



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA  
DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

ENDREL DE AZEVEDO GODOI

**O desempenho de duas espécies de macrófitas emergentes congêneres  
(*Polygonum*) sob influência de nutriente e competição**

Maringá  
2020

ENDREL DE AZEVEDO GODOI

**O desempenho de duas espécies de macrófitas emergentes congêneres  
(*Polygonum*) sob influência de nutriente e competição**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia.  
Área de concentração: Ecologia e Limnologia

Orientador: Prof. Dr. Sidinei Magela Thomaz  
Coorientador: Dr. Márcio José da Silveira

Maringá  
2020

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"  
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

G588d

Godoi, Endrel de Azevedo, 1995-

O desempenho de duas espécies de macrófitas emergentes congêneres (*Polygonum*) sob influência de nutriente e competição / Endrel de Azevedo Godoi. -- Maringá, 2020. 25 f. : il. (algumas color.).

Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-- Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Sidinei Magela Thomaz.

Coorientador: Dr. Márcio José da Silveira.

1. Macrófitas emergentes congêneres (*Polygonum*) - Ecologia - Competição. 2. Macrófitas emergentes congêneres (*Polygonum*) - Ecologia - Nutrientes. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -583.571783

ENDREL DE AZEVEDO GODOI

**O desempenho de duas espécies de macrófitas emergentes congêneres  
(*Polygonum*) sob influência de nutriente e competição**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia e aprovada pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Sidinei Magela Thomaz  
Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Londrina (UTFPR)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karina Fidanza Rodrigues  
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Aprovada em: 28 de maio de 2020.

Realizado em *home office*, via acesso remoto por videoconferência pelo aplicativo Google Meet, no endereço eletrônico [meet.google.com/thq-vbao-axt](https://meet.google.com/thq-vbao-axt)

Dedico a todos aqueles que,  
de uma forma ou de outra, me  
ajudaram a trilhar os  
caminhos que eu escolhi  
trilhar

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que foram forças importantes que me concederam o privilégio da educação.

Agradeço a minha família, que sempre se mostrou interessada nas coisas que eu fazia.

Agradeço aos meus amigos, que muitas vezes sofreram minha ausência em função do mestrado.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Sidinei Magela Thomaz, pela grandiosa oportunidade de compartilhar dos seus conhecimentos. Que me abriu as portas no TCC e no mestrado. Agradeço pela excelente formação científica, pelas conversas bem-humoradas, pela visão de mundo, pelas reflexões, pela atenção, pela paciência e por tudo que não nomeei. É inspiração! Obrigado.

Agradeço ao meu co-orientador e conterrâneo Dr. Márcio José da Silveira, com quem troquei muitas conversas, sobre ciência e sobre o dia-a-dia, sobre as idéias que eu sempre tinha, pela ajuda essencial nesse mestrado, pela paciência, pelas piadas e por toda ajuda que deixei de nomear. Obrigado!

Agradeço ao pessoal Laboratório de Macrófitas Aquáticas, que me recebeu de forma tão bacana e me ajudou sempre que precisei. Em especial: ao Mário, que me ajudou no início do experimento e me sanou algumas dúvidas; à Raytha, sempre com disposição a me ajudar nas dúvidas; à Dani, que me deu valiosas ajudas que para mim foram verdadeiras aulas; ao Rodrigo, que além de trocar informações sobre os experimentos e as análises, cuidou do meu experimento quando eu não podia, e foi essencial nessa caminhada; à Mikaella, que ajudou indiretamente na dissertação; e a todos aqueles que forneceram horas agradáveis no laboratório.

Agradeço à equipe do NUPELIA e PEA pela estrutura administrativa, física, humana, enfim, que se mostram sempre dispostos a ajudar.

Agradecimento especial a minha amiga Denise, que me ajudou na montagem do experimento e me deu algumas horas boas de conversas e caronas. Você é valiosa!

Agradecimento especial à minha amiga Thaisa, que me ajudou na montagem do experimento, na desmontagem, e que me ouviu sempre. Você é valiosa!

Agradeço à Universidade Estadual de Maringá, e, por extensão, ao povo paranaense.

E por fim, agradeço ao CNPq, e por extensão ao povo brasileiro, pelo financiamento.

## O desempenho de duas espécies de macrófitas emergentes congêneres (*Polygonum*) sob influência de nutriente e competição

### RESUMO

Os ambientes aquáticos são conhecidos por apresentarem diferença espaço-temporal na concentração de nutrientes. Ademais, outros processos também interferem na dinâmica das comunidades de macrófitas aquáticas, como a competição interespecífica. Analizou-se o desempenho de duas espécies de macrófitas emergentes, sendo *Polygonum ferrugineum* e *Polygonum acuminatum*, sob influência da presença de competidor e da variação de nutriente. Realizou-se um experimento no qual fragmentos caulinares de cada espécie foram plantados em monocultura e cultura mista e submetidos a dois tratamentos de nutriente: baixo e alto. O experimento durou 60 dias. Os parâmetros mensurados bem como o índice de competição relativa (RCI) foram analisados por meio da ANOVA bifatorial por permutação com dois fatores fixos (nutriente e espécie). Os parâmetros altura e biomassa (aérea, radicular e total) diferenciaram-se entre as espécies. Nos parâmetros de biomassa houve diferença entre os nutrientes. A taxa de crescimento relativo indicou diferença entre as concentrações de nutrientes. Interação entre os fatores foi observada para altura e proporção raiz:parte aérea. Para o RCI não foi observado diferença significativa para nenhum parâmetro. O desenvolvimento dos indivíduos não foi afetado pela presença de competidor. *P. ferrugineum* desenvolveu maior quantidade de biomassa que *P. acuminatum*. Entretanto, as taxas de crescimento entre as espécies não diferiram, indicando não haver vantagem competitiva da primeira sobre a segunda espécie. Em relação aos nutrientes, em condições de alta quantidade de nutrientes, os parâmetros mensurados apresentaram valores maiores, mas a diferença não foi exacerbada. Em condições de baixo nutriente, a espécie *P. ferrugineum* desenvolveu valores maiores, indicando plasticidade fenotípica no ajuste da porção radicular, afim de encontrar e absorver mais nutrientes. Contudo, não se configura vantagem competitiva, uma vez que o RCI não a expressa. Logo, a presença de competidor, a variação de nutrientes e a interação desses dois fatores não explicam a distribuição das espécies nos ambientes aquáticos e nem a dominância de *P. ferrugineum* sob *P. acuminatum* na distribuição.

**Palavras-chave:** Nutriente. Competição. Macrófitas emergentes. Experimento.

## **The performance of two congener emerging macrophyte species (Polygonum) under nutrient influence and competition**

### ***ABSTRACT***

Aquatic environments are known to present a spatio-temporal difference in nutrient concentration. Furthermore, other processes also interfere in the dynamics of aquatic macrophyte communities, such as interspecific competition. The performance of two species of emerging macrophytes, *Polygonum ferrugineum* and *Polygonum acuminatum*, was analyzed under the influence of the presence of competitor and nutrient variation. An experiment was carried out in which stem fragments of each species were planted in monoculture and mixed culture and submitted to two nutrient treatments: low and high. The experiment lasted 60 days. The measured parameters as well as the relative competition index (RCI) were analyzed using two-way ANOVA by permutation with two fixed factors (nutrient and species). The height and biomass parameters (aerial, root and total) were different among the species. In the biomass parameters there was a difference between the nutrients. The relative growth rate indicated a difference between the nutrient concentrations. Interaction between the factors was observed for height and root:shoot ratio. For the RCI, no significant difference was observed for any parameter. The development of individuals was not affected by the presence of a competitor. *P. ferrugineum* developed a greater amount of biomass than *P. acuminatum*. However, the growth rates between the species did not differ, indicating that there is no competitive advantage of the first species over the second species. Regarding nutrients, under conditions of high amount of nutrients, the parameters measured showed higher values, but the difference was not exacerbated. Under low nutrient conditions, the species *P. ferruginum* developed higher values, indicating phenotypic plasticity in the adjustment of the root portion, in order to find and absorb more nutrients. However, there is no competitive advantage, since the RCI does not express it. Therefore, the presence of competitors, the variation of nutrients and the interaction of these two factors do not explain the distribution of species in aquatic environments nor the dominance of *P. ferrugineum* over *P. acuminatum* in the distribution.

**Keywords:** Nutrients. Competitin. Emergent Macrophytes. Experiment.



# Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
2.1 Material vegetal.....	10
2.2 Delineamento experimental .....	11
2.3 Parâmetros mensurados.....	11
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>13</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>20</b>
APÊNDICE A - Regressão linear simples para determinação de peso inicial.....	24
APÊNDICE B - Imagens da realização do experimento na casa de vegetação.....	25
APÊNDICE C - Esquema do design experimental do trabalho .....	25

## 1 INTRODUÇÃO

Os ambientes aquáticos são conhecidos por apresentarem habitats com diferentes concentrações de matéria orgânica e nutrientes no sedimento (Fasoli et al., 2015; Silveira & Thomaz, 2015). A variação nessas concentrações decorre da dinâmica desses ambientes, tendo como exemplos o regime de cheia, que propicia aportes de nutrientes por origens alóctones, ou atividades antrópicas, como por exemplo descarga de dejetos nos corpos hídricos e represamento de rios. A descarga em excesso de dejetos causa eutrofização e propicia o desenvolvimento de plantas aquáticas com altas taxas de crescimento e elevado potencial invasor (Meza-Lopez & Siemann, 2017). O represamento de rios, por sua vez, provoca a oligotrofização dos ambientes a jusante, e o acúmulo de nutrientes no reservatório (Agostinho et al., 2004; Agostinho et al., 1995; Santos et al., 2018; Penczak et al., 2009). Seja de forma natural ou artificial, a variação das concentrações de nutrientes e de matéria orgânica é um fator importante na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, influenciando a distribuição de populações e a estrutura das comunidades de macrófitas (Schneider et al., 2015).

Além da variação das concentrações de nutrientes, outros processos também apresentam importância na dinâmica dos organismos no ambiente. Um exemplo é a competição interespecífica, que influencia a dinâmica populacional e conseqüentemente a estrutura das comunidades (Goldberg e Barton, 1992; Hart & Marshall, 2013; Bruno et al., 2017). A competição interespecífica é um mecanismo importante, visto que está relacionada basicamente com aquisição de recursos e a qual espécie o faz da melhor maneira (Fleming e Dibble, 2015). Sendo assim, o recurso em questão pode interferir na competição. Se há competição por esse recurso, haverá interferência no desenvolvimento dos organismos e, por conseqüência, na distribuição espacial e temporal das espécies nos ecossistemas. No mais, espera-se que a competição seja mais intensa entre plantas com mesmo tipo biológico e que desempenham funções semelhantes (Gopal e Goel, 1993).

Visando testar os efeitos dos nutrientes no sedimento e da competição interespecífica sobre o desempenho de macrófitas, foram utilizadas *Polygonum acuminatum* Kunth e *Polygonum ferrugineum* Wedd. Estas espécies Ambas as espécies são macrófitas emergentes, habitantes de solos úmidos e brejos, nativas da América Central e do Sul, onde são amplamente distribuídas, principalmente nas zonas quentes, e são consideradas ervas daninha em cultivos de arroz (Cialdella, 1989). Segundo dados de

ocorrência de espécies do gênero *Polygonum* para o alto Rio Paraná, *P. ferrugineum* e *P. acuminatum* são as espécies mais dominantes, sendo que a primeira registrou presença em 70% dos ambientes amostrados e a segunda foi registrada em 30% dos pontos amostrados (Souza *et al.*, 2017). Com isso, avaliar o desempenho das macrófitas (por exemplo, crescimento e desenvolvimento) é importante para entender quais fatores influenciam o estabelecimento dessas espécies, considerando os gradientes de nutrientes presentes nos corpos aquáticos bem como a presença de competidores nesses ambientes.

Desse modo, considerando a variação espaço-temporal na concentração de nutrientes e a interação competitiva interespecífica como fatores de influência na distribuição de espécies bem como a interação entre esses dois fatores, os objetivos desse trabalho foram: analisar o desempenho de *P. ferrugineum* e *P. acuminatum* sob influência da interação competitiva e da variação de nutrientes no sedimento, identificando qual fator tem mais influência no desenvolvimento dessas espécies: a disponibilidade de nutrientes no sedimento, a competição ou a interação de ambos os fatores. Testamos a hipótese de que *P. ferrugineum* tem desempenho melhor, quando em competição com *P. acuminatum*, independentemente do teor de nutrientes presente no sedimento, tendo base na sua maior abundância na planície do Alto Rio Paraná (Souza *et al.*, 2017). Para testar essa hipótese, empregamos uma abordagem experimental na qual foi possível avaliar o desempenho das espécies frente aos fatores de estresse (por exemplo diferentes concentrações de nutrientes e presença de competidor) e a influência desses fatores no crescimento e desenvolvimento dessas espécies.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Material vegetal**

Caules de *P. ferrugineum* e *P. acuminatum* foram coletados na Lagoa das Garças, localizada na planície de inundação do alto Rio Paraná no dia 24 de janeiro de 2019 (53°15' - 53°25' W). As folhas e raízes adventícias foram retiradas, permanecendo somente fragmentos caulinares constituídos de dois nós. Os fragmentos foram colocados para germinar em bandejas plásticas (50 cm x 50 cm) com sedimento úmido sem acréscimo de nutrientes em uma casa de vegetação na Universidade Estadual de Maringá. A etapa de germinação durou 15 dias, até que as plântulas enraizassem. Para que a taxa relativa de crescimento pudesse ser calculada posteriormente (ver abaixo), as plântulas (fragmentos germinados) tiveram peso, altura e comprimento caulinar aferidos

previamente ao transplante para as unidades amostrais. 10 plântulas de cada espécie foram utilizadas para determinar a biomassa seca inicial dos fragmentos. Essas plântulas foram embaladas e secadas em estufa a 60°C até atingirem peso constante.

## 2.2 Delineamento experimental

Todos os tratamentos foram realizados em baldes plásticos (APÊNDICE B). Nos tratamentos, foram simulados dois tipos de ambientes: com maior disponibilidade de nutrientes (doravante +NUT) e ambiente com menor disponibilidade do mesmo recurso (controle, sem adição de nutrientes, doravante -NUT). Para essas simulações, foram utilizados 10 kg de terra em cada balde e a variação de nutrientes ficou restrita ao sedimento, sendo previamente acrescido à simulação de ambiente rico em nutriente 25 g de fertilizante NPK. Na simulação de ambiente com menor disponibilidade de nutrientes não foi adicionado nutrientes. Para cada ambiente simulado, foram realizadas três situações: monocultura de *P. acuminatum*, monocultura de *P. ferrugineum* e policultura com ambas as espécies. A densidade de indivíduos por balde permaneceu a mesma. Foram 4 indivíduos por unidade amostral, sendo 4 da mesma espécie nas situações de monocultura, e 2 de cada espécie nas situações de policultura, conforme desenho experimental elaborado e utilizado por De Wit (1960) e Murillo *et al.* (2019). Foram elaborados 6 tratamentos, três com adições de nutrientes NUT e três sem adição -NUT: i) monocultura de *P. acuminatum* + NUT; ii) monocultura de *P. ferrugineum* + NUT; iii) policultura com ambas as espécies + NUT; iv) monocultura de *P. acuminatum* -NUT; v) monocultura de *P. ferrugineum* -NUT; vi) policultura com ambas as espécies -NUT (ANEXO C). Cada tratamento foi replicado 10 vezes. Os baldes foram dispostos de modo aleatório na casa de vegetação.

O acréscimo de nutrientes foi feito com base no intuito de simular dois ambientes com diferença de concentração de nutrientes. Nesse sentido, os 25 gramas de NPK acrescentados nas unidades amostrais que simulam ambiente rico em nutrientes são suficientes para diferenciar os tratamentos.

## 2.3 Parâmetros mensurados

Após 60 dias do início do experimento, tempo suficiente para o estabelecimento das plantas (indicado pela floração dos indivíduos), as mesmas foram removidas do

sedimento, lavadas e tiveram as seguintes medidas aferidas: comprimento do caule, biomassa da parte aérea e biomassa das raízes. Também foram calculadas a biomassa total (raízes + parte aérea), a proporção raiz:parte aérea, de modo a demonstrar a alocação de recursos dos indivíduos frente às diversas situações, e a taxa de crescimento relativo (TCR). Esta última medida foi utilizada visando padronizar as análises e eliminar a eventual influência da biomassa inicial sobre o crescimento das plantas. Usamos a fórmula  $(\ln M_f - \ln M_i) / \Delta t$ , onde;  $\ln$  = logaritmo natural;  $M_f$  = biomassa seca final;  $M_i$  = biomassa seca inicial estimada por regressão linear obtida a partir de fragmentos iniciais extras e  $\Delta t$  = número de dias em que o experimento ocorreu (Raford, 1967; Hunt, 1990). A fim de homogeneizar a variância dos dados, os parâmetros mensurados foram log-transformados ( $\log_{10}(x)$ , ou, em caso de  $x = 0$ ,  $\log_{10}(x+1)$ ) (Cavalcanti, 2019).

Para avaliar o crescimento e o desenvolvimento das espécies em ambas as concentrações de nutrientes, foram analisados somente os dados da monocultura. Essa abordagem foi adotada visando evitar um possível fator de confundimento (presença de competidor) na análise dos resultados. Para avaliar o desempenho das espécies frente à competição, foi empregado o índice de competição *RCI* (Weigelt & Jolliffe, 2003) que é obtida para cada espécie a partir do cálculo da fórmula:  $RCI = (Y_{mono} - Y_{mix}) / Y_{mono}$ , onde;  $Y_{mix}$  = variável resposta de uma espécie em situação de policultura;  $Y_{mono}$  = variável resposta da mesma espécie em situação de monocultura. O índice obtido nesta fórmula expressa o desenvolvimento da espécie de acordo com a competição e indica os seguintes valores: se a média do  $RCI = 0$ , a competição não influencia o desempenho da planta; se a média do  $RCI < 0$ , a planta tem performance melhor na presença de um competidor (facilitação); e se a média do  $RCI > 0$ , a planta tem um crescimento melhor em monocultura.

O efeito das espécies, da concentração de nutrientes, bem como a interação destes dois fatores no desenvolvimento das espécies e no índice de competição (*RCI*) foi analisada por meio de uma ANOVA bi-fatorial por permutação com dois fatores fixos (espécie e nutriente). A abordagem por permutação se fez necessária uma vez que os dados obtidos e os calculados não alcançaram o pressuposto de homocedasticidade. Para os resultados com interação significativa entre os fatores, foram realizados testes *post-hoc* de Tukey. Para análise do experimento e obtenção dos gráficos foram utilizados o ambiente R (R Core Team, 2016). Para cálculo do *post-hoc* de Tukey, foi utilizado o software Statistica 7.1 (StatSoft, Inc., 2005).

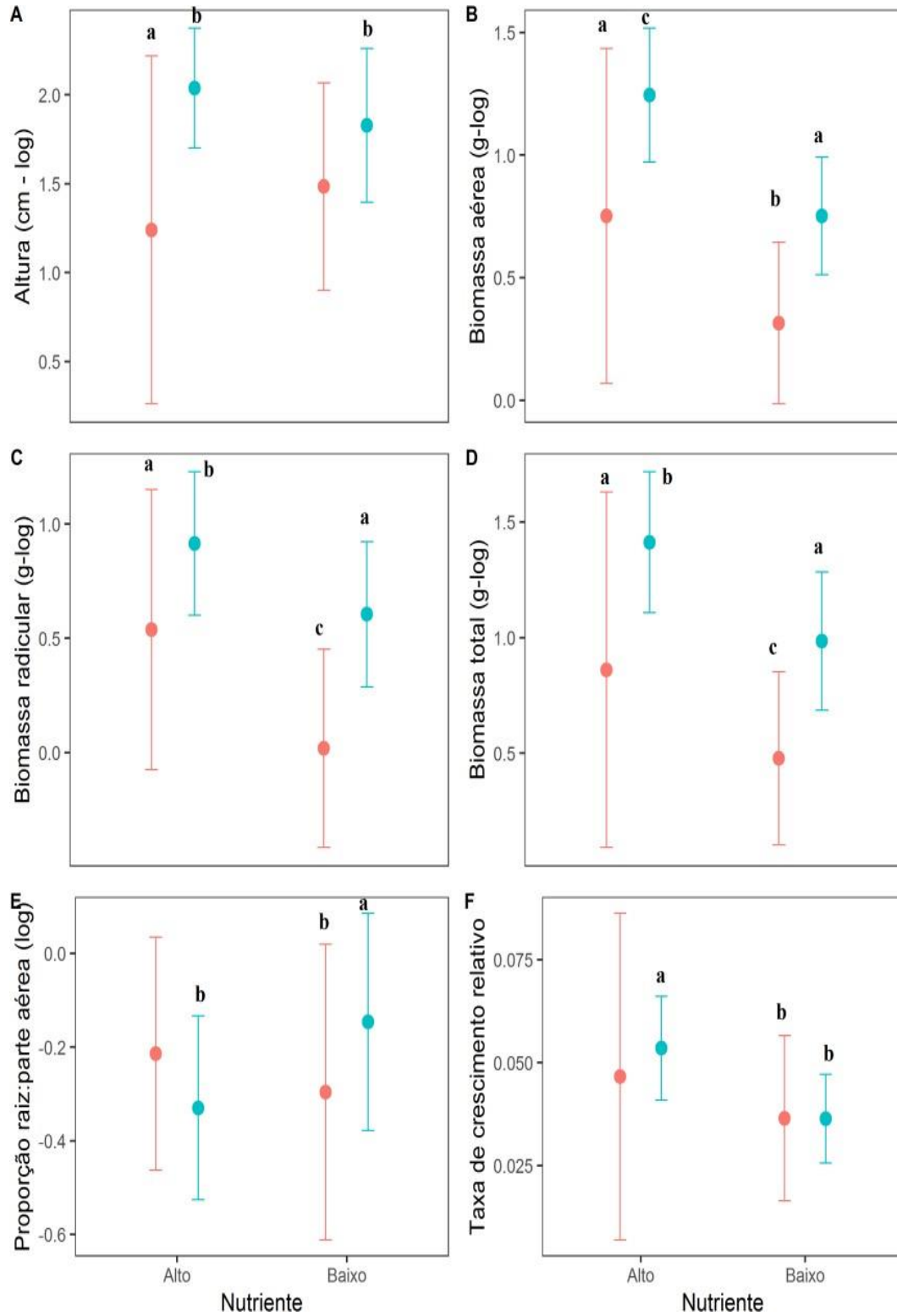
### 3 RESULTADOS

Foi observado efeito significativo em todos os parâmetros analisados. A biomassa aérea, biomassa radicular e biomassa total apresentaram diferença significativa entre as espécies e entre os níveis de nutrientes (Tab. 1; Fig. 1). Para a altura e para proporção raiz:parte aérea houve interação significativa entre os fatores (Tab. 1; Fig. 1).

Para a altura, na qual a interação entre os fatores foi significativa, os maiores valores foram registrados para a espécie *P. ferrugineum*. Logo, em condições de alta disponibilidade de nutrientes, o teste de Tukey indica diferença significativa entre as duas espécies (Tab.1; Fig. 1A). Desse modo, fica evidenciado que a competição entre as espécies no quesito altura é dependente da concentração de nutrientes.

Para a biomassa (aérea, radicular e total), as variáveis seguiram o mesmo padrão, apresentando diferença significativa entre as espécies e entre as concentrações de nutrientes, sem registrar interação entre os fatores. Para a biomassa aérea, os maiores valores médios foram registrados nos tratamentos +NUT ( $p < 0,001$ ) e *P. ferrugineum* teve valores médios maiores que *P. acuminatum* ( $p = 0,003$ ; Tab.1; Fig. 1B). O maior desenvolvimento da biomassa radicular foi constatado nos tratamentos +NUT ( $p = 0,003$ ) e para *P. ferrugineum*, comparativamente à *P. acuminatum* ( $p < 0,001$ ; Tab.1; Fig. 1C). Na soma desses parâmetros, expresso pela biomassa total, *P. ferrugineum* mais uma vez registra os maiores valores médios ( $p = 0,002$ ). Em ambientes com alta disponibilidade de nutrientes, os valores médios de biomassa total alcançados foram maiores ( $p < 0,001$ ; Tab.1; Fig. 1D).

A proporção raiz:parte aérea não apresentou diferença significativa para os fatores nutriente e espécie. Entretanto, observa-se interação entre os fatores. O teste de Tukey indica diferença significativa entre as espécies em -NUT, com valores médios maiores para *P. ferrugineum*, e também entre as concentrações de nutriente para a espécie *P. ferrugineum*, com -NUT apresentado valores médios maiores para esta espécie ( $p = 0,002$ ; Tab.1; Fig. 1E). A taxa de crescimento relativo, por sua vez, apresentou diferença significativa somente entre as concentrações de nutrientes ( $p = 0,002$ ). Nos tratamentos com maior disponibilidade de nutrientes no sedimento, a taxa de crescimento foi maior (Tab.1; Fig. 1F).



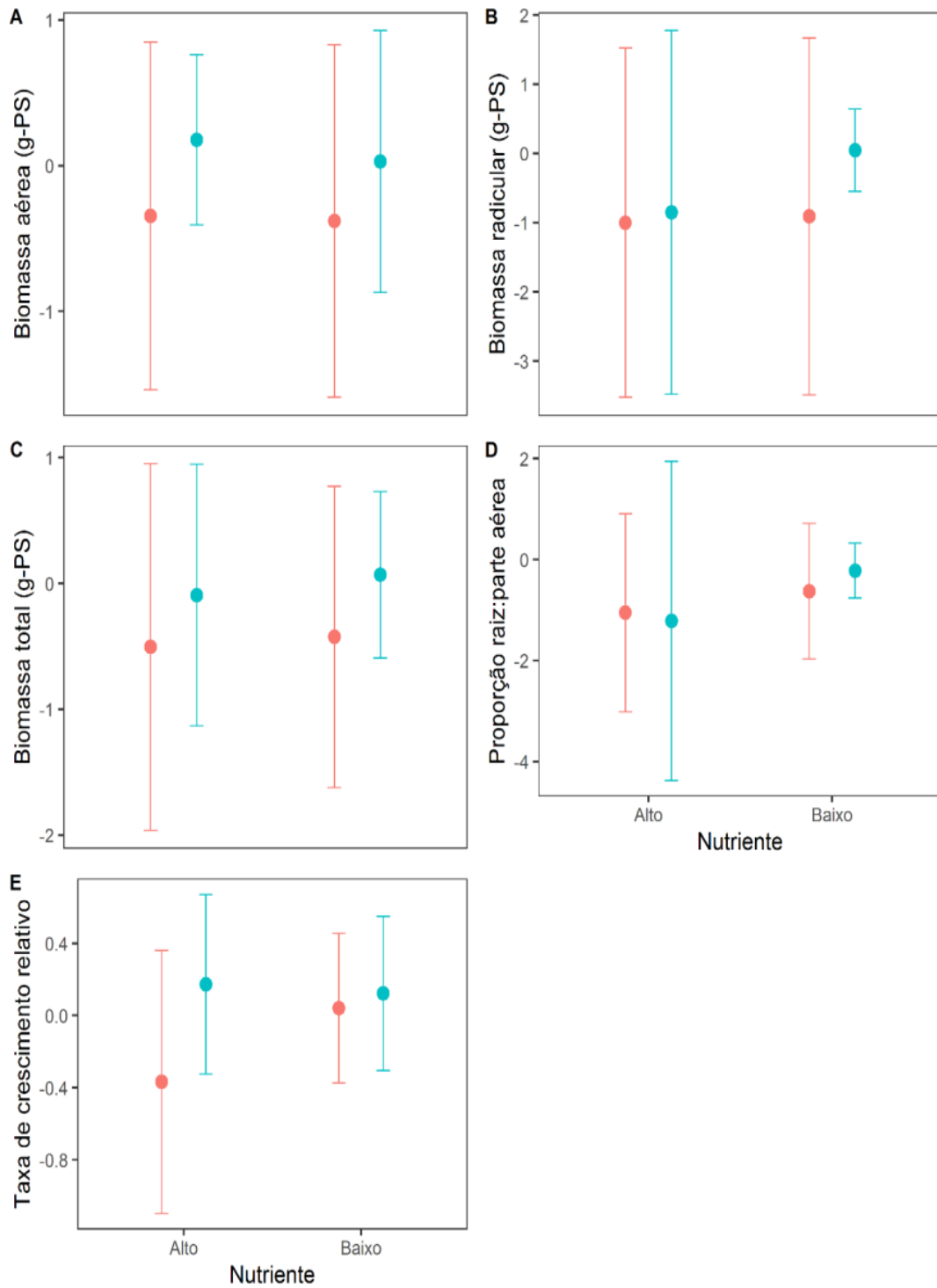
**Figura 1** – Média e desvio-padrão da altura (A), biomassa aérea (B), biomassa radicular (C), biomassa total (D), proporção raiz:parte aérea (E) e taxa de crescimento relativo (F), obtidos nas monoculturas. Barras vermelhas representam *P. acuminatum* e barras verdes representam *P. ferrugineum*. Letras acima das barras indicam diferença significativa.

**Tabela 1-** Resultado da ANOVA two-way por permutação para espécie (*P. ferrugineum* e *P. acuminatum*), concentração de nutriente (alto e baixo) e interação entre espécie e nutriente sobre as variáveis mensuradas.

<b>Parâmetro</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Altura</b>			
Espécie	1	32,67957992	<b>0,001</b>
Nutriente	1	0,02991721	0,876
Espécie x Nutriente	1	5,14689116	<b>0,02</b>
<b>Biomassa aérea</b>			
Espécie	1	48,8646903	<b>0,001</b>
Nutriente	1	48,9341824	<b>0,001</b>
Espécie x Nutriente	1	0,1766281	0,663
<b>Biomassa radicular</b>			
Espécie	1	48,703386	<b>0,001</b>
Nutriente	1	35,986124	<b>0,001</b>
Espécie x Nutriente	1	2,309641	0,126
<b>Biomassa total</b>			
Espécie	1	49,11526278	<b>0,001</b>
Nutriente	1	28,83191117	<b>0,001</b>
Espécie x Nutriente	1	0,08986051	0,767
<b>Proporção raíz:parte aérea</b>			
Espécie	1	0,1852462	0,674
Nutriente	1	1,6277660	0,22
Espécie x Nutriente	1	11,1183885	<b>0,002</b>
<b>Taxa de crescimento relativo</b>			
Espécie	1	0,8083811	0,347
Nutriente	1	13,2060420	<b>0,001</b>
Espécie x Nutriente	1	0,8693113	0,36

Analisando o índice de competição relativa (*RCI*), não observa-se diferença significativa em nenhum parâmetro analisado. Ademais, os valores desvio-padrão sobrepõe-se à linha de zero, o que permite afirmar que a presença de competidor não interfere no desempenho da outra espécie ( Tab.2; Fig. 2 A-E





**Figura 2** – Média e desvio-padrão do índice de competição (RCI) da biomassa aérea (A), biomassa radicular (B), biomassa total (C), proporção raiz:parte aérea (D) e TCR (E). Barras verdes representam a espécie *P. ferrugineum* e barras vermelhas representam a espécie *P. acuminatum*.

**Tabela 2** - Resultado da ANOVA two-way por permutação para espécie (*P. ferrugineum* e *P. acuminatum*), concentração de nutriente (alto e baixo) e interação entre espécie e nutriente sobre o índice de competição RCI calculado a partir das variáveis mensuradas.

<b>Parâmetro</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>RCI Biomassa aérea</b>			
Espécie	1	2,1453009	0,144
Nutriente	1	0,0835504	0,783
Espécie x Nutriente	1	0,0327886	0,863
<b>RCI Biomassa radicular</b>			
Espécie	1	0,6058309	0,452
Nutriente	1	0,48338	0,512
Espécie x Nutriente	1	0,3226653	0,574
<b>RCI Biomassa total</b>			
Espécie	1	1,6125117	0,22
Nutriente	1	0,1158448	0,745
Espécie x Nutriente	1	0,0131893	0,916
<b>RCI Proporção raíz:parte aérea</b>			
Espécie	1	0,0390177	0,861
Nutriente	1	1,2616089	0,328
Espécie x Nutriente	1	0,2046992	0,705
<b>RCI Taxa de crescimento relativo</b>			
Espécie	1	3,428744	0,071
Nutriente	1	1,121583	0,276
Espécie x Nutriente	1	1,8581	0,191

#### 4 DISCUSSÃO

O experimento indicou que *P. ferrugineum* desenvolve maior biomassa em relação à *P. acuminatum*. Entretanto, esse maior desenvolvimento pode ser explicado pela diferença natural de tamanho entre as espécies, uma vez que *P. ferrugineum* alcança maior estatura que a outra espécie. De fato, a taxa de crescimento relativo de ambas as espécies indica que o tamanho inicial dos propágulos foram semelhantes, o que permite inferir que a maior biomassa de *P. ferrugineum* não deve indicar uma vantagem competitiva dessa espécie sobre *P. acuminatum*. Isso é corroborado pelo índice de competição (RCI), que demonstra que a competição entre as espécies é neutra (valores para ambas as espécies não diferem de zero) e não é afetada pela concentração de nutrientes. Assim, o RCI demonstra que as espécies não alteram sua performance competitiva em virtude do competidor (competição intra ou interespecífica) ou em razão da disponibilidade de nutrientes. O observado no experimento não se assemelha a outros

trabalhos que sugerem que os nutrientes regulam as interações entre as espécies de plantas (Mommer *et al.*, 2011; van der Waal, 2011; Hao *et al.*, 2013). Logo, não é possível afirmar que *P. ferrugineum* apresenta desempenho melhor em relação ao *P. acuminatum*. Deste modo, rejeita-se a nossa hipótese.

O desempenho observado para competição diferem dos propostos por Stiers *et al.* (2011), que demonstrou que macrófitas tem maior interação competitiva intraespecífica do que interespecífica. Chamber e Prepas (1990) propõe que a competição interespecífica desempenha pequena importância na estruturação de comunidade de plantas e os dados corroboram o proposto, visto que a competição não interferiu no desenvolvimento de ambas as espécies.

Em estudos que abordam a hipótese de gradiente de estresse (SGH), as proposições sugerem que em ambientes com condições mais severas, a facilitação deve prevalecer (Choler *et al.*, 2001; Brooker, 2008; Callway e Walker, 1997; Maestre *et al.*, 2009). Entretanto, o índice de competição calculado não corrobora essa hipótese, pois mesmo no tratamento –NUT as espécies apresentaram uma interação neutra, não havendo sinal de facilitação. Uma possível explicação para esse resultado é que mesmo nesse tratamento menos eutrófico, as concentrações de nutrientes podem ter sido suficientemente altas para que uma condição estressante fosse efetivada. De fato, embora as plantas cresceram mais na condição +NUT, esse crescimento não foi tão exacerbado, alcançando valores cerca de 60% superiores ao tratamento –NUT (ver TCR, Fig. 1F).

Diversos trabalhos demonstraram crescimento e desenvolvimento considerável de macrófitas em ambientes com alta disponibilidade de nutrientes (Finlayson, 1984; Junk e Melo, 1987; Willis e Mitsch, 1995; Palma-Silva, 1998). Os nutrientes têm função essencial no desenvolvimento de plantas, que vai desde a composição de biomoléculas (Bredemeier e Mundock, 2000) até na regulação de processos fisiológicos (Prado *et al.*, 2004). A disponibilidade de nutrientes possibilita crescimento considerável de macrófitas e o rápido estabelecimento das espécies em ambientes com elevada quantidade do recurso (Thomaz e Esteves, 2011). O observado no experimento vai ao encontro com essas proposições, uma vez que ambas as espécies apresentaram os maiores valores para os atributos mensurados no tratamento com adição de nutrientes, exceto para a variável proporção raiz:parte aérea. Para esta última variável, os valores maiores foram registrados para os tratamentos –NUT para a espécie *P. ferrugineum*. Nesse sentido, quanto maior o valor da proporção, maior a quantidade de biomassa alocada na porção radicular, indicando investimento nas estruturas de absorção da planta (Thornley, 1972). Em

ambientes aquáticos, a fonte de recursos para as macrófitas emergentes é o sedimento, sendo a raiz a principal via de entrada de nutrientes para a planta. Com a variação de nutrientes, as plantas podem ajustar sua estrutura radicular para obter nutrientes em outras camadas do sedimento (Li *et al.*, 2018). Esse fenômeno foi observado no experimento. A espécie *P. ferrugineum* (em -NUT) apresentou alocação de biomassa maior na raiz (em relação ao investido na parte aérea) em condições de baixo nutriente. Isso demonstra que a espécie apresenta plasticidade fenotípica, e até mesmo funcional, para esse atributo, uma vez que, a estratégia foi desenvolver a raiz para obtenção de nutrientes em outras camadas do sedimento, quando este compartimento encontrava-se com menor disponibilidade de N e P. Contudo, este traço não se configurou vantagem competitiva, visto que o *RCI* calculado indicou interação neutra.

Em suma, o crescimento das plantas não foi afetado pela presença de indivíduos de outra espécie, demonstrando que a competição inter e intraespecífica não desempenham papel relevante no crescimento e desenvolvimento dessas espécies. Embora tenham apresentado diferença significativa entre as espécies e os nutrientes tenham propiciado valores maiores para os parâmetros analisados (exceto proporção raiz:parte aérea), o *RCI* não expressou interação competitiva significativa entre as espécies. Nesse sentido, concluímos que a variação de nutrientes, a presença de competidor bem como a interação entre ambos os fatores não influencia a distribuição e o estabelecimento das espécies *in situ*. A dominância de *P. ferrugineum* constatada em habitats aquáticos da planície do alto rio Paraná (Souza *et al.*, 2017) não condiz com uma possível vantagem competitiva em relação à variação de nutrientes, visto que isto não foi observado. Estudos futuros podem endereçar questões acerca de outros possíveis mecanismos (por exemplo, sucesso reprodutivo, dispersão de sementes e fragmentos, competição por outros recursos, entre outros) que expliquem a distribuição de ambas as espécies *in situ*.

## REFERÊNCIAS

- Agostinho, A., Thomaz, S., Gomes, L., 2004. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Parana River: effects of hydrological regulation by dams. *International Journal of Ecohydrology and Hydrobiology* 4, 267-280.
- Agostinho, A., Vazzoler, A., Thomaz, S., 1995, The high Parana Basin: Limnological and ichthyological aspects. In: Tundisi, J.G., Bicudo, C.E.M., Matsumura-Tundisi, T. (Eds.), *Limnology in Brazil*. ABC/SBL, Rio de Janeiro, pp. 59-103.
- Bredemeier, C., Mundstock, C.M., 2000. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural* 30, 365-372.
- Brooker, R.W., Maestre, F.T., Callaway, R.M., Lortie, C.L., Cavieres, L.A., Kunstler, G., Liancourt, P., Tielborger, K., Travis, J.M.J., Anthelme, F., Armas, C., Coll, L., Corcket, E., Delzon, S., Forey, E., Kikvidze, Z., Olofsson, J., Pugnaire, F.I., Quiroz, C.L., Saccone, P., Schiffrers, K., Seifan, M., Touzard, B., Michalet, R., 2008. Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. *Journal of Ecology* 96, 18-34.
- Bruno, J.F., Rand, T.A., Emery, N.C., Bertness, M.D., 2017. Facilitative and competitive interaction components among New England salt marsh plants. *Peerj* 5, 15.
- Callaway, R.M., Walker, L.R., 1997. Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78, 1958-1965.
- Chambers, P., Prepas, E., 1990. Competition and coexistence in submerged aquatic plant communities: the effects of species interactions versus abiotic factors. *Freshwater Biology* 23, 541-550.
- Choler, P., Michalet, R., Callaway, R.M., 2001. Facilitation and competition on gradients in alpine plant communities. *Ecology* 82, 3295-3308.
- Cialdella, A.M., 1989. Revisión de las especies argentinas de *Polygonum* s.l (Polygonaceae). *Darwiniana* 29, 179-246.
- De Wit, C.T., 1960, On competition. Pudoc, Wageningen.
- Fasoli, J.V.B., Michelan, T.S., Thomaz, S.M., 2015. Sediment composition mediates the invasibility of aquatic ecosystems by a non-native Poaceae species. *Acta Limnologica Brasiliensia* 27, 165-170.

- Finlayson, C.M., 1984. Growth-rates of *Salvinia molesta* in Lake Moondarra, Mount Isa, Australia. *Aquatic Botany* 18, 257-262.
- Fleming, J.P., Dibble, E.D., 2015. Ecological mechanisms of invasion success in aquatic macrophytes. *Hydrobiologia* 746, 23-37.
- Goldberg, D.E., Barton, A.M., 1992. Patterns and consequences of interspecific competition in natural communities - a review of field experiments with plants. *American Naturalist* 139, 771-801.
- Gopal, B., Goel, U., 1993. Competition and allelopathy in aquatic plant-communities. *Botanical Review* 59, 155-210.
- Hao, B.B., Wu, H.P., Shi, Q., Liu, G.H., Xing, W., 2013. Facilitation and competition among foundation species of submerged macrophytes threatened by severe eutrophication and implications for restoration. *Ecological Engineering* 60, 76-80.
- Hart, S.P., Marshall, D.J., 2013. Environmental stress, facilitation, competition, and coexistence. *Ecology* 94, 2719-2731.
- Hunt, R., 1990. Relative growth rates. *Basic Growth Analysis: Plant growth analysis for beginners*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 25-34.
- Junk, W.J., Mello, J.A.S.N., 1990. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos Avançados* 4, 126-143.
- Li, F., Yang, N., Zhu, L.L., Xie, Y.H., Yang, G.S., Hu, C., Chen, X.S., Deng, Z.M., 2018. Competition and facilitation of two wetland macrophytes under different water levels and nutrient-heterogeneous conditions. *Freshwater Science* 37, 296-306.
- Maestre, F.T., Callaway, R.M., Valladares, F., Lortie, C.J., 2009. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. *Journal of Ecology* 97, 199-205.
- Meza-Lopez, M.M., Siemann, E., 2017. Nutrient enrichment increases plant biomass and exotic plant proportional cover independent of warming in freshwater wetland communities. *Plant Ecology* 218, 835-842.
- Mommer, L., Visser, E.J.W., van Ruijven, J., de Caluwe, H., Pierik, R., de Kroon, H., 2011. Contrasting root behaviour in two grass species: a test of functionality in dynamic heterogeneous conditions. *Plant and Soil* 344, 347-360.

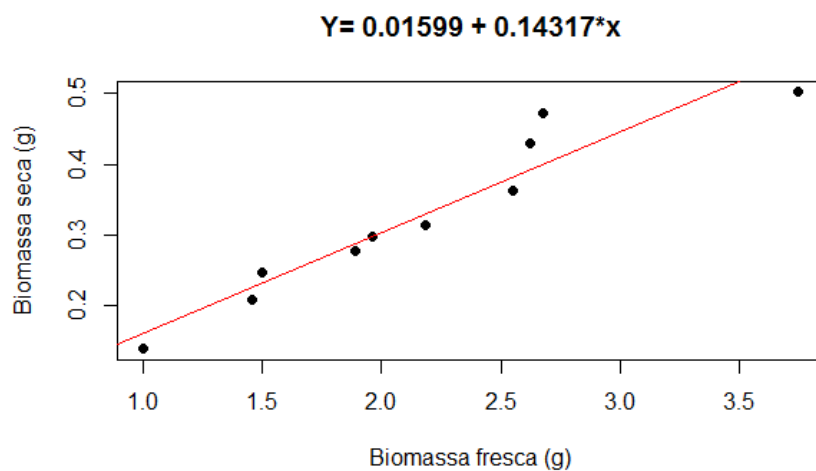
- Palma-Silva, C., NUPEM, Macae, 1998, Crescimento e produção de *Typha domingensis* Pers. na lagoa Imboassica. *Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macae (RJ)*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia. Departamento de Ecologia: Núcleo de Pesquisas Ecológicas de Macaé, Rio de Janeiro, pp. 205-220.
- Penczak, T., Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Latini, J.D., 2009. Impacts of a reservoir on fish assemblages of small tributaries of the Corumba River, Brazil. *River Research and Applications* 25, 1013-1024.
- Prado, R.d.M., Braghirolli, L.F., Natale, W., Corrêa, M.C.d.M., Almeida, E.V.d., 2004. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Brasileira de Fruticultura* 26, 295-299.
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Radford, P.J., 1967. Growth analysis formulae - their use and abuse. *Crop Science* 7, 171-&.
- Santos, N.C.L., Garcia-Berthou, E., Dias, J.D., Lopes, T.M., Affonso, I.D., Severi, W., Gomes, L.C., Agostinho, A.A., 2018. Cumulative ecological effects of a Neotropical reservoir cascade across multiple assemblages. *Hydrobiologia* 819, 77-91.
- Schneider, B., Cunha, E.R., Marchese, M., Thomaz, S.M., 2015. Explanatory variables associated with diversity and composition of aquatic macrophytes in a large subtropical river floodplain. *Aquatic Botany* 121, 67-75.
- Silveira, M.J., Thomaz, S.M., 2015. Growth of a native versus an invasive submerged aquatic macrophyte differs in relation to mud and organic matter concentrations in sediment. *Aquatic Botany* 124, 85-91.
- Souza, D.C., Cunha, E.R., Murillo, R.d.A., Silveira, M.J., Pulzatto, M.M., Dainez-Filho, M.S., Lolis, L.A., Thomaz, S.M., 2017. Species inventory of aquatic macrophytes in the last undammed stretch of the Upper Paraná River, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 29.
- StatSoft, Inc. (2005). STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Stiers, I., Njambuya, J., Triest, L., 2011. Competitive abilities of invasive *Lagarosiphon* major and native *Ceratophyllum demersum* in monocultures and mixed cultures in relation to experimental sediment dredging. *Aquatic Botany* 95, 161-166.

- Thomaz, S.M., Esteves, F.d.A., 2011, Comunidade de Macrófitas Aquáticas. In: Esteves, F.A. (Ed.), Fundamentos de Limnologia. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 461-518.
- Thornley, J., 1972. A balanced quantitative model for root: shoot ratios in vegetative plants. *Annals of Botany* 36, 431-441.
- van der Waal, C., de Kroon, H., Heitkonig, I.M.A., Skidmore, A.K., van Langevelde, F., de Boer, W.F., Slotow, R., Grant, R.C., Peel, M.P.S., Kohi, E.M., de Knecht, H.J., Prins, H.H.T., 2011. Scale of nutrient patchiness mediates resource partitioning between trees and grasses in a semi-arid savanna. *Journal of Ecology* 99, 1124-1133.
- Weigelt, A., Jolliffe, P., 2003. Indices of plant competition. *Journal of Ecology* 91, 707-720.
- Willis, C., Mitsch, W.J., 1995. Effects of hydrology and nutrients on seedling emergence and biomass of aquatic macrophytes from natural and artificial seed banks. *Ecological Engineering* 4, 65-76.

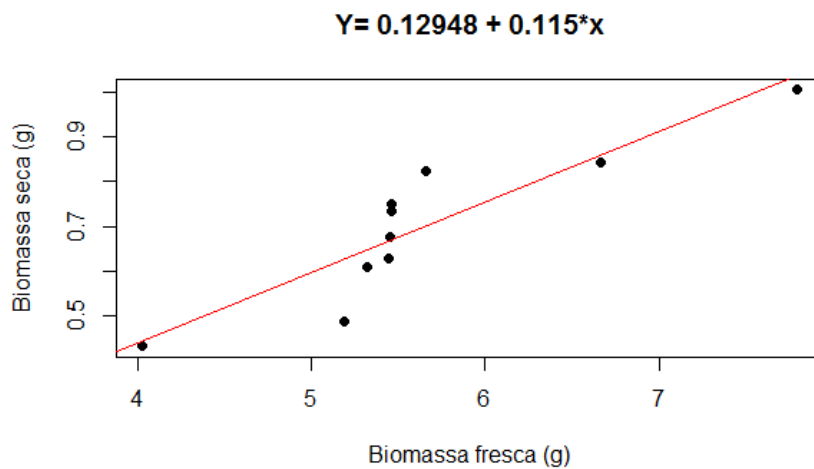


## APÊNDICE A - Regressão linear simples para determinação de peso inicial

Para calcular a TCR, plântulas extras (n=10 para cada espécie) tiveram suas biomassas frescas e secas obtidas. Foi registrada diferença significativa entre as espécies ( $t=-8.39489$ ,  $p > 0,0001$ ). Deste modo, foi calculada uma regressão linear simples para cada espécie. Para estimar o peso seco inicial dos fragmentos utilizados no experimento, foi utilizado uma regressão linear simples.



Apêndice A1 – Dados demonstrando a relação entre Biomassa seca e Biomassa fresca (g) para a espécie *P. acuminatum*. Para esta espécie, foram utilizados n = 10. ( $R^2$  adj = 0.911,  $F = 81.9$ ,  $p$  value < 0.001).



Apêndice A2 – Dados demonstrando a relação entre Biomassa seca (g) e Biomassa fresca (g) para a espécie *P. ferrugineum*. Para esta espécie, foram utilizados n = 10. ( $R^2$  adj = 0.8121,  $F = 34.57$ ,  $p$  value < 0.001).

## APÊNDICE B - Imagens da realização do experimento na casa de vegetação

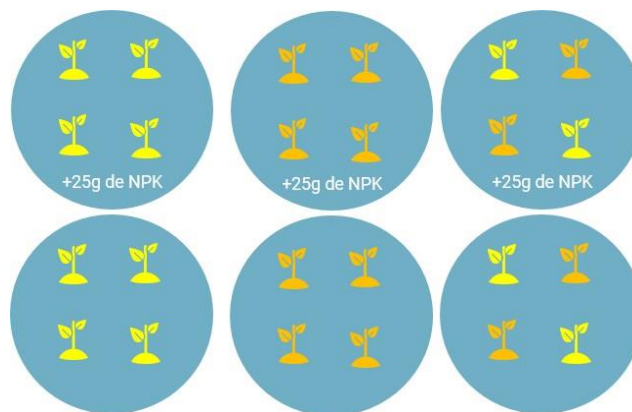
Imagens da realização do experimento na casa de vegetação. À esquerda, distribuição dos vasos na casa de vegetação. À direita, disposição das plantas na unidade amostral (vaso).



Fonte: imagens do autor do trabalho.

## APÊNDICE C - Esquema do design experimental do trabalho

Esquema do design experimental do trabalho. O desenho amarelo representa a espécie *P. acuminatum* e o símbolo laranjado representa a espécie *P. ferrugineum*.



Fonte: autor do trabalho