

Riqueza, abundância e sazonalidade de comunidades de macroalgas em diferentes escalas espaciais em riachos da região centro-sul do estado do Paraná

Rogério Antonio Krupek¹ & Ciro César Zanini Branco²

Universidade Estadual do Paraná, Departamento de Biologia, Campus de União da Vitória, Praça Cel. Amazonas, Caixa Postal 291, CEP 84600-000, União da Vitória, Paraná, Brasil. rogeriokrupek@yahoo.com.br

² Universidade Estadual Paulista, Departamento de Ciências Biológicas, Av. Dom Antônio, 2100, CEP 19806-900, Assis, São Paulo, Brasil

Recebido em 03.VIII.2012. Aceito em 12.V.2014.

RESUMO - A estrutura e sazonalidade de comunidades de macroalgas bentônicas de ecossistemas lóticos foram avaliadas em diferentes escalas espaciais de observação em riachos da região centro-sul do estado do Paraná. As amostragens foram realizadas mensalmente durante o período de janeiro a dezembro de 2007. Foi registrado um total de 16 táxons (38% de *Cyanobacteria*, 31% de *Chlorophyta*, 19% de *Rhodophyta* e 12% de *Heterokontophyta*) sem qualquer padrão de sazonalidade definida. A composição florística variou em todas as escalas espaciais corroborada pelos baixos valores do índice de diversidade. As diferenças mais marcantes foram obtidas para as escalas de bacia de drenagem e sombreamento, principalmente com relação à disponibilidade de energia luminosa. Riqueza e abundância de espécies apresentaram padrões sazonais influenciados positivamente pelas variáveis velocidade da correnteza (mesohabitat) e irradiância (sombreamento) respectivamente. Ambas variáveis têm sido amplamente descritas como fatores determinantes sobre a estruturação de comunidades de macroalgas de ambientes lóticos.

Palavras-chave: algas bentônicas, ecossistema lótico, variação sazonal

ABSTRACT - **Richness, abundance, and seasonality of macroalgal communities at different spatial scales in streams of the central-southern state region of Paraná State.** The structure and seasonality of benthic macroalgal communities of lotic ecosystems was evaluated at different spatial scales of observation in streams of the central-southern region of Paraná State. Samples were collected monthly from January to December 2007. We found 16 taxa (38% *Cyanobacteria*, 31% *Chlorophyta*, 19% *Rhodophyta* and 12% *Heterokontophyta*) without a confirmed seasonality pattern. The floristic composition varied at all spatial scales corroborated by low values of diversity index. The most significant differences were obtained for the drainage basin and shading scales, especially regarding the availability of light energy. Richness and abundance of species had seasonal patterns influenced by variables current velocity (mesohabitat) and irradiance (shading) respectively. Both variables have been widely described as determining factors on the community structure of lotic macroalgae.

Key words: benthic algae, lotic ecosystem, seasonal variation

INTRODUÇÃO

A compreensão da organização e funcionamento de um ecossistema através de atributos da estrutura da comunidade como riqueza, abundância e composição de espécies, deve levar em consideração a escala de observação utilizada (Johnson *et al.* 1996, Mooney

et al. 1996, Naeem & Li 1997, Peterson *et al.* 1998). Para ecossistemas lóticos, e mais especificamente comunidades de macroalgas bentônicas tais atributos tem sido sazonalmente avaliados considerando grandes áreas de abrangência (Branco *et al.* 2008, Necchi & Pascoaloto 1993, Peres *et al.* 2009). Considerando que estudos recentes (Branco *et al.* 2008, Krupek *et al.* 2007) têm relatado a importância

de condições locais específicas para a compreensão da estrutura e composição de comunidades de macroalgas lólicas, fica evidente a necessidade de se averiguar a ocorrência de possíveis diferenças para estes parâmetros bióticos.

Vários estudos ao longo do tempo tem descrito a influência temporal de variáveis ambientais (p.ex. temperatura da água, irradiância e condutividade) sobre comunidades de macroalgas lólicas (Biggs 1990, DeNicola *et al.* 1992, Necchi Júnior *et al.* 1994, 1995, Sheath & Cole 1992, Sheath & Hambrook 1990). Mais recentemente Krupek *et al.* (2012) avaliaram a variação temporal de comunidades de macroalgas em diferentes escalas espaciais e sugerem que variáveis locais específicas (p.ex. substrato e velocidade da correnteza) influenciam diretamente na estruturação destes organismos em ecossistemas de águas correntes.

As variações temporais na riqueza e abundância de comunidades de macroalgas são fortemente influenciadas pela heterogeneidade espacial do habitat (Poff & Ward 1990), sendo esta obtida em diferentes escalas de observação: bacia de drenagem (Vanotte *et al.* 1980), mesohabitats de remanso e corredeira (Stevenson 1997) e microhabitat (Taniguchi & Tokeshi 2004). Avaliações referentes a estas características estruturais de comunidades de macroalgas bentônicas, considerando escalas espaciais de observação ainda não foram realizadas e podem trazer informações relevantes acerca da distribuição espacial e variação sazonal destes organismos em ecossistemas lólicos.

Neste sentido, este trabalho visa analisar se a riqueza, abundância e composição de espécies de macroalgas bentônicas apresentam diferenças com relação ao padrão de variação sazonal quando avaliadas em diferentes escalas espaciais de observação.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido levando-se em consideração as seguintes escalas espaciais de amostragem: bacias de drenagem (Rio das Pedras e Rio Marrecas); sombreamento (aberto e sombreado); mesohabitats (remanso - velocidade da correnteza entre 0 e 11,8 cm/s⁻¹) e corredeira - velocidades da correnteza superior a 19,4 cm/s⁻¹); microhabitats (área pré-definida = um círculo de 0,05 m²). Dentro dos microhabitats foram mensuradas todas as variáveis bióticas (riqueza e abundância de espécies) e ambientais (irradiância, velocidade da correnteza, profundidade e tipo de substrato).

As amostragens das comunidades de macroalgas e das variáveis ambientais foram realizadas mensalmente durante o período de janeiro a dezembro de 2007 em dois riachos selecionados, um pertencente à Bacia do Rio das Pedras e outro à Bacia do Rio Marrecas (Fig. 1). Em cada sistema foram escolhidos dois trechos, um com vegetação marginal (mata ciliar) evidente, sendo o mesmo considerado sombreado e outro sem cobertura marginal, sendo o mesmo designado aberto. Os mesmos são caracterizados como segue: i. Rio Guabirola: localizado na porção mais a jusante da Bacia do Rio das Pedras, entre as coordenadas 25°24'S-51°22'W, rio de segunda ordem, com largura média de 3,70 metros. Os dois pontos de coleta, aberto e sombreado, distam 100 metros um do outro. ii. Rio Lageadinho: localizado na porção mais a jusante da Bacia do Rio Marrecas, entre as coordenadas 25°11'S-51°21'W, rio de terceira ordem, com largura média de 2,20 metros. Os dois pontos de coleta, aberto e sombreado, situam-se a 200 metros de distância.

Cada estação de amostragem consistiu em um segmento do riacho que variou de 10 a 20 metros de comprimento, onde as análises de campo foram conduzidas através da técnica dos quadrados (Necchi *et al.* 1995). As unidades amostrais (microhabitats) foram posicionadas em locais onde havia crescimento evidente de macroalgas, tanto para o mesohabitat de corredeira quanto de remanso. O número de unidades amostrais utilizadas para cada riacho foi, sempre que possível, de 20, 10 para cada mesohabitat estudado. Um número igual de quadrados desprovido de crescimento macroalgal (designados controle) foi aleatoriamente amostrado para efeito de comparação das características de microhabitat com aqueles onde houve presença das macroalgas. Em cada unidade amostral foi observada a presença-ausência de cada espécie de macroalga, e estimada, através de análise visual, sua respectiva abundância em termos de cobertura percentual (Krupek *et al.* 2012). As observações da riqueza e abundância das comunidades em cada unidade amostral foram feitas com o auxílio de um observador subaquático, sendo que espécimes representativos de cada espécie foram coletados para análises laboratoriais. Os materiais preservados (formol 4%) em campo foram transportados até o laboratório, onde foram observados com microscópio binocular Carl Zeiss – Jenamed 2. As medidas microscópicas foram realizadas com o auxílio de ocular micrometrada, sendo que para cada amostra, 10 medições, ao acaso, de cada estrutura diagnosticada foram tomadas. A classificação das espécies em nível

de divisões seguiu o sistema utilizado por Van Den Hoek *et al.* (1995), exceto para Cynobacteria que foi classificada segundo Komárek & Anagnostidis (1986, 1989) e Anagnostidis & Komárek (1988).

As variáveis velocidade da correnteza e irradiância foram medidas o mais proximamente possível do substrato usando-se, respectivamente, um correntômetro digital, SWOFFER 2100, e um quantômetro digital, Li-Cor 189, com sensor de quantum esférico, Li-193SA). A profundidade também foi medida em cada unidade amostral, representando a distância entre o ponto médio do quadrado e a superfície da água. A identificação dos diversos tipos de substrato seguiu o sistema baseado em classes de tamanho proposto por Gordon *et al.* (1992). Para efeito da caracterização geral dos ambientes as seguintes variáveis ambientais foram investigadas em cada um dos locais de amostragem: temperatura da água, turbidez, condutividade específica, pH e oxigênio dissolvido. Todas as variáveis foram medidas em campo, a partir de uma amostra de água e com o auxílio de sonda multiparâmetro, HORIBA U-10. Todas as informações referentes aos dados limnológicos estão especificadas em Krupek *et al.* (2010).

Todos os dados foram submetidos à estatística descritiva e posteriormente foi aplicado o teste de correlação, utilizando-se o coeficiente de correlação

r de Pearson, para examinar possíveis associações entre riqueza e abundância de espécies e as variáveis físicas e químicas da água. Foram ainda calculados os valores de índice de similaridade, utilizando-se o coeficiente de Similaridade de Jaccard (Sj), para cada uma das escalas espaciais amostradas. A Análise de Correspondência Destendenciada (DCA) foi utilizada para verificar diferenças entre as escalas investigadas com relação à composição da comunidade de macroalgas, sendo posteriormente, os eixos de maior influência utilizados como variáveis para se verificar estatisticamente, através do Teste *t* de Student, diferenças nas escalas espaciais. Todos os testes acima indicados foram realizados com uso dos pacotes estatísticos Statistica (Statsoft Software) e PC-ORD 4.0 (McCune & Mefford 1999).

RESULTADOS

Um total de 16 táxons (13 espécies e três grupos vegetativos) foi registrado nos riachos das duas bacias de drenagem estudados durante o período de janeiro a dezembro de 2007 (Quadros 1, 2). Cyanobacteria foi a divisão mais bem representada com seis táxons (38% do total), seguido de Chlorophyta com cinco táxons (31%), Rhodophyta com três táxons (19%) e Heterokontophyta com dois táxons (12%).

Quadro 1. Espécies de macroalgas encontradas nos mesohabitats (remanso e corredeira) dos trechos (aberto e sombreado) do Rio Guabiroba durante o período de janeiro a dezembro de 2007.

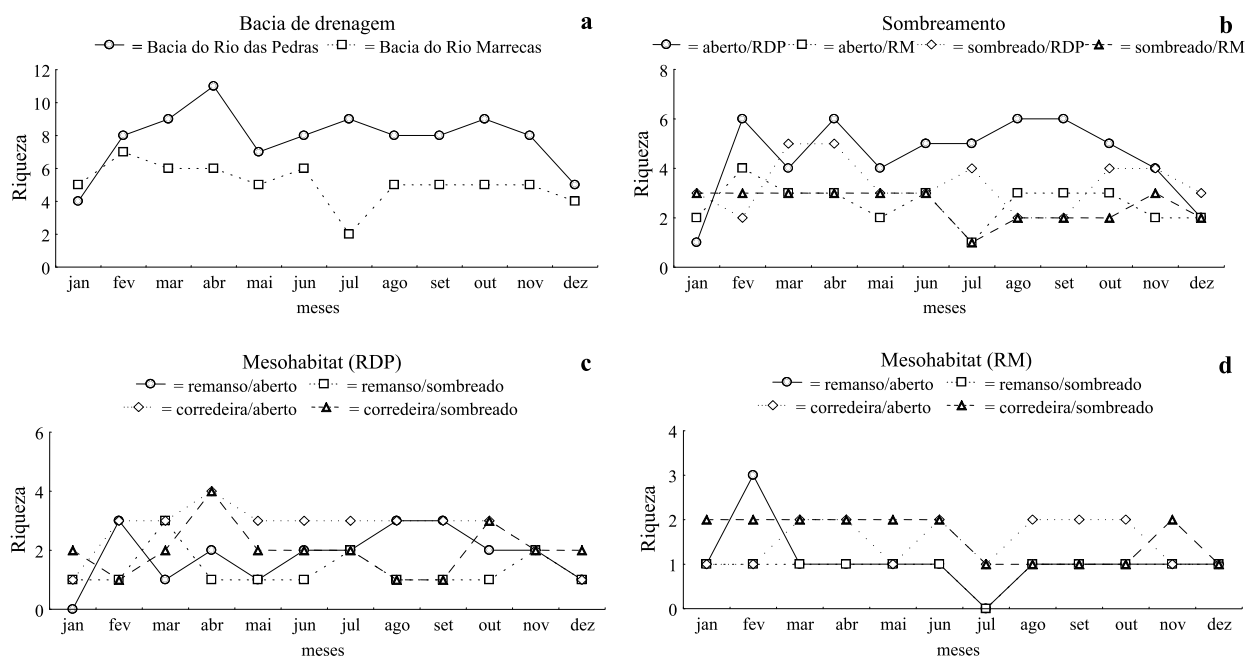
Espécie	Aberto		Sombreado	
	remanso	corredeira	remanso	corredeira
<i>Cyanobacteria</i>				
<i>Geitlerinema splendium</i> (Gom) Anag.			Fe-Mr	
<i>Microcoleus subtorulosus</i> Gomont			Ja-Ma-Ag	Ma-Jl-Ag-Se
<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i> (Gomont) Anagnostidis et Komárek	Fe-Mr-Jl	Ma	Mr	Ou
<i>Phormidium retzii</i> Gomont	Fe-Ab	Ab	Ab-Jl	Ja
<i>Phormidium schroederi</i> (Borge) Anagnostidis & Komárek	Ju		Ju	
<i>Tolypothrix distorta</i> var. <i>penicillata</i> (Thuret) Lemmermann	Ma	Ja-Fe-Mr-Ab-Ma-Ju-Jl-Ag-Se-Ou-De		Ja-Fe-Mr-Ab-Jl-De
<i>Chlorophyta</i>				
<i>Mougeotia</i> sp.	Ag			Ab
<i>Stigeoclonium helveticum</i> Vischer	Fe-Ab-Ju-Jl-Ag-Se-No	Fe-Mr-Ab-Ju-Jl-Ag-Se-No	Jl-No	Ab-Ju-No
<i>Tetraspora lubrica</i> (Roth) C. Agardh		Ou	Se	Ou
<i>Tetraspora gelatinosa</i> (Vaucher) Desv.	De			
<i>Heterokontophyta</i>				
<i>Vaucheria geminata</i>	Ag-Se-Ou			
<i>Rhodophyta</i>				
<i>Batrachospermum puiggarianum</i> Grunow in Wittrock et Nordstedt		Ju-Jl-Ag-Se-Ou-No		
<i>Kumanoa abili</i>	Se-Ou-No	Fe-Mr-Ab-Ma	Mr-Ou-No-De	Mr-Ab-Ma-Jl-Ou-No-De

Quadro 2. Espécies de macroalgas encontradas nos mesohabitats (remanso e corredeira) dos trechos (aberto e sombreado) do rio Lageadinho durante o período de janeiro a dezembro de 2007.

Espécies	Aberto		Sombreado	
	remanso	corredeira	remanso	corredeira
<i>Cyanobacteria</i>				
<i>Microcoleus subtorulosus</i> Gomont				Ju
<i>Phormidium aerugineo-caeruleum</i> (Gomont)	Ju-Ag			Já
<i>Anagnostidis et Komárek</i>				
<i>Phormidium retzii</i> Gomont	Ma			Ab
<i>Tolypothrix distorta</i> var. <i>penicillata</i> (Thuret) Lemmermann	Ja-Fe-Mr-Ab-No-De	Ja-Fe-Mr-Ab-Ma-Ju-Jl-Ag-Se-Ou-No	Ja	Ja-Fe-Mr-Ma-No
<i>Chlorophyta</i>				
<i>Ecbalocystis pulvinata</i> Bohlin var. <i>pulvinata</i>	Fe-Se	Mr-Ab-Ju-Ag-Se-Ou-De		Fe-Mr-Ab-Ma-Ju-Jl-Ag-Se-Ou-No-De
<i>Mougeotia</i> sp.	Ou		Ou-No	
<i>Spirogyra</i> sp.	Fe			
<i>Rhodophyta</i>				
<i>Batrachospermum helminthosum</i> Bory			Fe-Mr-Ab-Ma-Ju-Ag-Se-De	

Com exceção do mês de janeiro, a Bacia do Rio das Pedras mostrou maior riqueza de espécies ao longo de todo o período, quando comparada a Bacia

do Rio Marrecas. A distribuição sazonal, entretanto, foi similar para as duas áreas, sem qualquer distinção de período favorável ou não ao número de espécies (Fig. 1a).



Figs. 1 a-d Distribuição sazonal de riqueza de espécies das comunidades de macroalgas durante o período de janeiro a dezembro de 2007 nas diferentes escalas espaciais. **a** = bacia de drenagem; **b** = sombreamento; **c** = mesohabitat (Bacia do Rio das Pedras); **d** = mesohabitat (Bacia do Rio Marrecas).

Para cada bacia de drenagem em particular, somando-se os dois segmentos amostrados (aberto e sombreado) foram registrados 13 táxons (dos quais 61,5% exclusivos) para o rio Guabiroba e oito táxons (38,5% exclusivos) para o rio Lageadinho. Apenas cinco táxons foram comuns às duas bacias de drenagem. Considerando os níveis de sombreamento, foram encontrados para o rio Guabiroba três táxons (23%) exclusivos do segmento aberto, dois (15,5%) exclusivos do segmento sombreado e oito (61,5%) comuns aos dois segmentos. Para o rio Lageadinho foi encontrado um táxon (12,5%) exclusivo do segmento aberto, dois (25%) exclusivos do segmento sombreado e cinco (62,5%) comuns aos dois segmentos. A distribuição sazonal seguiu o mesmo padrão encontrado para as bacias de drenagem, ou seja, sem um período típico de maior desenvolvimento para as comunidades de macroalgas lóticas. O segmento aberto do rio Guabiroba apresentou a maior riqueza ao longo de quase todo o período amostral, e mesmo, o segmento sombreado deste riacho mostrou maior riqueza de espécies que os segmentos aberto e sombreado do rio Marrecas, que apresentaram um padrão muito similar ao longo de todo o período amostral (Fig. 1b).

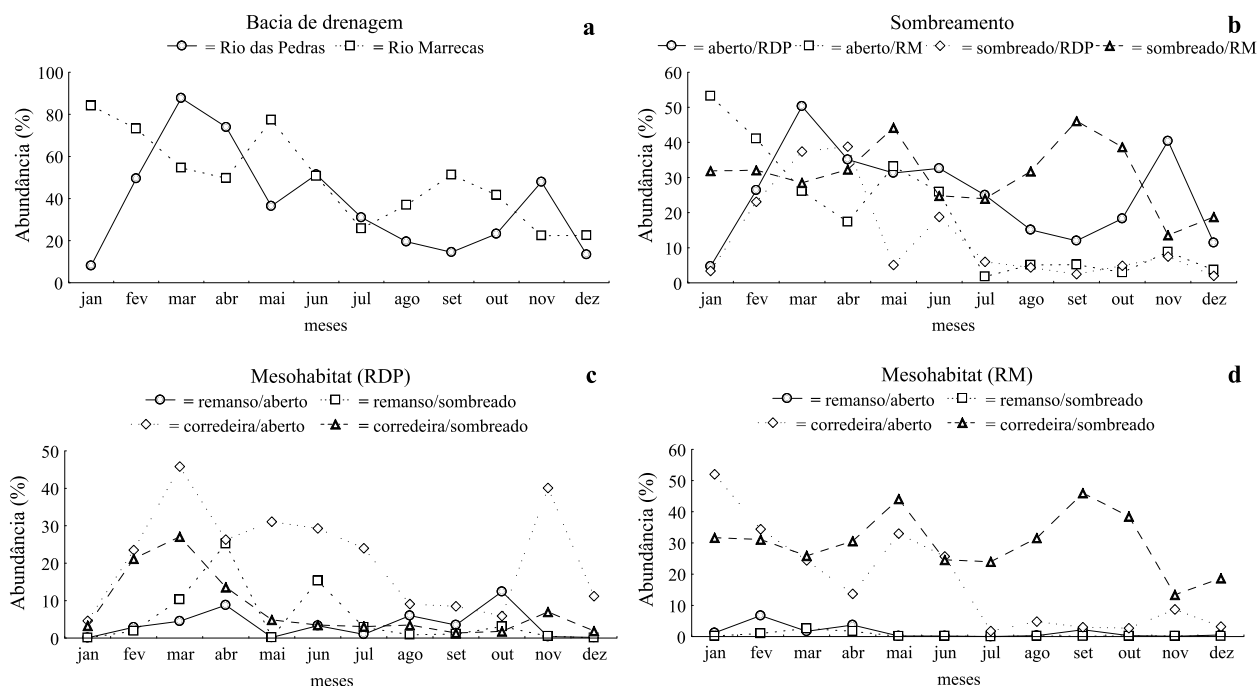
Quanto ao tipo de mesohabitat utilizado, no rio Guabiroba foram registrados 4 táxons (30,5%) de ocorrência restrita ao mesohabitat de remanso, enquanto que 1 táxon (8%) foi encontrado exclusivamente no mesohabitat de corredeira. Oito táxons (61,5%) foram comuns aos dois mesohabitats. A dinâmica temporal das comunidades de macroalgas apresentou maior riqueza nos segmentos de corredeira comparada ao remanso, embora o segmento remanso/aberto tenha apresentado altos valores de riqueza em alguns meses em particular (Fig. 1c). De modo geral, as espécies encontradas não apresentaram uma variação sazonal evidente, ocorrendo, na grande maioria dos casos, esparsamente ao longo do período amostral. Algumas espécies mostraram apenas uma tendência a ocorrerem durante uma estação climática determinada (p. ex. *Vaucheria geminata* no período de primavera e *Batrachospermum puiggarianum* no período de inverno e primavera) (Quadro 1).

No rio Lageadinho, 3 táxons (37,5%) foram de ocorrência restrita ao mesohabitat de remanso, enquanto que apenas 1 táxon (12,5%) foi encontrado

exclusivamente no mesohabitat de corredeira. Quatro táxons (50%) foram comuns aos dois mesohabitats (Quadro 2). Os valores baixos e muito similares de riqueza de espécies nos segmentos de mesohabitat levaram a um desenvolvimento sazonal muito similar entre todos os tratamentos, sem grande oscilação durante o período amostral (Fig. 1d). Nota-se uma riqueza maior em ambientes de corredeira, entretanto, destaca-se o maior valor registrado durante o período, no segmento de remanso/aberto. Nenhuma das espécies em particular registradas no rio Lageadinho apresentou qualquer tipo de padrão sazonal ao longo do período amostral. A grande maioria das espécies apresentou uma ocorrência restrita, aparecendo poucas vezes ao longo do ano.

As seguintes correlações foram obtidas entre riqueza de espécies e as variáveis limnológicas: bacia de drenagem – irradiância ($r = 0,639$, $p < 0,05$) e velocidade da correnteza ($r = -0,668$, $p < 0,01$); ambiente aberto e corredeira – velocidade da correnteza ($r = -0,809$, $p < 0,01$); ambiente aberto e remanso – profundidade ($r = -0,664$, $p < 0,05$); ambiente sombreado e corredeira – velocidade da correnteza ($r = -0,677$, $p < 0,05$); ambiente sombreado e remanso – profundidade ($r = -0,662$, $p < 0,05$) e velocidade da correnteza ($r = -0,681$, $p < 0,05$).

Com relação à abundância, os valores foram similares entre as bacias de drenagem ao longo do período amostral. Destaca-se a diferença ocorrida nos meses de janeiro e fevereiro (Fig. 2a). O segmento aberto do rio Guabiroba apresentou valores entre 4,7 e 50,3% ($X=12,61 \pm 8,8\%$). Os valores mais elevados foram observados durante o período de fevereiro a julho (exceção feita ao mês de novembro. No segmento sombreado deste rio os valores de abundância variaram entre 2,5 e 38,8% ($X=6,4 \pm 8,1\%$). Os valores mais elevados foram observados entre os meses de fevereiro a abril, enquanto que no restante do período foram obtidos valores bastante baixos (Fig. 2b). A abundância apresentou ampla variação no segmento aberto do rio Lageadinho (entre 3,7 e 41,1%, $X=9,35 \pm 9,20\%$), sendo os valores mais altos mensurados no período de janeiro a junho. No segmento sombreado, a abundância variou entre 15,4 e 45,1% ($X=16,5 \pm 4,8\%$). Os valores oscilaram ao longo de todo o período sazonal (Fig. 2b).



Figs. 2 a-d Distribuição sazonal de abundância (% de cobertura) das comunidades de macroalgas durante o período de janeiro a dezembro de 2007 nas diferentes escalas espaciais. **a** = bacia de drenagem; **b** = sombreamento; **c** = mesohabitat (Bacia do Rio das Pedras); **d** = mesohabitat (Bacia do Rio Marrecas).

No segmento aberto do rio Guabiroba, para cada mesohabitat, foram obtidos os seguintes valores: remanso - entre 0,1 a 12,4%; $X=3,60\pm3,86\%$; corredeira - entre 4,6 a 45,8%; $X=21,6\pm13,7\%$. Para corredeira, a variação sazonal foi similar ao observado para o ambiente aberto, enquanto que para o remanso não foi verificado padrão, com valores baixos e oscilantes durante todo o período (Fig. 2c). No segmento sombreado e para cada um dos mesohabitats foram verificados os seguintes valores: remanso (entre 0,1 e 25,2%; $X=5,1\pm7,8\%$), corredeira (entre 1,4 e 27,1%; $X=7,7\pm8,4\%$). O mesmo padrão observado para o ambiente sombreado como um todo também foi verificado para ambos os mesohabitats. No segmento aberto do rio Lageadinho (Fig. 2d) o mesmo padrão de variação sazonal foi observado tanto para remanso (0 a 7,4%; $X=3,4\pm2,5\%$) quanto para corredeira (3 a 34,4%; $17,2\pm0,1$). No segmento sombreado, para os microhabitats o mesmo padrão foi observado, entretanto com valores bastante distintos: remanso (entre 0 e 6,5%; $X=1,8\pm0,03\%$) e corredeira (entre 14,4 e 44,1%; $X=31,3\pm9,6$) (Fig. 2d).

As seguintes correlações foram obtidas entre abundância e as variáveis limnológicas: Bacia de drenagem – saturação de oxigênio ($r = 0,657$, $p < 0,05$), irradiância ($r = 0,789$, $p < 0,01$); ambiente aberto corredeira – irradiância ($r = 0,791$, $p < 0,01$).

Os valores de Similaridade calculados para cada uma das escalas avaliadas foram, de modo geral, muito baixos durante todo o período amostral (Tab. 1). Entre as duas bacias de drenagem o coeficiente de similaridade não ultrapassou 0,28. Para as demais escalas, foram observados os maiores valores de similaridade entre os ambientes aberto e sombreado, tanto para a Bacia do Rio das Pedras quanto para a Bacia do Rio Marrecas. Entre os mesohabitats, a diferença foi marcante para ambas as bacias de drenagem, principalmente nos ambientes sombreados, e em especial no segmento sombreado da Bacia do Rio Marrecas, onde apenas para o mês de janeiro ocorreu 50 % de similaridade e nos demais meses não houve qualquer similaridade entre remanso e corredeira (Tab. 1).

Tabela 1. Valores mensais do coeficiente de Similaridade de Jaccard (S_j) para cada uma das escalas espaciais avaliadas durante o período de estudos. A = ambiente aberto; S = ambiente sombreado; R = remanso; C = corredeira

Mês	Bacias de drenagem	Rio das Pedras			Rio Marrecas		
		A X S	R X C (A)	R X C (S)	A X S	R X C (A)	R X C (S)
Jan	0,25	0,33	0	0	0,50	1	0,50
Fev	0,14	0,16	0,20	0	0,50	0,33	0
Mar	0,14	0,60	0	0,25	0,66	0,50	0
Abr	0,28	0,80	0,50	0	0,25	0,50	0
Mai	0,14	0,25	0,25	0,33	0,25	0	0
Jun	0,12	0,75	0,25	0	0,20	0	0
Jul	0,12	0,14	0,25	0	0	0	0
Ago	0,10	0	0,20	1	0,25	0	0
Set	0,11	0	0,20	0	0,33	0,50	0
Out	0,12	0,33	0	0,33	0,66	0	0
Nov	0	0,66	0,33	1	0,33	1	0
Dez	0,20	0,33	0	0,50	0,33	0	0

A Análise de Correspondência Destendenciada (DCA) revelou algumas diferenças na composição das comunidades de macroalgas ao longo do tempo

em algumas das escalas espaciais avaliadas (Figs. 3, 4, Tab. 2).

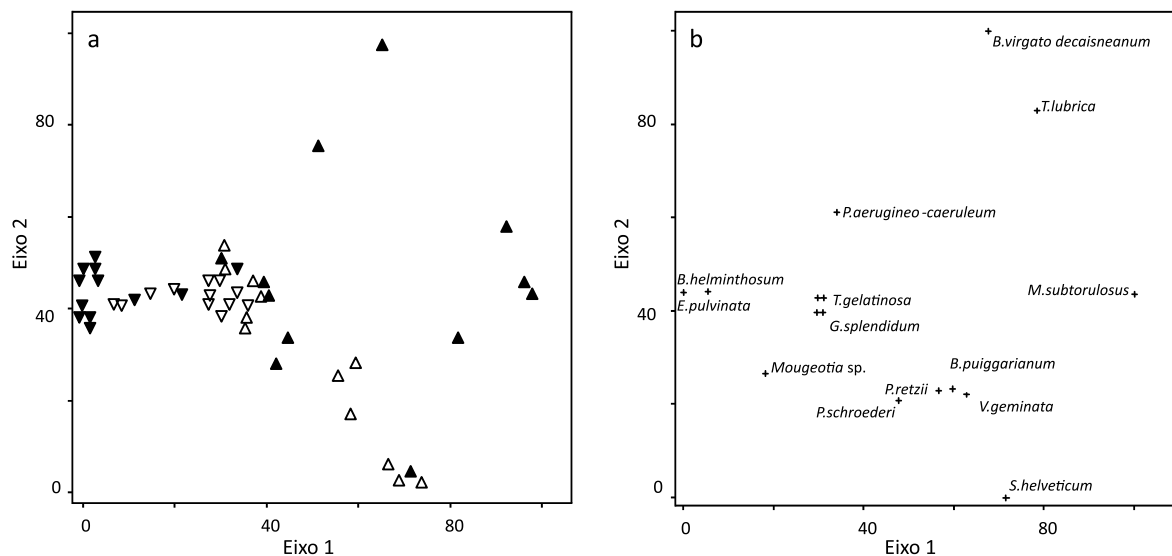


Fig. 3. Ordenação dos pontos de amostragem (a) e espécies (b) durante todo o período sazonal para as duas bacias de drenagem resultante da Análise de Correspondência Destendenciada (DCA; somente os resultados que apresentaram diferenças para os eixos no teste t são mostrados). Δ - Bacia do Rio das Pedras; ambiente aberto; $\blacktriangle$ - Bacia do Rio das Pedras; ambiente sombreado; ∇ - Bacia do Rio Marrecas; ambiente aberto; $\blacktriangledown$ - Bacia do Rio Marrecas; ambiente sombreado.

Tabela 2. Resumo do teste *t* de Student para os eixos avaliados entre as escalas espaciais estudadas durante o período sazonal e porcentagem de explicação para cada um dos respectivos eixos representados na DCA das figuras 3 e 4.

Escala	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
Bacia de drenagem (RDP x RM)	$t = 7,439$; $p = \mathbf{0,000}$	$t = -1,356$; $p = 0,181$	$t = -0,918$; $p = 0,363$
Sombreamento (aberto x sombreado)	$t = 0,184$; $p = 0,854$	$t = -2,060$; $p = \mathbf{0,045}$	$t = -1,006$; $p = 0,319$
% de explicação	51,6	6,20	3,50
Rio das Pedras			
Sombreamento (aberto x sombreado)	$t = 1,022$; $p = 0,312$	$t = -3,051$; $p = \mathbf{0,003}$	$t = -0,976$; $p = 0,334$
Mesohabitat (remanso x corredeira)	$t = 1,022$; $p = 0,312$	$t = -0,042$; $p = 0,966$	$t = 1,104$; $p = 0,275$
% de explicação	1,0	18,7	0,30
Rio Marrecas			
Sombreamento (aberto x sombreado)	$t = 0,212$; $p = 0,832$	$t = 2,947$; $p = \mathbf{0,005}$	$t = 1,001$; $p = 0,322$
Mesohabitat (remanso x corredeira)	$t = 0,931$; $p = 0,356$	$t = -1,624$; $p = 0,111$	$t = 1,052$; $p = 0,298$
% de explicação	12,2	20,2	0,50

Considerando todas as datas de amostragem para os riachos das duas bacias de drenagem, foram constatadas, através do Teste *t*, diferenças significativas na composição das comunidades de macroalgas para os eixos 1 e 2 nas escalas de bacia de drenagem e sombreamento respectivamente (Fig. 3, Tab. 2). No eixo 1, a diferença entre a Bacia do Rio das Pedras e do Rio Marrecas foi marcante, com porcentagem de explicabilidade relativamente alta. Entretanto, para o eixo 2, fortemente relacionado à escala de sombreamento, a diferença revelada pelo Teste *t*, bem como a porcentagem explicada na DCA foram pouco expressivas. Com relação às bacias de drenagem em separado, ambas apresentaram variação significativa apenas para o eixo 2 da DCA e apenas para a escala de sombreamento (Fig. 3). Apesar da expressiva diferença, a porcentagem de explicabilidade da ordenação obtida foi muito baixa (18,7%). Em adição, para a escala de mesohabitat, não foram constatadas diferenças com relação a composição da comunidade de macroalgas nas bacias de drenagem avaliadas (Fig. 4).

DISCUSSÃO

No presente estudo, foram observadas variações temporais relativamente grandes nas comunidades

de macroalgas em todas as escalas espaciais avaliadas. A composição de espécies variou amplamente ao longo de todo o período amostral apesar de ter sido registrada um número relativamente baixo de espécies. Poucas espécies ocorreram durante todo o período sazonal (*Tolypothrix distorta* var. *penicillata*, *Stigeoclonium helveticum* e *Kumanoa abili* para os segmentos do rio Guabirola e *Tolypothrix distorta* var. *penicillata* e *Ecbalocystis pulvinata* var. *pulvinata* para os segmentos do rio Lageadinho). As demais espécies ocorreram esparsamente durante todo o período sazonal, sendo que normalmente estas não foram observadas em períodos consecutivos, mas se sucedendo durante as amostragens. Tal variação na composição das comunidades de macroalgas entre as escalas avaliadas fica ainda mais visível quando analisados os valores de similaridade, todos extremamente baixos para todas as escalas avaliadas. Tais resultados reafirmam alguns padrões típicos de distribuição de macroalgas lóticas, quais sejam: i) a distribuição em mosaico, na qual as comunidades mais ricas e diversas são também as mais abundantes, normalmente com uma predominância quantitativa de poucas espécies (Branco & Necchi 1996, Necchi *et al.* 2000, Sheath & Cole 1992, Sheath *et al.* 1986) e, ii) a distribuição restrita, onde a grande maioria das espécies possui um número de registros de ocorrência limitado a um ou poucos segmentos do sistema

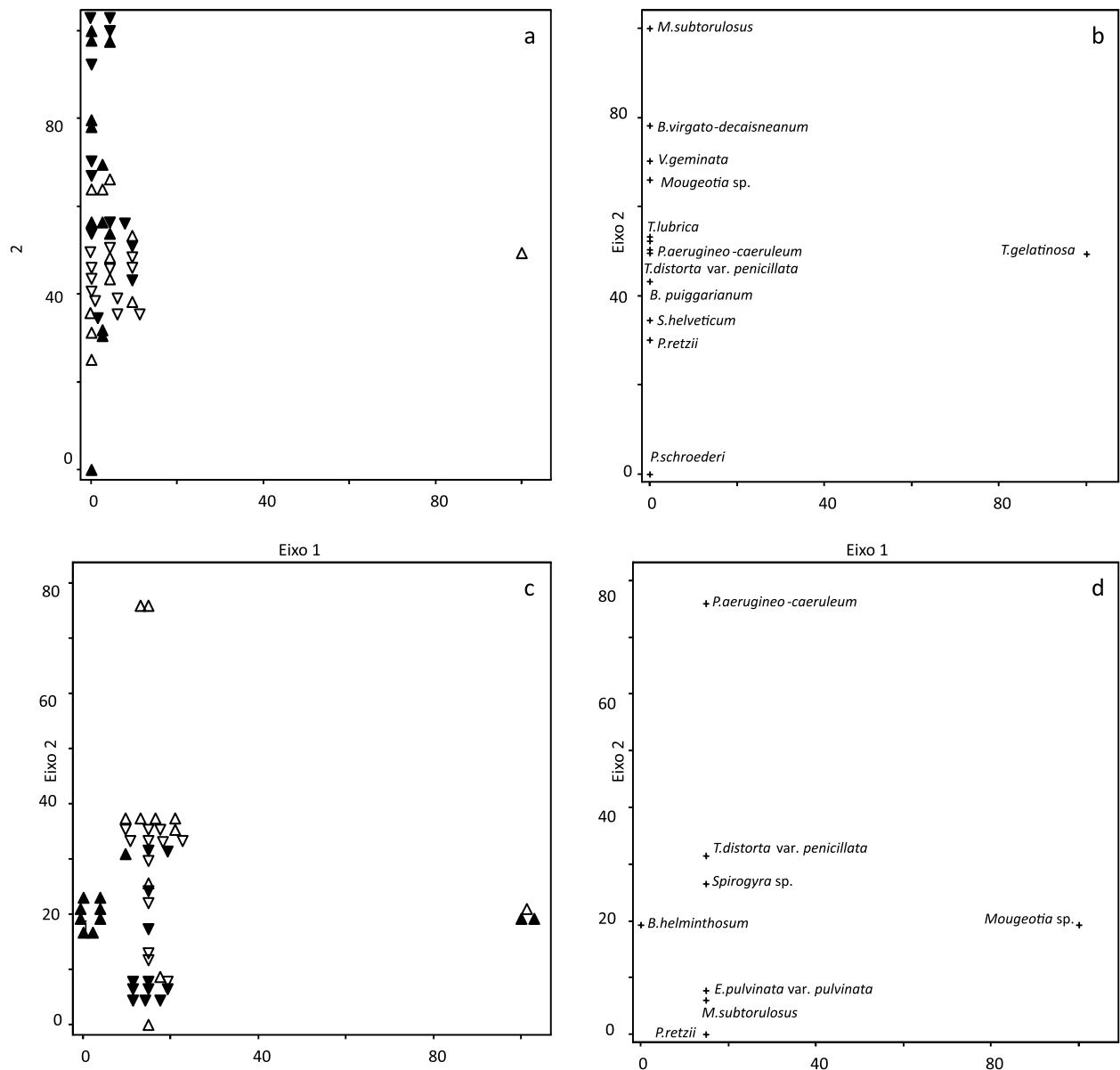


Fig. 4. Ordenação dos pontos de amostragem e espécies durante todo o período sazonal para a Bacia do Rio das Pedras (a;b) e Bacia do Rio Marrecas (c;d) resultante da Análise de Correspondência Destendenciada (DCA). Δ - ambiente aberto; mesohabitat de remanso; ▲ - ambiente sombreado; mesohabitat de remanso; ▽ - ambiente aberto; mesohabitat de corredeira; ▼ - ambiente sombreado; mesohabitat de corredeira

lótico (Branco *et al.* 2009, Krupek *et al.* 2007, Necchi *et al.*, 2000, Sheath & Cole, 1992, Taniguchi & Tokeshi, 2004).

Com relação à composição da comunidade, as diferenças observadas foram mais evidentes e significativas para as escalas de bacia de drenagem e sombreadamento. Apesar das duas bacias de drenagem localizarem-se bastante próximas e estarem sob influências regionais semelhantes (p. ex. clima, precipitação, geologia) houve uma importante distinção (evidenciada pela DCA) entre as duas regiões com

relação à composição de espécies. Isto mostra que, ambientes distintos sofrendo influências de fatores similares respondem sazonalmente de modo diferenciado, levando à formação e desenvolvimento de comunidades de macroalgas particulares. Tal pressuposto pode ser estendido também a cada um dos segmentos avaliados em uma área de estudos qualquer, levando a formação de comunidades distintas em cada um dos segmentos. Tal fato tem sido constatado como bastante típico em comunidades de macroalgas de ambientes lóticos (Branco & Necchi 1996, Branco

et al. 2009, Krupek *et al.* 2007, Necchi *et al.* 2000). O baixo valor de similaridade obtido entre todas as escalas avaliadas confirma tal condição e indica que a estruturação de comunidades de macroalgas de ambientes lóticos é dependente da escala observada, ou seja, está sob a influência de variáveis ambientais específicas de cada escala espacial analisada.

A distinção entre segmentos abertos e sombreados pode ser atribuída principalmente à variação espaço-temporal na disponibilidade de energia luminosa e a capacidade de adaptação a estas situações das diferentes espécies de macroalgas. De um modo geral, representantes da divisão Cyanobacteria foram amplamente diversificadas tanto em segmento aberto quanto sombreado. A disponibilidade de ficobilinas no aparelho fotossintético deste grupo de algas, e consequentemente um maior espectro de absorção de energia luminosa, tem sido apontada como importante fator responsável pela predominância deste grupo em uma ampla variedade de ecossistemas lóticos (Branco *et al.* 2009, Peres *et al.* 2009, Steinman & McIntire 1987). Neste mesmo sentido, uma característica comumente observada, foi a presença mais evidente de algas do grupo Chlorophyta em segmentos abertos das duas bacias de drenagem. A maior frequência de algas verdes, quando comparado a outros grupos, em ambientes com maior irradiância também já foi constatada em alguns trabalhos (Biggs & Price 1987, Okada & Watanabe 2002, Peres *et al.* 2009, Sheath & Burkholder 1985).

Embora não se tenha verificado padrão de sazonalidade evidente para riqueza de espécies em qualquer uma das escalas espaciais avaliadas, algumas características foram marcantes. A bacia de drenagem do Rio das Pedras teve maior número de espécies durante todo o período (exceto janeiro/2007), salientando a influência de fatores locais sobre as comunidades, já que o regime climático e as condições geomorfológicas são similares. A principal diferença observada, entretanto, foi na escala de mesohabitat. O maior número de espécies em ambientes de corredeira deve provavelmente estar relacionado com uma maior disponibilidade de nichos, já que as variações, principalmente relacionadas com o fluxo da correnteza, promovem uma maior heterogeneidade de condições, permitindo oportunidades mais amplas de colonização por diferentes espécies. A ação do fluxo de água, entretanto, pode promover forças opostas que agem sobre as comunidades algais (Branco & Necchi 1997). Neste sentido, a correnteza pode prover um incremento de nutrientes ou promover a remoção dos indivíduos por efeito da força mecânica (Branco & Necchi

2003). O segundo fator parece ter afetado diretamente as comunidades de macroalgas nas escalas observadas (verificada pela correlação negativa entre riqueza de espécies e velocidade da correnteza).

Com relação à abundância, assim como a composição de espécies, o principal fator de influência positiva foi a irradiância, que pode explicar em parte, o padrão sazonal observado para este parâmetro nas escalas de bacia de drenagem e sombreamento. É amplamente descrito a influência positiva da energia luminosa sobre a abundância de macroalgas lóticicas (p. ex. Branco *et al.* 2009, DeNicolla *et al.* 1992, Steinman & McIntire 1987), esta sendo um fator primário no desenvolvimento destes organismos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor e a Cleto Kaveski Peres pelo auxílio nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- Anagnostidis, K. & Komárek, J. 1988. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 3: Oscillatoriales. *Algological Studies* 80:327-472.
- Biggs, B.J.F. & Price, G.M.A. 1987. A survey of filamentous algal proliferations in New Zealand rivers. *New Zealand Journal of Marine & Freshwater Research* 24:367-386.
- Biggs B.J.F. 1990. Periphyton communities and their environments in New Zealand rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 24:367-386.
- Branco, C.C.Z., Krupek, R.A. & Peres, C.K. 2008. Seasonality of macroalgal communities in a subtropical drainage basin in Paraná State, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 68:631-637.
- Branco, C.C.Z., Krupek, R.A. & Peres, C.K. 2009. Ecological distribution of stream macroalgal communities from mid-western region of Paraná State. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 52(2):379-386.
- Branco, C.C.Z. & Necchi, O.Jr. 1996. Distribution of stream macroalgae in the eastern atlantic rainforest of São Paulo State, southeastern Brazil. *Hydrobiologia* 333:139-150.
- Branco, L.H.Z. & Necchi, O. Jr. 1997. Seasonality of macroalgae in three tropical drainage basins in São Paulo State, southeastern Brazil. *Archiv für Hydrobiologie* 141:75-91.
- Branco, C.C.Z. & Necchi, O. Jr. 2003. Temporal dynamics of two species of Chaetophoraceae (Chlorophyta) in tropical streams of São Paulo State, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 26:151-161.
- DeNicola, D.M., Hogland, K.D. & Roemer, S.C. 1992.

- Influence of canopy cover on spectral irradiance and periphyton assemblages in a prairie stream. *Journal of North American Benthological Society* 11:391-404.
- Gordon, N. D., McMahon, T.A. & Finlayson, B.L. 1992. Stream hydrology, an introduction for ecologists. John Wiley & Sons, Chichester. 526 p.
- Johnson, K. H., Vogt, K.A., Clark, H.J., Schmitz, O.J. & Vogt, D.J. 1996. Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 11(9): 372-377.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K. 1986. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 2: Chroococcales. *Algological Studies* 43:157-226.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K. 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes, 4: Nostocales. *Algological Studies* 82:247-345.
- Krupek, R.A., Branco, C.C.Z. & Peres, C.K. 2012. Spatial variations at different observational scales and the seasonal distributions of stream macroalgae in a Brazilian subtropical region. *Brazilian Journal of Botany* 35(3):249-257.
- Krupek, R.A., Branco, C.C.Z. & Peres, C.K. 2010. Variação sazonal das variáveis físicas e químicas em riachos de duas bacias da região centro-sul do estado do Paraná, sul do Brasil. *Ambiência* 06:297-310.
- Krupek, R.A., Branco, C.C.Z. & Peres, C.K. 2007. Distribuição ecológica das comunidades de macroalgas da bacia de drenagem do Rio das Pedras, região centro-sul do estado do Paraná, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 30:73-182.
- McCune, B. & Mefford, M.J. 1999. Multivariate analysis of ecological data. MjM Software, Glendern Beach.
- Mooney, H.A., Cushman, J.H., Medina, E., Sala, O.E. & Schulz, E.D. (eds.), 1996. Functional roles of biodiversity. Wiley & Sons Ltd, New York. 518p.
- Naeem, S. & Li, S.B. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390(6659): 507-509.
- Necchi, O. Jr. & Pascoaloto, D. 1993. Seasonal dynamics of macroalgal communities in the Preto River basin, São Paulo, southeastern Brazil. *Archiv für Hydrobiologie* 129:231-252.
- Necchi, O. Jr., Branco, C.C.Z. & Branco, L.H.Z. 2000. Distribution of stream macroalgae in São Paulo State, southeastern Brazil. *Algological Studies* 97:43-57.
- Necchi, O.Jr., Branco, C.C.Z.; Simões, R.C.G. & Branco, L.H.Z. 1995. Distribution of stream macroalgae in northwest region of São Paulo State, southeastern Brazil. *Hydrobiologia* 299:219-230.
- Necchi Júnior O., Pascoaloto D. & Branco LHZ. 1994. Distribution of macroalgae in a tropical river basin from southeastern Brazil. *Archiv für Hydrobiologie* 129:459-471.
- Okada, H. & Watanabe, Y. 2002. Effect of physical factors on the distribution of filamentous green algae in the Tama River. *Limnology* 3:121-126.
- Peres, C.K., Branco, C.C.Z. & Krupek, R.A. 2009. Distribuição ambiental e temporal das comunidades de macroalgas de riachos da Serra da Prata, Estado do Paraná, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 32:625-633.
- Peterson, G., Allen, C.R. & Holling, C.S. 1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems* 1:6-18.
- Poff, N. L. & Ward, J.V. 1990. Physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of historical pattern of spatiotemporal heterogeneity. *Environmental Management* 14:629-645.
- Sheath, R.G. & Cole, K.M. 1992. Biogeography of stream macroalgae in North America. *Journal of Phycology* 28:448-460.
- Sheath, R.G. & Burkholder, J. 1985. Characteristics of softwater stream in Rhode Island. II: Composition and seasonal dynamics of macroalgae communities. *Hydrobiologia* 128:109-1185.
- Sheath R.G. & Hambrook JA. 1990. Freshwater ecology. *In* Biology of red algae. (KM Cole, RG Sheath, eds.) Cambridge University Press, Cambridge. p.423-453.
- Sheath, R.G., Morinson, M.O., Korch, J.E., Kaczmarczyk, D. & Cole, K.M. 1986. Distribution of stream macroalgae in south-central Alaska. *Hydrobiologia* 135:259-269.
- Steinman, A.D. & McIntire, C.D. 1987. Effects of irradiance on the community structure and biomass of algal assemblages in laboratory streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44:1640-1648.
- Stevenson, R.J. 1997. Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of North American Benthological Society* 16:248-262.
- Taniguchi, H. & Tokeshi, M. 2004. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology* 49:1164-1178.
- Van den Hoek, C., Mann, D.G. & Jahns, H.M. 1995. Algae: an introduction to phycology. Cambridge University Press, Cambridge, 640 p.
- Vanote, R. L. *et al.* 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 37(1): 130-137.

