropical streams. *Journal of the North American Benthological Society*, **28**:404–415.

APÊNDICE - Local de estudo e metodologias

A - Foto do local de estudo



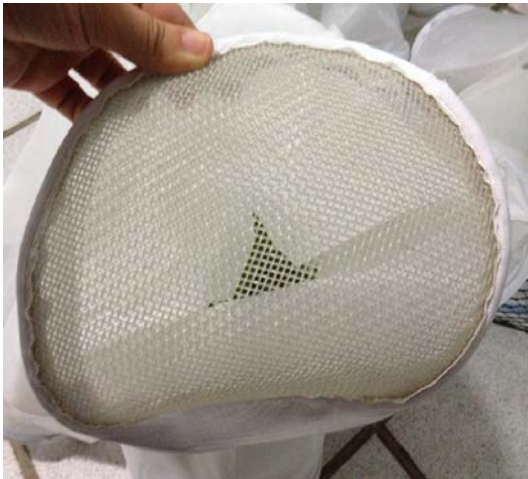
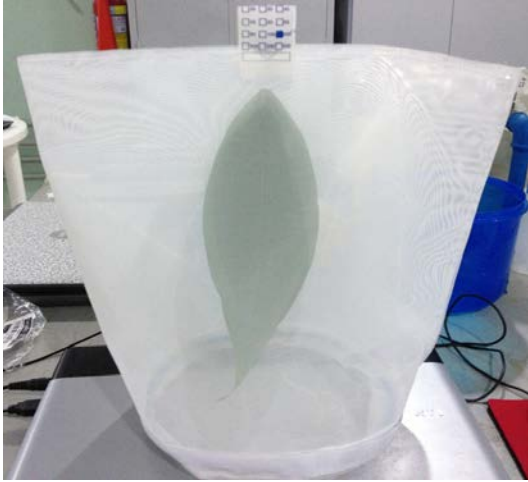
Legenda: Foto do trecho logo acima da cachoeira Mãe D'Água. Os círculos vermelhos indicam os locais onde as cercas elétricas e os sacos foram colocados.

B - Foto da cerca elétrica



Legenda: Cerca elétrica feita com tubos de PVC com os pacotes de folhas presos às cordas de nylon.

C - sacos com diferentes malhas



Legenda: Todos os sacos tinham malha 0,2mm na parte lateral (1) e mudavam apenas a malha da base do saco: 0,2mm (C2), 2mm (C3) e 12mm (C4).

D - Cercas elétricas e sacos



Legenda: Foto de um bloco com cercas elétricas e sacos com diferentes malhas.