

Efeitos do enriquecimento por N e P sobre a biomassa e composição de espécies da comunidade de algas perifíticas em reservatório eutrófico

Effects of enrichment by N and P on the biomass and species composition of the community of periphytic algae in eutrophic reservoir

Ruan de Oliveira Carneiro ¹, Carla Ferragut ¹, Emmanuelle Costa ²

(¹) Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Instituto de Botânica, São Paulo, SP.

(²) Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, São Paulo, SP.

E-mail para contato: ruanbio9.0@gmail.com

Resumo - O perifíton apresenta importante papel no funcionamento de lagos e reservatórios rasos, pois é importante produtor primário, participa da ciclagem de nutrientes e da cadeia trófica. A disponibilidade de fósforo na água é um dos principais fatores controladores e determinantes da estrutura do perifíton. O presente projeto de pesquisa pretendeu avaliar experimentalmente os efeitos do enriquecimento isolado e combinado de fósforo e nitrogênio sobre o perifíton ao longo do processo de colonização em um reservatório eutrófico (Lago das Garças, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP). Este estudo visou identificar o nutriente limitante, com base na razão molar N:P, ao desenvolvimento da comunidade. Especificamente, pretendeu-se responder: a) qual o nutriente limitante do acúmulo de biomassa algal no perifíton? b) relacionar a variação da biomassa à variação das condições abióticas nos tratamentos. Além disso, pretendeu-se identificar as espécies de algas perifíticas presentes nos diferentes tratamentos. A amostragem da água e do perifíton em substrato artificial (lâminas de acrílico) foi realizada no 7º e 14º dia do período experimental. Variáveis físicas e químicas da água foram determinadas e o perifíton foi avaliado por meio da biomassa e composição de espécies. Além de contribuir para o projeto institucional, o presente estudo contribuirá para o maior entendimento da ecologia do perifíton em reservatório tropical raso. A presente proposta contribuirá com informações sobre os efeitos do enriquecimento sobre a comunidade de algas perifíticas, contribuindo para o melhor entendimento das relações entre as comunidades algais em reservatório eutrófico.

Palavras chave: clorofila-a, perifíton, mesocosmos

Abstract - The periphyton has an important role in the functioning of shallow lakes and reservoirs, as it is an important primary producer, participates in the cycling of nutrients and the food web. The availability of phosphorus in water is one of the main controllers and determinants of the periphyton structure. The present research project aimed to evaluate experimentally the effects of the isolated and combined enrichment of phosphorus and nitrogen on the periphyton during the colonization process in an eutrophic reservoir (Lago das Garças, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP). This study aimed to identify the limiting nutrient, based on the N: P molar ratio, on community development. Specifically, it was intended to answer: a) what is the limiting nutrient of the algal biomass accumulation in the periphyton? b) to relate the variation of the biomass to the variation of the abiotic conditions in the treatments. In addition, it was intended to identify the species of periphytic algae present in the different treatments. Sampling of water and periphyton on artificial substrate (glass slides) was performed on the 7th and 14th day of the experimental period. Physical and chemical variables of the water were determined and the periphyton was evaluated by means of biomass and species composition. In addition to contributing to the institutional project, the present study will contribute to a better understanding of the ecology of the periphyton in a shallow tropical

reservoir. This proposal will contribute with information on the effects of enrichment on the community of periphytic algae, contributing to a better understanding of the relations between the algal communities in a eutrophic reservoir.

Key words: Chlorophyll-a, periphyton, mesocosm

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As comunidades algais desempenham importantes funções nos ecossistemas aquáticos, uma vez que são responsáveis por mais de 90% da produtividade primária, contribuindo assim, para a manutenção das cadeias tróficas (Stevenson & Smol 2003). Dentre as comunidades algais, as algas aderidas a um substrato constituem-se em um dos componentes do perifíton. O perifíton consiste em uma “*complexa comunidade de microbiota constituída por algas, bactérias, fungos, animais e detritos orgânicos e inorgânicos, que se encontram associados a substratos submersos orgânicos ou inorgânicos, vivos ou mortos*” (Wetzel 1983). O perifíton apresenta grande importância ecológica nos ecossistemas aquáticos, pois além de ser responsável por grande parte da produtividade primária, constitui o habitat para muitos organismos, participa da ciclagem de nutrientes e constitui-se base da cadeia trófica (Vadeboncoeur & Steinman 2002). Além disso, o perifíton aderido ao sedimento (epipélon) tem a capacidade de reter o fósforo no sedimento devido à oxigenação da água via fotossíntese, impedindo a liberação deste elemento para coluna de água, o que pode controlar a floração do fitoplâncton e, conseqüentemente, a eutrofização em lagos e reservatórios rasos (Santos et al. 2017; Genkai-Kato et al. 2012).

Considerando o Lago das Garças, onde foi realizado o experimento, estudos de longa série temporal reconheceram a existência de fases limnológicas distintas, as quais foram caracterizadas pela mudança na cobertura de macrófitas aquáticas (aguapés: *Eichhornia crassipes*, *Eichhornia azurea*) no ecossistema, bem como das características físicas, químicas e biológicas da água (Bicudo et al., 2006, 2007). Atualmente, apesar da retirada de efluente doméstico, há ainda entrada de rejeitos de tratamento terciário de esgoto (Zoológico) e o reservatório é ainda classificado como hipereutrófico. Estudos observacionais sobre o perifíton realizados no reservatório investigaram o processo de colonização e sucessão durante a fase com elevada cobertura de macrófitas e florações sazonais de cianobactérias (Vercellino 1998) e durante a fase com ausência de cobertura de macrófitas e floração permanente (Borduqui & Ferragut 2011). Além disso, mudanças na

estrutura taxonômica do perifíton foram analisadas em escala vertical (Borduqui & Ferragut 2011) e temporal (Oliveira et al. 2010). Portanto, estudos observacionais abordaram a variação espacial, temporal e sucessional da comunidade de algas perifíticas, mas não há ainda informações sobre o potencial de limitação algal no perifíton. Em nível mundial, o fósforo é considerado um limitante primário da biomassa algal na maioria dos ecossistemas de água doce (Dodds 2003, Huszar *et al.* 2005). Contudo, estudos têm mostrado que em sistemas eutrofizados o nitrogênio tem sido o nutriente limitante primário devido ao elevado aporte de fósforo no ecossistema (Conley et al. 2009). A identificação do nutriente limitante do crescimento algal no perifíton permite a elaboração de estratégias mais eficientes para recuperação dos ecossistemas, como observado nos lagos da planície de inundação da Flórida (ex. Gaiser et al. 2006).

O presente estudo avaliou os efeitos do enriquecimento isolado e combinado de fósforo e nitrogênio sobre o perifíton em um reservatório eutrófico. Especificamente, o experimento visou identificar o nutriente limitante do acúmulo de biomassa algal no perifíton, bem como identificar e associar as espécies de algas descritoras da comunidade às condições ambientais nos diferentes tratamentos. O presente estudo pretende contribuir para o melhor entendimento da ecologia do perifíton em reservatório eutrófico.

1.2. OBJETIVOS

Objetivo Geral: Avaliar os efeitos do enriquecimento isolado e combinado de fósforo e nitrogênio sobre o acúmulo de biomassa, potencial de limitação e composição de espécies de algas do perifíton, visando identificar a condição nutricional mais favorável ao desenvolvimento da comunidade em reservatório eutrófico.

Objetivos específicos:

- Analisar a resposta da biomassa (clorofila-a, MSLC) e densidade algal no perifíton ao enriquecimento isolado e combinado de fósforo e nitrogênio.
- Avaliar a resposta do índice autotrófico do perifíton ao enriquecimento isolado e combinado de fósforo e nitrogênio.

- Com base na resposta da biomassa, identificar se o desenvolvimento do perifíton foi potencialmente limitado por P, N ou colimitado por ambos os nutrientes.
- Identificar as espécies descritoras da comunidade de algas perifíticas nos diferentes tratamentos.
- Avaliar a resposta da diversidade e riqueza de espécies das algas perifíticas ao enriquecimento isolado e combinado por N e P.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O Lago das Garças está localizado no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, situado no Município de São Paulo, sudeste do Brasil. O reservatório é um sistema com área de 88.156 m², volume de 188.785 m³, profundidade média de 2,1 metros e profundidade máxima de 4,7 metros (Bicudo et al. 2002). Segundo Bicudo et al. (2002), o Lago das Garças é um reservatório que foi construído para acumular água para abastecimento da população da região sul da cidade de São Paulo. Esta finalidade foi cessada devido a poluição das águas causada pelo aumento da urbanização em seu entorno e, por terem sido realizadas obras mais adequadas para o abastecimento de água na região. Este reservatório foi escolhido para realização dos experimentos por ser um reservatório eutrófico (Bicudo et al. 2007).

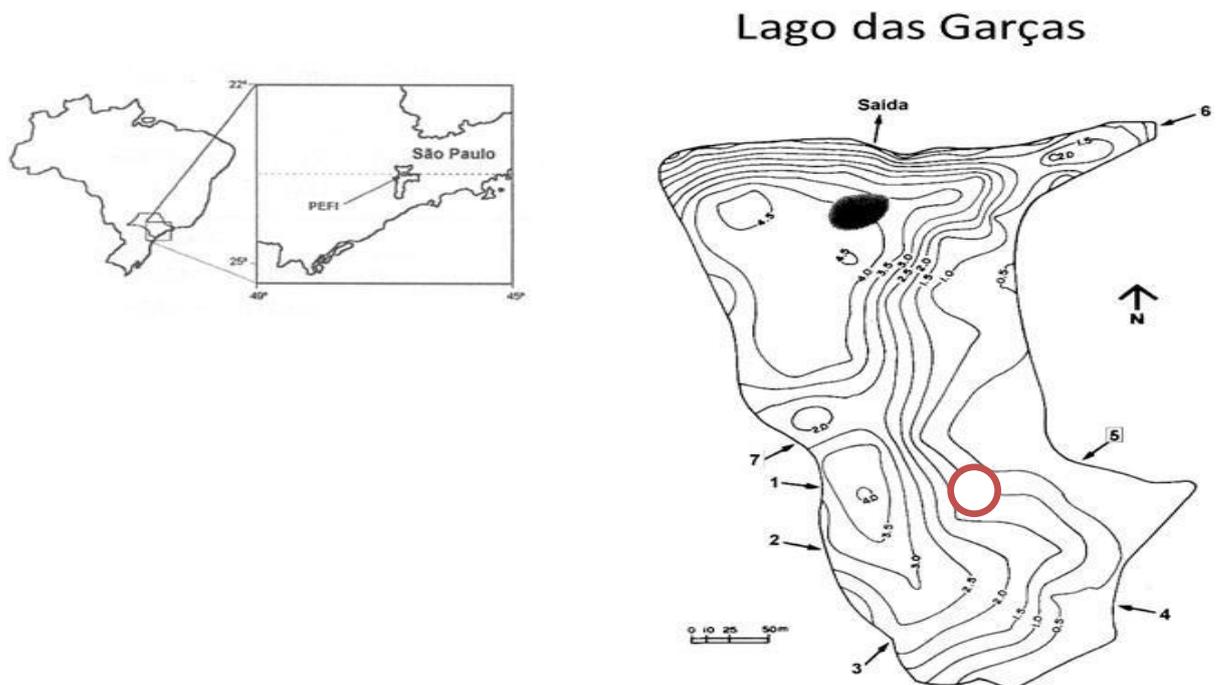


Figura 1. mapa batimétrico do Lago das Garças com localização das unidades experimentais no litoral. O experimento foi instalado na entrada 5 (entrada de água da nascente). Fonte do mapa: Bicudo *et al.* (2002)

3. 2. Delineamento Experimental

Para avaliar o efeito da disponibilidade de nutrientes sobre o perífiton foi realizado um experimento de enriquecimento com a adição combinada e isolada de fósforo e nitrogênio em *mesocosmos de fundo aberto* na região litorânea do Lago das Garças, que é um reservatório eutrófico. O experimento foi realizado no período seco (junho) devido à baixa precipitação pluviométrica, minimizando os efeitos da chuva sobre o enriquecimento.

Os mesocosmos foram constituídos de cilindros de PVC de 0,5m de diâmetro, 1,5 m de altura e com volume máximo de 100 a 160 litros. Os mesocosmos foram enterrados no sedimento de maneira a integrar todas as comunidades algais, e dispostos aleatoriamente em um ponto da região litorânea (entrada 5, na qual há entrada de água da nascente).

O experimento foi constituído de 4 tratamentos em trélicas designados de: **C** – controle (ausência de enriquecimento); tratamento **P+**, adição isolada de P; tratamento **N+**, adição isolada de N; tratamento **NP+**, adição combinada

de N e P. Antes do início do experimento, uma coleta prévia foi realizada para a determinação das concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvido no reservatório. Com base na concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e ortofosfato (P-PO₄) foram realizados os cálculos para a determinação da quantidade de N e P a serem adicionados nos mesocosmos a fim de atingir a razão molar N:P de 1:16 (ótima) no tratamento NP+, razão N:P <16 no tratamento N+ (condição P-limitante) e razão N:P >16 no tratamento P+ (condição N-limitante). Os sais utilizados para o enriquecimento foram o fosfato monobásico de potássio (KH₂PO₄) e o nitrato de amônio (NH₄NO₃), os quais são comumente usados em experimentos de enriquecimento.

Amostragens das variáveis físicas, químicas e biológicas foi realizada no 14º dia do período experimental. Coletas para a determinação e manutenção da razão molar de N:P da água dos tratamentos enriquecidos foram realizadas nos intervalos de amostragem.

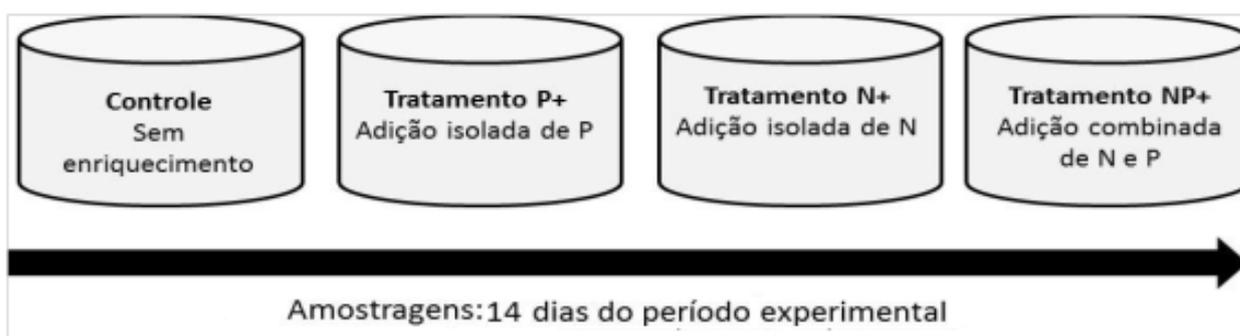


Figura 2. Esquema do experimento: quatro tratamentos em triplicata a serem realizados em mesocosmos de fundo aberto *in situ* no Lago das Garças.

O substrato artificial utilizado para a colonização do perífíton foi lâmina de vidro, que é um substrato inerte, barato e de fácil manipulação, além de amplamente utilizado em nível mundial. As lâminas de vidro foram colocadas verticalmente em estrados de acrílico e expostas durante 14 dias em cada mesocosmo (Figura 3). Os suportes foram fixos a 25 centímetros de profundidade para evitar foto-inibição. As lâminas de vidro colonizadas foram retiradas aleatoriamente no 14º dia de colonização para determinação dos atributos do perífíton. O perífíton foi removido do substrato artificial por meio de raspagem com lâminas de aço e lavagens com jato de água destilada.

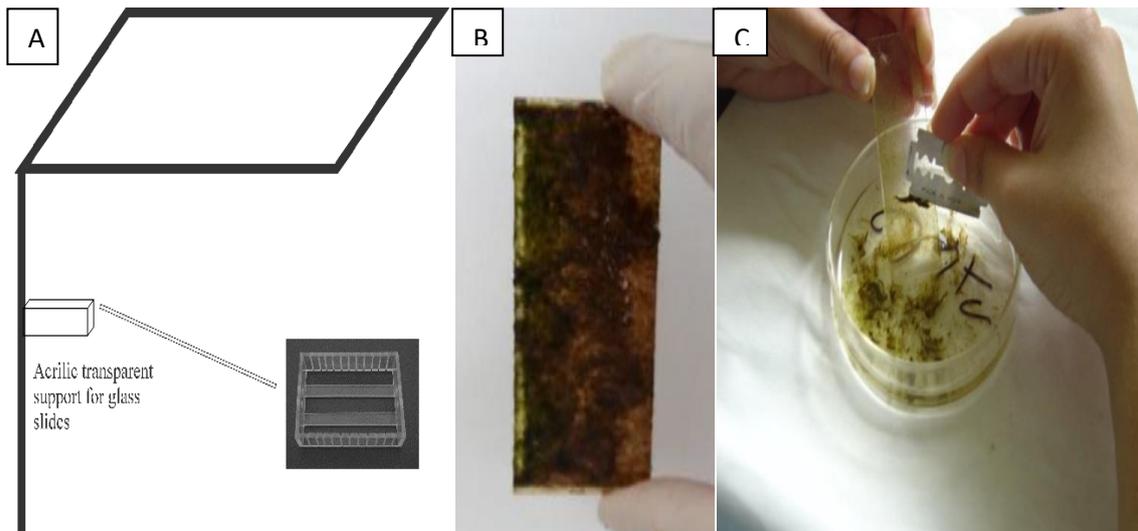


Figura 3: a) Esquema mostrando a posição do suporte de acrílico que continha as lâminas a serem colonizadas pelo perifíton; b) Lâmina de vidro colonizada pelo perifíton (Fonte: Carla Ferragut); c) Processo de retirada do perifíton do substrato artificial (Fonte: Carla Ferragut).

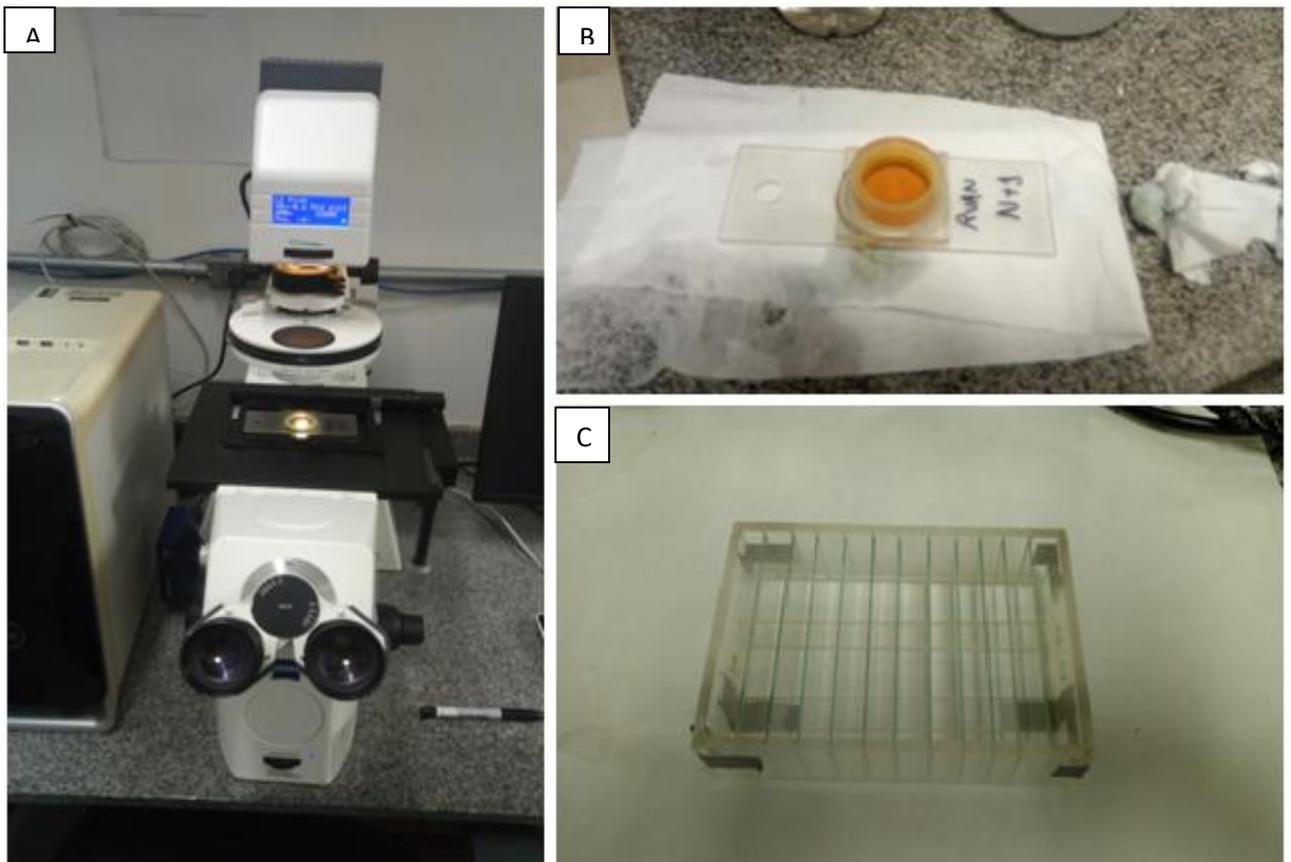


Figura 4. a) microscópio utilizado na contagem das algas; b) cubeta montada com amostra fixada para contagem em microscópio óptico invertido; c) suporte de acrílico contendo lâminas de vidro para colonização do perifíton.

3.3. Variáveis analisadas

As seguintes variáveis abióticas analisadas na água dos mesocosmos foram: temperatura, condutividade elétrica, pH (sonda subaquática multiparametros), radiação subaquática (luxímetro Li-Cor), oxigênio dissolvido (Golterman *et al.* 1978), alcalinidade (Golterman & Clymo 1971), , nitrito e nitrato (Mackereth *et al.* 1978), nitrogênio amoniacal (Solorzano 1969), ortofosfato e fósforo total dissolvido (Strickland & Parsons 1960), nitrogênio total e fósforo total (Valderrama 1981). As amostras para a fração dissolvida dos nutrientes foram filtradas em filtro GF/F sob baixa pressão ($\leq 0,5$ atm).

Para determinação da clorofila-a ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), amostras do perifíton foram filtradas em filtro de fibra de vidro Whatman GF/F e a extração da clorofila-a (corrigida de feofitina) foi feita com etanol (90%), conforme Sartory & Grobblelar (1984). A **massa seca** (MS) e **massa seca livre de cinzas** (MSLC) ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) foram determinadas a partir de amostras do perifíton, as quais foram filtradas em filtro de fibra de vidro Whatman GF/F sob bomba a vácuo sob baixa pressão (0,3 atm), conforme método descrito no APHA (2005). Os filtros foram previamente calcinados (500°C ; 1 hora) para eliminar possíveis resíduos orgânicos, em seguida, pesados em balança analítica para determinação da massa (gramas). Após filtração do perifíton, os filtros foram colocados na estufa à 105°C e pesados a cada 24 horas até obtenção de massa constante. Posteriormente, os filtros foram levados à mufla a 500°C por 1 hora para obtenção da MSLC.

Para **análise quantitativa das algas perifíticas**, as amostras do perifíton foram fixadas com lugol acético (1%) e quantificadas ao microscópio óptico invertido (Zeiss Axio Observer D1 with optovar 2.5x) em aumento de 400x. A contagem das algas perifíticas foi feita por meio da preparação de cubetas temporárias e esforço amostral foi padronizado em uma cubeta por amostra, a altura da cubeta a ser utilizada variou de acordo com a quantidade de algas encontradas. A análise qualitativa da amostra foi feita em microscopia óptica binocular com ocular micrometrada e câmera digital acoplada em aumentos de 400x e 1000x (Bicudo & Menezes 2006). Como foi necessário, lâminas permanentes foram feitas para a identificação das diatomáceas (ECS

2003). A identificação taxonômica das algas e cianobactérias teve como base publicações regionais, principalmente, referentes ao PEFI, além de literatura internacional especializada. Foram consideradas espécies descritoras da comunidade as espécies com contribuição relativa maior ou igual a 4% da densidade total da amostra.

4. FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os efeitos da adição isolada e combinada de N e P sobre as variáveis abióticas e bióticas foram analisados por meio de análise descritiva univariada e representação gráfica dos dados. Foram utilizadas medidas de tendência central (média aritmética) e de dispersão (desvio padrão).

Para determinar diferença significativa das variáveis bióticas e abióticas entre tratamentos foi utilizado a análise de variância de um fator (ANOVA), sendo o enriquecimento o fator. Foram aplicados testes de comparações múltiplas de médias (Teste de Tukey) para determinação da diferença mínima significativa tratamentos. As premissas para realização destas análises foram checadas e atendidas (normalidade dos dados; homogeneidade de variância).

Resultados

Variáveis abióticas

As variáveis abióticas, com exceção do amônio, silicato e alcalinidade, apresentaram diferença estatística significativa entre tratamentos (Tabela 1 e figura 5 a - j). Os maiores valores de nitrito (N-NO₂) e nitrato (N-NO₃) foram encontrados nos tratamentos com adição isolada e combinada de nitrogênio (N+ e NP+), mas não houve diferença significativa entre tratamentos. As maiores concentrações de ortofosfato (P-PO₄) foram encontrados nos tratamentos P+ e NP+ e foram estatisticamente diferentes entre tratamentos; no entanto, os valores de PDT (fósforo total dissolvido) foram predominantemente maiores no tratamento NP+, o qual apresentou diferença estatística em relação aos outros tratamentos. Diferentemente, PT (fósforo total) apresentou os maiores valores no tratamento N+ e a concentração

apresentou diferença significativa entre tratamentos. A concentração de PT no tratamento NP+ foi 3 vezes maior do que no tratamento P+. Os maiores valores de OD foram encontrados no tratamento NP+, seguido do P+, N+ e Controle, nesta ordem, sendo que todos os tratamentos foram diferentes estaticamente uns dos outros. A disponibilidade de luz foi maior no tratamento NP+ e foi significativamente diferente do controle e demais tratamentos.

Variáveis bióticas

Os maiores de valores de clorofila-a, massa seca e densidade total do perifíton foram encontrados nos tratamentos P+ e NP+. Estes valores foram significativamente diferentes do controle e tratamento N+ (Figura 6 a - c). Os valores de índice autotrófico diminuíram com o enriquecimento, sendo os valores do tratamento P+ e NP+ significativamente diferente do Controle (Figura 6 d).

Foram encontrados 114 táxons, divididos em 9 grupos algais: Chlorophyceae, Euglenophyceae, Bacillariophyceae, Cyanobacteria, Cryptophyceae, Klebsormidiophyceae, Trebouxiophyceae, e Zygnematophyceae. Bacillariophyceae foi a classe mais abundante e dominante em todos os tratamentos, com exceção do tratamento N+, onde prevaleceu Chlorophyceae (figura 8).

A espécie descritora mais abundante em todos os tratamentos foi a diatomácea *Nitzschia palea*. No Controle os táxons *Nitzschia sp 2* e *Botryococcus braunii* apresentaram alta contribuição relativa. *Botryococcus braunii* e *Eunotia sp 1* destacaram-se como espécies descritoras no tratamento N+. No tratamento P+, as espécies que mais contribuíram para a comunidade, além de *Nitzschia palea*, foram *Coelastrum astroideum*, *Fragillaria sp 1* e *Aphanocapsa sp 1*. O mesmo foi observado no tratamento NP+, apenas com a diferença que neste também se destacou também *Chloco-roccum minimum* (figura 7).

Considerando a riqueza e a diversidade de espécies, não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, segundo Anova 1-fator e Teste de Tukey (figura 6 e - f).

Tabela 1. Resultados da ANOVA 1-fator das variáveis abióticas e atributos do perifíton no 14º dia do período experimental.

	Variáveis	F	p
Abióticas	PO4	298,1	0,00001516
	PDT	260,1	2,60E-08
	PT	18,46	0,0005923
	Amônio	2.545	0,1293
	Nitrito	11,98	0,0025
	Nitrato	33,84	0,06795
	NT	3,688	0,06213
	Luz	5,677	0,02214
	Oxigênio dissolvido	1537	2,22E-11
	Alcalinidade	0,2856	0,8346
Perifíton	Clorofila-a do perifíton	13,39	0,001744
	Massa Seca do perifíton	13,71	0,001612
	Densidade algal do perifíton	883,6	2,02E-10
	Índice autotrófico	8.718	0,006677
	Riqueza	0,3616	0,7826
	Diversidade	0,4282	0,7384

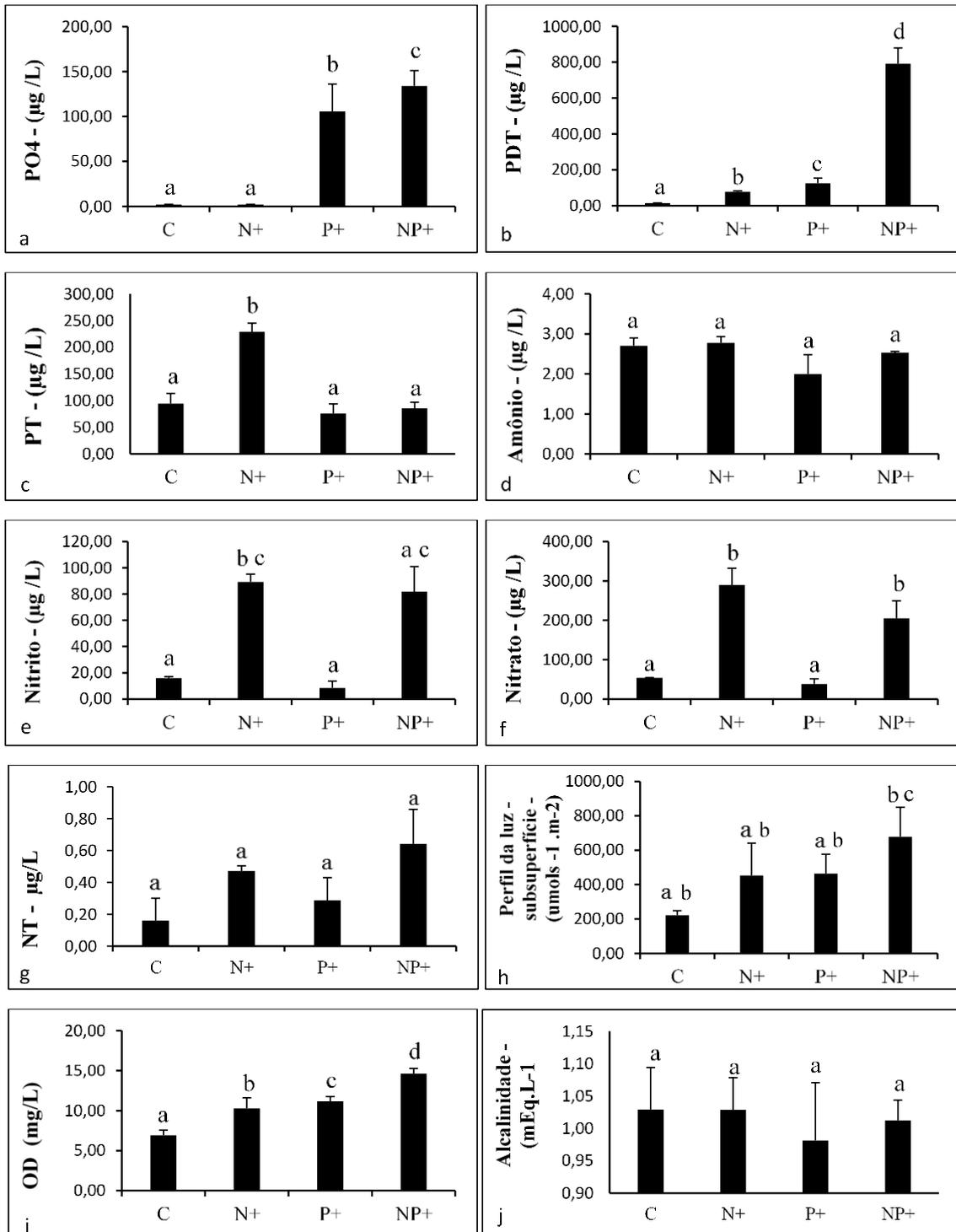


Figura 5. Valores de ortofosfato (a), fósforo total dissolvido (b), fósforo total (c), amônio (d), nitrito (e), nitrato (f), nitrogênio total (g), quantidade de luz (h), oxigênio dissolvido (i), alcalinidade (j) no 14º dia do período experimental nos tratamentos (C, controle; N+ adição isolada de N; P+ adição isolada de P; NP+ adição combinada de N e P). As letras diferentes indicam diferença significativa entre tratamentos pelo Teste de Tukey (p menor do que 0,05).

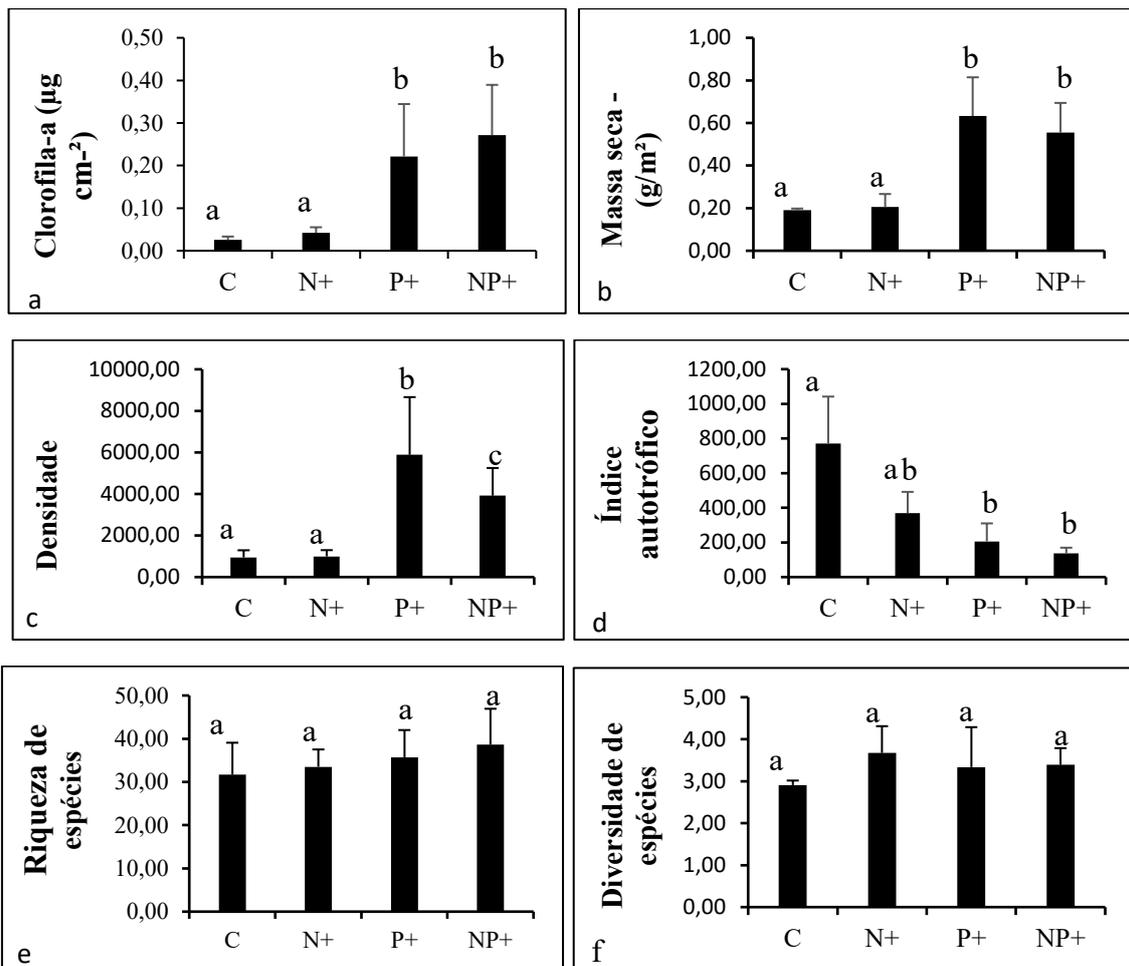


Figura 6. Valores de clorofila-a (a), massa seca (b), densidade total (c), índice autotrófico (d); riqueza de espécies (e) e diversidade de espécies (f) da comunidade de algas perifíticas no 14º dia do período experimental nos tratamentos (C, controle; N+ adição isolada de N; P+ adição isolada de P; NP+ adição combinada de N e P).

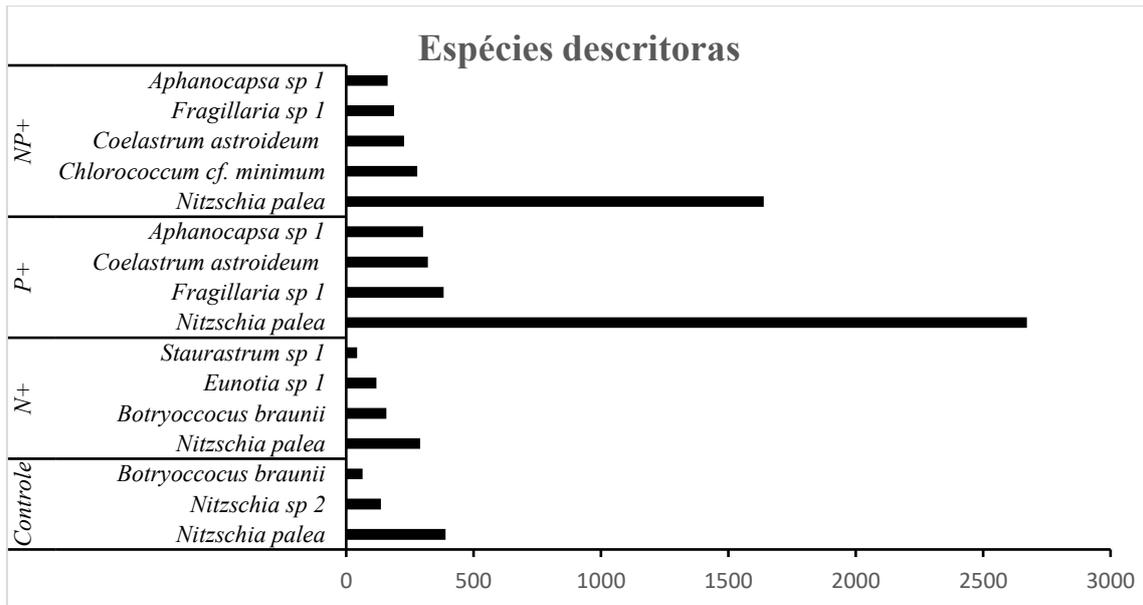


Figura 7. Espécies descritoras de algas perifíticas no 14º dia de colonização nos tratamentos (C, controle; N+ adição isolada de N; P+ adição isolada de P; NP+ adição combinada de N e P).

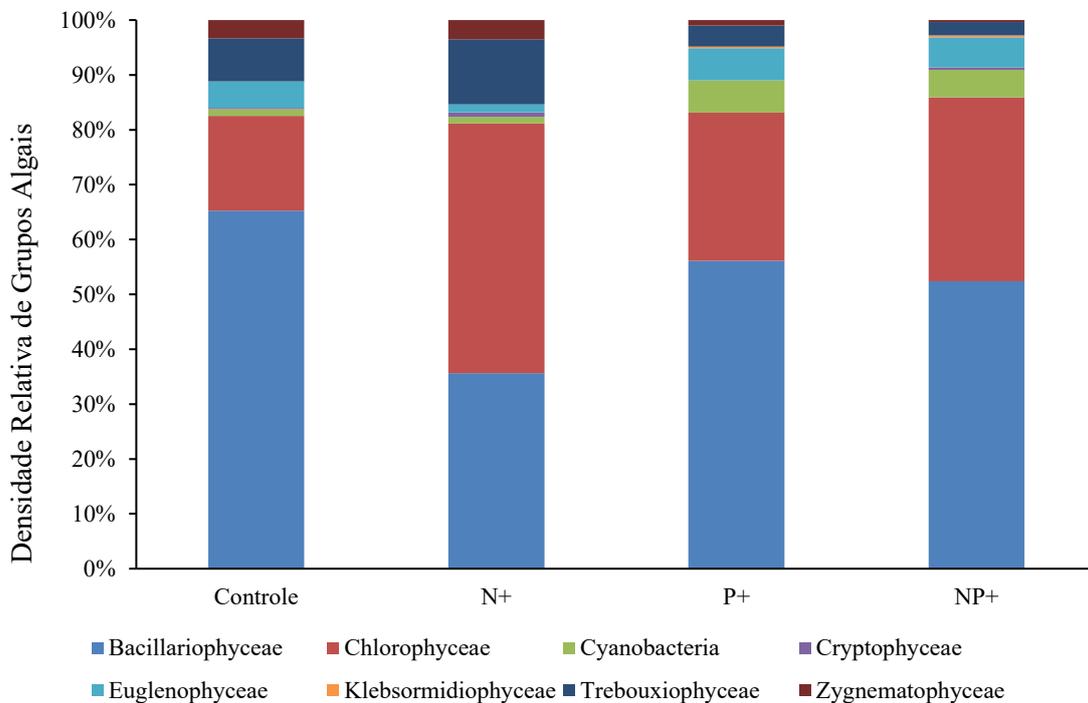


Figura 8. Densidade relativa das classes algais presentes no 14º dia de colonização (C, controle; N+ adição isolada de N; P+ adição isolada de P; NP+ adição combinada de N e P).

Discussão

O Lago das Garças, onde foi conduzido o experimento, é um reservatório eutrófico, e por se tratar de um ecossistema lântico e raso, é um ambiente propício para o desenvolvimento da comunidade perifítica, a qual desempenha importante papel no funcionamento do mesmo, seja pela ciclagem de nutrientes ou incorporação de biomassa na cadeia trófica (Vadeboncoeur & Steinman 2002). Deste modo, este é um ambiente viável para que estudos como este sejam realizados.

Os maiores valores de ortofosfato (PO_4), que é a única forma inorgânica solúvel de fósforo, que pode ser diretamente utilizado pelas algas (Wetzel, 1993), foi encontrado nos tratamentos P+ e NP+, corroborando com os dados de Ferragut (1999), em experimento realizado em represa oligo-mesotrófica com mesocosmos de fundo aberto; o mesmo não foi observado com os valores de PDT (fósforo total dissolvido), que foi estatisticamente maior no tratamento NP+ em relação aos demais, sendo que os valores de PDT foram semelhantes entre os tratamentos N+ e P+; esses valores encontrados no tratamento NP+ podem indicar que, por não ter uma importância direta para as algas, tais organismos absorvem preferencialmente íons amônio e ortofosfato para complementarem seu metabolismo, sendo assim, as concentrações de PDT, embora esta forma de fósforo circule e desapareça rapidamente na zona de utilização (Wetzel, 1993), possivelmente estiveram altas no tratamento onde houve adição combinada de fósforo e nitrogênio porque não foram utilizados pelas algas, já que havia disponibilidade de outros nutrientes que são mais facilmente assimilados. No que se refere ao PT (fósforo total), diferente do que foi observado por Ferragut (1999), os maiores valores foram encontrados no tratamento N+, resultado esse que não era esperado, uma vez que neste tratamento não houve adição de fósforo, resultado este que pode ser atribuído ao acaso, como erros na amostragem ou nas próprias análises laboratoriais.

Em se tratando do nitrito, os maiores valores foram encontrados nos tratamentos N+ e NP+, o que corrobora com os dados de Ferragut (1999); o mesmo foi observado com os valores de nitrato; apenas o amônio não seguiu

este padrão, uma vez que não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Com relação às variáveis bióticas, Havens et al. (1999) avaliou a biomassa fotossintética do perifíton desenvolvido sob substratos artificiais, através da clorofila-a, encontrando os maiores valores no tratamento NP+; tais resultados são em parte semelhantes aos encontrados no presente projeto, uma vez que os maiores valores de clorofila-a foram encontrados nos tratamentos P+ e NP+. O conteúdo orgânico total da comunidade perifítica, que é expresso pela massa seca livre de cinzas (MSLC), foi nitidamente maior nos tratamentos P+ e NP+, que foram semelhantes entre si e diferentes estatisticamente dos demais tratamentos, corroborando novamente com o que foi observado por Ferragut (1999) e semelhante aos dados obtidos por Wyatt et al. (2010), que encontrou valores maiores de MSCL no tratamento NP+ em relação ao controle.

Em se tratando da composição taxonômica da comunidade, houve um predomínio de táxons pertencentes à Classe Bacillariophyceae em todos os tratamentos, com exceção do tratamento N+, onde predominou Chlorophyceae, contrastando com os resultados obtidos por Carrick et al. (2007), que, em seu experimento de enriquecimento com algas bentônicas realizado no Lago de Michigan, relatou uma substituição de diatomáceas por espécies não silicosas (principalmente Chlorophyceae e Cyanobacteria) ao longo do processo de colonização. Semelhante ao que foi encontrado por Ferragut (1999), a densidade de algas foi significativamente maior nos tratamentos P+ e NP+ em relação ao controle e tratamento N+.

Finalmente, a biomassa do perifíton, expressa pela clorofila-a, MSLC e densidade de algas, foi maior nos tratamentos P+ e NP+, semelhante ao que foi observado por Carrick (2007), onde os maiores valores de biomassa perifítica estiveram associados ao enriquecimento combinado de fósforo e nitrogênio. Tais dados de clorofila-a, densidade e MSLC são indicadores da influência que a disponibilidade desses nutrientes exerce no desenvolvimento do perifíton, destacando-se o fósforo nesse contexto, uma vez que a biomassa

fotossintética foi significativamente maior nos tratamentos onde houve adição isolada e combinada deste nutriente.

Conclusões

Conclui-se que a comunidade de algas perifíticas respondeu de maneira diferente ao enriquecimento combinado e isolado por nitrogênio e fósforo, e sendo detectado relação positiva entre a disponibilidade de fósforo e o desenvolvimento da comunidade perifítica. Com base na resposta da biomassa e densidade algal, o fósforo foi considerado o nutriente limitante primário para o desenvolvimento do perifíton no reservatório eutrófico estudado. Considerando que a identificação do nutriente limitante do crescimento algal é essencial para a recuperação de ecossistemas (ex. Gaiser et al. 2006), mais pesquisas precisam ser realizadas com o intuito de melhor compreender a dinâmica da comunidade perifítica frente a perturbações, como por exemplo, a eutrofização.

6. PLANO DE TRABALHO E CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

O cronograma de execução do presente projeto encontra-se abaixo e inclui as atividades previstas para o seu desenvolvimento.

Atividades/Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Organização do Experimento												
Realização do Experimento												
Determinação das variáveis abióticas												
Determinação e cálculo da biomassa												
Análise qualitativa da comunidade de algas perifíticas												
Elaboração dos resultados e												

tratamentos dos dados												
Elaboração do relatório												
Entrega do relatório												

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bicudo D. C., Fonseca, B. M., Bini L. M., Crossetti L.O., Bicudo C. E. M. & Jesus T. A. Undesirable side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. *Freshwater Biology*. 2007. Vol 52: 1120-1133.
- Bicudo, C. E. D. M., & Menezes, M. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. Rima. 2006.
- Bicudo, C. E. M., Carmo, C. F., Bicudo, D. C., Henry, R., Pião, A. C. S., Santos, C. M. & Lopes, M. R. M. Morfologia e morfometria de três reservatórios do PEFI. *In*: Bicudo, D. C., Forti, M. C. & Bicudo, C. E. M. (orgs.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo. Ed. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo. 2002.
- Carrick, H.J; Lowe, R.L. Nutrient limitation of benthic algae in Lake Michigan: the role of silica. *Phycological Society of America.*, v.43, p.228-234, 2007.
- Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P., Havens, K. E., ... & Likens, G. E. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science*. 2009. Vol 323(5917), 1014-1015.
- European Committee for Standardization (ECS). Water quality: guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. BS EN 13946. 2003.
- Ferragut, C. Efeito do enriquecimento por n e p sobre a colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas: biomanipulação em reservatório oligotrófico, São Paulo. Rio Claro, 1999. 195p. Dissertação de Mestrado – UNESP.
- Gaiser EE, Childer D L, Jones RD, Richards JH, Scinto LJ, Trexler JC. Periphyton responses to eutrophication in the Florida Everglades: Cross-

- system patterns of structural and compositional change. *Limnol Oceanogr.* 2006. Vol 51:617-630.
- Genkai-Kato, M., Vadeboncoeur, Y., Liboriussen, L. & Jeppesen, E. Benthic-planktonic coupling, regime shifts, and whole-lake primary production in shallow lakes. *Ecology.* 2012. Vol 93(3): 619-631.
- Golterman, H. L. & Clymo, R. S. *Methods for chemical analysis of freshwaters.* Ed. Oxford and Edinburg, Blackwell Scientific Publications. International Biological Programmer. 1971. 166p.
- Golterman, H. L., Clymo, R. S. & Ohmstad, M. A. M. *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters.* 2^a Ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. International Biological Programmer, 213p. (Handbook, 8). 1978.
- Havens, K.E; East. T.L; Rodusky, A.J; Sharfstein, B. Littoral periphyton responses to nitrogen and phosphorus: an experimental study in a subtropical lake. *Aquatic Botany.*, v.63, p.267-290, 1999.
- Mackereth, F.J.H., Heron, J. & Talling, J.F. *Water analysis: some revised methods for limnologists.* Kendall: Titus Wilson and Son Ltd. 117 p. 1978.
- Santos, T.R. 2017. Dinâmica da comunidade de algas planctônicas, perifíticas e metafiticas em reservatório tropical raso: um estudo observacional e experimental. Tese de Doutorado. Instituto de Botânica, São Paulo, SP.
- Sartory, D.P. & Grobbelaar, J. U. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia.* 1984. Vol 114: 177-187.
- Solorzano, L. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. *Limnology and Oceanography.* 1969. Vol 14: 799-801.
- Stevenson, R.J. & Smol, J.P. Use of Algae in Environmental Assessments. In: J.D. Wehr, & R.G. Sheath (eds.). *Freshwater Algae of North America.* Academic Press, California pp. 2003. 775-804.
- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. *A manual of seawater analysis.* Bulletin Fisheries Research Board of Canada. 1960. Vol 125: 1-185.
- Vadeboncoeur, Y. & Steinman, A. D. Periphyton function in lake ecosystems. *The Scientific World Journal.* 2002. 1-20.
- Valderrama, G. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.* 1981. Vol 10: 109-112.

- Wetzel, R.G. Periphyton of freshwater ecosystems development. The Hague. Dr. W. Junk Publishers. 1983. 346p. (Developments Hydrobiology, 17).
- Wetzel, R.G. Limnology. Toronto: W.B. Saunders Company, 1993. 919p.
- Wyatt, K.H; Stevenson, R.J; Turetsky, M.R. The importance of nutrient co-limitation in regulating algal community composition, productivity and algal-derived DOC in an oligotrophic marsh in interior Alaska. *Freshwater Biology.*, v.45, p.1845-1860, 2010.

(Anexo C)

Planilha de avaliação da parte escrita do artigo científico entregue como Trabalho de Conclusão de Curso de Ciências Biológicas (TCCB)	Data: <u>03 / 11 / 2020</u>
---	------------------------------------

Título do trabalho: Levantamento Florístico do Componente Arbóreo do Parque Municipal Vila Guilherme - Trote (PVG), São Paulo, SP, Brasil.

Nome do aluno: Ruan de Oliveira Carneiro RA: N

Nome do professor Raquel Bagattini

Visto: Raquel B

Trata-se do: orientador do trabalho (x) Sim () Não ou do co-orientador do trabalho () Sim () Não

Itens avaliados no artigo científico – parte escrita do TCCB

Caro Professor observar que os itens **b** e **g** se repetem, coloque nota somente em um dos itens que corresponda ao tipo de trabalho apresentado. Observar que o item **f** é somente para trabalhos com levantamento de dados.

	Item a ser avaliado	Valor Máximo	Nota aluno
a	Coerência do título com o trabalho em si e com o curso de Ciências Biológicas.	1,0	1,0
b	<u>Levantamento de dados</u>	1,0	1,0
	Observar a Presença de capa, Página de rosto, Resumo, Introdução, Justificativas e Objetivos, Material e métodos, Resultados, Discussão, Conclusão, Referências bibliográficas.		
	<u>Revisões bibliográficas,</u>	1,0	
	Para observar a Presença de capa, Página de rosto, Resumo, Introdução, Justificativas e Objetivos, Material e métodos (no caso, a revisão bibliográfica), Conclusão, Referências bibliográficas.		
c	Avaliar se a introdução apresenta levantamento bibliográfico atualizado e adequado para o tema	1,0	1,0
d	Avaliar se a metodologia empregada corresponde ao propósito da pesquisa	1,0	1,0
e	Avaliar se os objetivos expressam claramente a pesquisa a ser realizada	1,0	1,0
f	<u>Levantamento de dados,</u>	1,0	1,0
	Observar se em resultados ocorreu o correto tratamento dos dados (revisões bibliográficas não contem o item resultados).		
g	<u>Levantamento de dados,</u>	1,0	1,0
	Observar se na discussão ocorre comparação com trabalhos similares e diversos (revisões bibliográficas podem não conter discussões).		
	<u>Revisões bibliográficas</u>	2,0	
	Observar se a introdução apresenta grande variedade de informações na pesquisa.		
h	Avaliar se as conclusões respondem aos objetivos propostos inicialmente	1,0	1,0
i	Avaliar se as referências bibliográficas seguem as normas Vancouver (observar mínimo de 7 e máximo de 30 referências, e observar que não podem existir somente "sites")	1,0	1,0
j	Avaliar o conjunto do trabalho escrito.	1,0	
	Somatório	10,0	10,0